



ESTIMATION DU COÛT DES MESURES DE GESTION DES INONDATIONS ET ALÉAS FLUVIAUX EN CONTEXTE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU QUÉBEC

**RAPPORT TECHNIQUE ANNEXE, DANS LE CADRE DU PROJET *ANALYSE COÛTS-
AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION AUX INONDATIONS ET ALÉAS
FLUVIAUX EN CONTEXTE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES.***

Rapport final
Mars 2022

ESTIMATION DU COÛT DES MESURES DE GESTION DES INONDATIONS ET ALÉAS FLUVIAUX EN CONTEXTE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU QUÉBEC

Rapport final

2022/02

DIRECTRICE DE PROJET : Ursule Boyer-Villemaire

ÉQUIPE DE RÉALISATION:

Dorothy Heinrich, Ouranos

Caroline Simard, Ouranos

Annabelle Lamy, Ouranos

Jérémie Roques, ROBVQ

Hugo Morin, Ouranos

Chantal Quintin, Ouranos

RÉVISION EXTERNE : Ammar Taha, Alexander Wilson, Léa Braschi, Marc-André Bourgeault.

RÉVISION LINGUISTIQUE : Ursule Boyer-Villemaire

MISE EN PAGE : Ursule Boyer-Villemaire, Annabelle Lamy

CRÉDITS PHOTO PAGE COUVERTURE : Ursule Boyer-Villemaire

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

Numéro du projet Ouranos : 510034

Citation suggérée : Heinrich, Dorothy, Boyer-Villemaire, Ursule, Simard, Caroline, Lamy, Annabelle, Roques, Jérémie, Hugo Morin, Chantal Quintin. (2022). Estimation du coût des mesures de gestion des inondations et aléas fluviaux en contexte de changements climatiques au Québec. Dans le cadre du projet *Analyse coûts-avantages des options d'adaptation aux inondations et aléas fluviaux en contexte de changements climatiques*. Ouranos. Montréal. 52 p.

Mars 2022

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.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
PRÉSENTATION DES FICHES SYNTHÈSES	2
1) LA STABILISATION DE BERGES.....	5
STABILISATION : L'ENROCHEMENT AVEC VÉGÉTALISATION.....	7
<i>Exemple : L'Enrochement avec végétalisation dans l'étude de cas de Compton</i>	10
2) LA RÉTENTION DE L'EAU	12
RÉTENTION DE L'EAU : LE TOIT VERT.....	13
RÉTENTION DE L'EAU : LE BARIL DE PLUIE.....	15
RÉTENTION DE L'EAU : LE JARDIN DE PLUIE, BASSIN DE BIO-RÉTENTION.....	17
RÉTENTION DE L'EAU : LE BASSIN DE RÉTENTION.....	19
<i>Exemple : Les bassins de rétention dans l'étude de cas Compton</i>	22
3) LES MILIEUX HUMIDES ET HYDRIQUES.....	24
MILIEUX HUMIDES ET HYDRIQUES : LA RESTAURATION	26
<i>Exemple : La Restauration de milieux humides dans l'étude de cas de Compton</i>	29
4) LA MODIFICATION STRUCTURELLE DU CHENAL	31
MODIFICATION STRUCTURELLE DU CHENAL : L'ENDIGUEMENT	32
<i>Exemple : L'Endiguement dans l'étude de cas Chaudière</i>	34
MODIFICATION STRUCTURELLE DU CHENAL : LE DRAGAGE	36
<i>Exemple : Le dragage dans l'étude de cas Compton</i>	38
5) L'IMMUNISATION ET LA RELOCALISATION DES BÂTIMENTS	40
IMMUNISATION : LA DIGUE AMOVIBLE	41
IMMUNISATION : L'ÉLÉVATION DU PREMIER PLANCHER.....	42
<i>Exemple : L'Élévation du premier plancher dans l'étude de cas Chaudière</i>	43
LA RELOCALISATION.....	44
<i>Exemple : La Relocalisation dans l'étude de cas Chaudière</i>	45
6) LE CHANGEMENT DE L'UTILISATION DU SOL.....	46
LA CULTURE SUR RÉSIDUS.....	47
LA ZONE DE MOBILITÉ, BANDE RIVERAINE SURDIMENSIONNÉE OU CORRIDOR ÉCOLOGIQUE	48
<i>Exemple : La Zone de mobilité dans l'étude de cas Compton</i>	49
DISCUSSION ET CONCLUSION	51
RETOMBÉES POUR L'ADAPTATION.....	51
LIMITES ET OPPORTUNITÉS.....	52
RÉFÉRENCES.....	52

INTRODUCTION

La présente Annexe s’inscrit dans le cadre du projet *Analyse coûts-avantages (ACA) des options d’adaptation aux inondations et aléas fluviaux en contexte de changements climatiques* dont l’objectif est de quantifier les coûts et les avantages de différentes solutions d’adaptation visant à réduire et gérer les risques reliés aux aléas fluviaux à des échelles municipales ou territoriales (bassin versant). Dans l’ensemble, cette démarche visait à mieux outiller les communautés à risque d’aléas fluviaux.

Une liste de mesures d’adaptation a été identifiée avec le milieu afin d’évaluer les impacts, les coûts et les bénéfices de certaines d’entre elles pour deux études de cas : la rivière Coaticook à Compton ([Boyer-Villemare et al., 2021a](#)) et le bassin versant de la rivière Chaudière ([Boyer-Villemare et al., 2021b](#)). Ces mesures se retrouvent sous forme de fiches synthèses présentées à cette annexe. Elles constituent un complément au guide méthodologique ([Boyer-Villemare et al., 2021c](#)). La production des fiches synthèses du coût des mesures a été réalisée à l’aide d’une revue de littérature et d’entrevues effectuées auprès de 18 experts de divers champs d’expertise, dont certains ont aussi révisé ce document (Tableau 1). Cette démarche visait à identifier les paramètres des mesures, en estimer les coûts unitaires et les appliquer aux deux études de cas. L’estimation des coûts d’une mesure d’adaptation est très complexe notamment sur les aspects de conception et de mise en œuvre. Ainsi, les coûts estimés comportent des limites et ne remplaceront en aucun cas des plans et devis « signés et scellés », mais les postes de dépenses utilisés dans le cadre de ce projet permettent d’explorer et contextualiser l’implantation de certaines mesures.

Tableau 1 Liste des contributions*

NOM, Prénom, titre	Expertise	Affiliation	Entrevue, Révision
MICHAUD, André, Biol.	Milieus humides	Canards Illimités	Entrevue
WILSON, Alexander, Ing.	Génie hydrique	CBCL	Entrevue, révision
BRASCHI, Léa, M.Sc.	Systèmes hydrique	CBCL	Entrevue, révision
POISSON, Julien, M. Sc.	Conservation	Conservation de la Nature	Entrevue
PELLETIER, Hubert, BA.Hon	Conservation	Conservation de la Nature	Entrevue
MARTEL, Jean-Luc, Ph.D.	Prof. Hydrologie	Lasalle-NHC / ÉTS	Entrevue
RIVARD, Gilles, Ing.	Génie hydrique	Lasalle-NHC	Entrevue
TAHA, Ammar, Ing.	Génie hydrotechnique et barrages	Stantec	Entrevue, révision
HEPPELL, Mario, Biol.	Évaluation d’impacts	Stantec	Entrevue
LEMIEUX, Claire, Ing.	Génie hydrique	Stantec	Entrevue
GAUTHIER, Frédéric, Ing.	Génie hydrique	Stantec	Entrevue
JUTRAS, Sylvain, Ph.D.	Prof. Foresterie	Université Laval	Entrevue
BOURGAULT, Marc-André, Ph.D.	Prof. Géomorphologie	Université Laval	Entrevue, révision
LABRECQUE, Michel, Biol.	Biologie	Jardin botanique de Mtl	Entrevue
GROUX, François, Ing.	Génie hydraulique	WSP	Entrevue
BELLEMARE, Marie-Christine, Biol.	Biologie	WSP/ABQ	Entrevue
MAEZO, Maria-José, Biol.	Biologie	WSP	Entrevue
MARTIN, Jean-Philippe, Ph.D.	Adaptation et risques	Hydro-Québec	Entrevue

*Nous tenons à remercier sincèrement et reconnaître la contribution des experts. Elle a grandement amélioré le niveau de détails sur les mesures d’adaptation, leur conception et leur estimation.

PRÉSENTATION DES FICHES SYNTHÈSES

Les coûts de treize mesures regroupées sous six catégories ont été étudiées et sont présentées individuellement à cette annexe, sous forme de fiche synthèse (Tableau 2). Certaines d'entre elles ont été intégrées à l'analyse coûts-avantages (ACA) de la rivière Coaticook à Compton ([Boyer-Villemare et al., 2021a](#)) et/ou du bassin versant de la rivière Chaudière ([Boyer-Villemare et al., 2021b](#)). Certaines ont été sélectionnées comme exemple pour illustrer leur application.

Tableau 2 Liste des mesures identifiées et analysées dans le cadre des études de cas et/ou des fiches synthèses

Catégorie	Mesure identifiée	Intégrée à l'analyse coûts-avantages (ACA)		Intégrée à la présente annexe	
		Étude de cas de Compton	Étude de cas Chaudière	Fiche synthèse	Exemple d'application
1. Stabilisation des berges	Enrochement avec végétalisation	X		X	X
2. Rétention	Toit vert			X	
	Baril de pluie			X	
	Jardin de pluie ou bio-rétention			X	
	Bassin de rétention	X		X	X
3. Milieux humides et hydriques	Restauration	X	X	X	X
4. Modification structurelle du chenal	Endiguement des berges		X	X	X
	Dragage	X		X	X
5. Immunisation et relocalisation des bâtiments	Digue amovible			X	
	Élévation des bâtiments		X	X	X
	Relocalisation des bâtiments		X	X	X
6. Changement de l'utilisation du sol	Cultures sur résidus	X		X	
	Zone de mobilité, bandes riveraines ou corridor écologique	X	X	X	X

Les fiches sont divisées en trois blocs :

- Introduction à la catégorie de mesures
 - Présentation d'une ou plusieurs mesures appartenant à la catégorie
 - Exemple d'application d'une mesure à l'aide d'une étude de cas.

Les variables de chaque bloc sont décrites à la **Erreur ! Référence non valide pour un signet.**, présentée à la page suivante.

Bloc 1 : Introduction à la catégorie de mesures (texte)	
CATÉGORIE DE MESURE	
<i>Description des mesures</i> Description de la catégorie de mesure, son rôle et les considérations qui motivent son choix.	
<i>Facteurs décisionnels</i> Facteurs clés déterminant la conceptualisation de la catégorie de mesure. Ceux-ci déterminent autant la préfaisabilité et les éléments sur lesquels se baseront leur conception.	
<i>Mesure(s) présentée(s)</i> Liste des mesures appartenant à la catégorie, présentées au bloc suivant.	
Bloc 2 : Présentation d'une mesure appartenant à la catégorie (tableau)	
TYPE DE MESURE	
<i>Définition</i>	
<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<i>Co-bénéfices</i> Autres bénéfiques associés à la mesure, outre la protection et la prévention d'aléas	
<i>Éléments de conception</i> Détail sur la conception de la mesure	
<i>Éléments associés à sa conception</i>	<i>Réponses possibles à ces considérations</i>
<i>Étapes</i> Étapes clés de la conception à la réalisation, puis de l'entretien au suivi	
<i>Postes de dépenses</i> Postes de dépenses associés à la mesure	
<i>Éléments associés aux postes de dépenses</i>	<i>Description des postes de dépenses</i>
<i>Références</i> Liste de références. Cette liste a été bonifiée par un processus de validation avec les experts	
Bloc 3 : Exemple d'application d'une mesure à l'aide d'une étude de cas (tableau)	
ÉTUDE DE CAS	
Mesure choisie illustrée par l'une des deux études de cas. *Taux d'actualisation décroissant pour les coûts : 4 % (0-20 ans) et 2 % (21-50 ans)	
<i>Description</i> Description de la mesure pour l'étude de cas	
<i>Localisation de la mesure</i> Carte de l'emplacement de la mesure	
<i>Paramètre de la conception</i> Détail sur les paramètres de la conception	
<i>Éléments associés à sa conception</i>	<i>Estimation</i>
<i>Poste de dépenses</i> Description des postes de dépenses	
<i>Éléments associés à sa conception</i>	<i>Estimation</i>
<i>Résultats</i> Description de l'estimation des coûts de l'étude de cas	

Figure 1 Description de la structure des fiches synthèses

RÉSULTATS – FICHES SYNTHÈSES

- 1) La stabilisation de berges
- 2) La rétention de l'eau
- 3) Les milieux humides et hydriques
- 4) La modification structurelle du chenal
- 5) L'immunisation et la relocalisation des bâtiments
- 6) Le changement de l'utilisation du sol

1) LA STABILISATION DE BERGES

Description des mesures de stabilisation des berges

Des mesures ayant pour but la stabilisation des berges sont régulièrement mises en œuvre lorsque des phénomènes d'érosion significatifs sont observés ou qu'une augmentation du débit de crue est projetée. Ces mesures peuvent être faites en prévention bien à l'avance, ou en réponse d'urgence lors d'une alerte d'inondation. Le choix de l'emplacement des mesures de stabilisation est un élément central de conception. Il dépend de la situation géologique et hydrologique, et des actifs à protéger (infrastructures, bâtiments, cultures agricoles, etc.). Une connaissance avancée des conditions hydro-géomorphologiques du chenal et de la berge est essentielle.

Il faut noter que les mesures de stabilisation des berges peuvent avoir un effet sur la rapidité d'érosion mais surtout protègent en réaction à une problématique.

Au moins trois types de mesures de stabilisation des berges se distinguent, selon leur rigidité et l'intensité des processus d'érosion du site.

1) La mesure traditionnelle rigide pour stabiliser les berges est l'**enrochement**. Il consiste à construire un mur de pierre avec une fondation solide (couche d'enrochement épaisse) jusqu'à une certaine hauteur.

2) Au-dessus de ce talus, on peut ajouter des végétaux, du géotextile, et d'autres éléments. Lorsque ces ajouts occupent une grande proportion de l'ouvrage, on parle alors d'infrastructure hybride, comme un **enrochement avec végétalisation**. D'ailleurs, les travaux d'enrochement rigide en totalité sont de moins en moins éligibles dans la réglementation au Québec.

3) Des avancées en **phytotechnologie** démontrent l'efficacité à stabiliser les berges de façon plus naturelle, même dans des environnements d'érosion faible à moyenne. Cette approche est plus pérenne, avec davantage de co-bénéfices environnementaux et économiques (ex. avec fagots, gabions, fascines, rangs de plançons etc.). Dans ce cas-ci, une étude plus détaillée de la résistance du matériau et de la végétation utilisés contre l'érosion serait nécessaire.

Facteurs décisionnels

Avant le choix et la conception d'un ouvrage de stabilisation, il faut connaître les caractéristiques naturelles du milieu et les causes de l'érosion : les caractéristiques bio géophysiques du cours d'eau, de ses berges, de la force du courant, de son usage pour les activités récréatives (par ex. la présence de bateaux), de l'évolution dans l'aménagement du bassin versant, etc. Ensuite, la conception géométrique doit s'harmoniser avec le milieu. Le calcul de la hauteur du talus et de la fondation de l'ouvrage dépend de l'hydro-géomorphologie du chenal et de la période de retour des événements ciblés. La pente de la berge influence l'espace disponible pour installer l'ouvrage en réduisant l'empiètement. L'adoucissement risque d'augmenter les impacts et les coûts, mais peut être nécessaire, alors que la réduction de l'empiètement peut affecter la stabilité de l'ouvrage, selon les seuils de sécurité.

Ces éléments détermineront la longueur des segments à stabiliser et le seuil de stabilisation souhaité. Des considérations environnementales vont aussi déterminer l'emplacement de l'ouvrage, les types de

végétation à planter, l'entretien nécessaire et le calendrier de mise en oeuvre. Pour ceci, une compréhension des impacts et des avantages de tels ouvrages est fondamentale.

Mesure présentée

Parmi les mesures de stabilisation des berges, seul **l'enrochement avec végétalisation** a fait l'objet d'une analyse approfondie de ses coûts, présentée à la section suivante.

STABILISATION : L'ENROCHEMENT AVEC VÉGÉTALISATION

<p>TYPE DE MESURE Enrochement avec végétalisation</p>	
<p>Définition Ouvrages constitués de matériaux solides (roches) capables de résister aux forces érosives actives (vagues, courants, etc.) accompagnés d'espèces herbacées et arbustives sur le talus à protéger.</p>	
<p>Avantages Travaux d'urgence et d'adaptation Relative simplicité de construction Matériaux locaux</p>	<p>Inconvénients</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suivi et entretiens fréquents • Peut créer un faux sentiment de sécurité • « Effets de bout » sur le tronçon en aval • En cas d'effondrement : modification de chenal et augmentation possible du risque et des impacts des inondations • Perturbation d'écosystèmes aquatiques et riverains (prévoir des mesures d'atténuation lors de la mise en œuvre et de compensation si l'empiètement est permanent) (Reid et Church, 2015)
<p>Co-bénéfices</p> <ul style="list-style-type: none"> • La végétation augmente la durée de vie de l'enrochement et restaure ou crée de nouveaux écosystèmes supportant la biodiversité, permet une connectivité entre le milieu naturel riverain et la bordure du ruisseau; supporte le développement des insectes, des batraciens, des invertébrés l'alimentation pour les poissons (Evette et al., 2015) • La végétation et le remblai peuvent avoir un effet filtrant qui augmente la qualité de l'eau • L'enrochement avec végétalisation peut entraîner un bénéfice esthétique 	
<p>Éléments de conception NOTE : Il est à noter que la mise en œuvre de ces aménagements nécessite des connaissances approfondies en espèces herbacées et arbustives, ou un partenariat avec un expert qualifié dans ce domaine.</p>	
<p>Emplacement</p>	<p>Une multitude d'emplacements possible, sur des terrains à risque d'érosion et devant certains actifs à protéger (Reid, 2015)</p>
<p>Hauteur du talus et longueur de la berge</p>	<p>Hauteur : La ligne des hautes eaux (méthode botanique ou cote 1 :2 ans soit 50%) sert de hauteur minimale de l'ouvrage. La hauteur peut être surdimensionnée pour ajouter une protection contre la submersion, mais on parle alors de digue et cela constitue une entrave à la libre circulation des eaux de surface. Le choix du critère acceptable de protection contre la submersion (1 :2 ans ou plus haut) appartient au gestionnaire, mais peut augmenter fortement les coûts de réalisation autant que les impacts de la mesure, et ce surdimensionnement pourrait être interdit par la réglementation en place.</p> <p>Longueur : Le choix dépend souvent du droit de propriété de l'actif à risque (propriétaire du lot), mais il faut aussi tenir compte de la segmentation naturelle du cours d'eau (introduction d'une mesure de stabilisation dans un segment introduira des impacts sur toute la dynamique). Sur le long terme, il est recommandé de favoriser une gestion homogène par segment ou d'adopter des</p>

	mesures d'atténuation des impacts sur une certaine longueur d'empiètement aux extrémités de l'ouvrage, faute de quoi l'aléa en serait exacerbé.
Pente	Sur des pentes fortes ($\geq 10\%$) et à un maximum de 2:1. Privilégier la pente d'équilibre naturelle d'environ 30° après la réalisation de la mesure
Composantes	
Roche	
Type et taille de roche	De différentes granulométries (entre 5 à 100 centimètres) pour mieux s'imbriquer et se structurer Rectangulaires ou angulaires et à face plane Résistantes à l'érosion et à l'action de l'eau (solubilisation)
Agencement	Pierres placées ou déversées avec une implantation par paliers En présence d'une problématique géotechnique (ex. argiles sensible), ceci requiert une évaluation par un ingénieur spécialisé ; en général, cela ajoutera le besoin d'une clé d'enrochement, qui augmente les coûts.
Végétation	
But	Augmenter la stabilité de la berge et de recréer deux types de milieux fonctionnels (aquatiques et terrestres – en plusieurs strates composées d'herbacées, d'arbustes et d'arbres). Choisir des plantes indigènes (ou génétiquement adaptées au milieu) et la biodiversité dans les différentes strates plantées.
Considérations	Améliorer la diversité des strates afin de promouvoir la biodiversité aquatique et terrestre. Bien prêter attention au remblai et aux risques d'EEE Humidité et type de sol Type d'enracinement souhaité Degré d'exposition et saison de croissance Considérations esthétiques
Étapes	
Choix de l'emplacement -> Conception -> Transport et mise en œuvre (excavation/pose/plantation) -> Suivi/Entretien	
Poste de dépenses	
Conception	Coûts de conception (en % du coût total)
Matériel	Coûts de permis
	Coûts d'atténuation et de compensation
	Protection contre les ravageurs
	Compost
Réalisation	Temps de construction
	Taux horaire
	Coûts de machinerie
Suivi et entretien	Annuel pour 3 à 5 ans
	Avec une attention particulière à la première saison et au premier hiver
Durée de vie	Hypothèse : 50 ans (peut varier en fonction de la stabilité de l'ouvrage)

	<p>Dépend du taux de survie des plantes (entre 90 et 95 % pour la première année) et de la dégradation de la végétation par les crues.</p>
	<p>Le but des ouvrages avec végétation est de recréer un système fonctionnel qui ne nécessite plus d'entretien.</p>
<p>Références</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aerts, J. C. (2018). A review of cost estimates for flood adaptation. <i>Water</i>, 10(11), 1646. https://doi.org/10.3390/w10111646 ▪ Buer, K., Forwalter, D., Kissel, M., & Stohler, B. (1989). The middle Sacramento River: human impacts on physical and ecological processes along a meandering river. In <i>California Riparian Systems Conference</i> (p. 22). ▪ Evette, A., Cavaillé, P., Baz, F., Frossard, P.A., & Raymond, P. (2015). Quelles techniques pour végétaliser des enrochements de berges de cours d'eau ?. <i>Sciences Eaux & Territoires</i>, (19), 7 p. DOI : 10.14758/SET-REVUE.2015.HS.02 ▪ Government of British Columbia. (2000). <i>Riprap Design and Construction Guide</i>. https://www.env.gov.bc.ca/wsd/public_safety/flood/pdfs_word/riprap_guide.pdf ▪ Guay, J., Lajeunesse S., Martel, J-F. (2012). Fiche 7 – Enrochement. Dans <i>Guide technique – Gestion environnementale des fossés</i>. MRC Brome Missisquoi. https://mrcbm.qc.ca/common/documentsContenu/Guidetechnique-fiche7-enrochement.pdf ▪ Hanak, E., & Moreno, G. (2012). California Coastal Management with a Changing Climate. <i>Climatic Change</i>, 111(1), 45-73. https://doi.org/10.1007/s10584-011-0295-2 ▪ Iggabel, M., Chaouch, V., & El falidi, M. (2014). <i>Coût des protections contre les inondations fluviales</i>. CEREMA. https://www.gesteau.fr/sites/default/files/gesteau/content_files/document/publication_inondation-protectionpdf.pdf ▪ Jafarnejad, M., Pfister, M., Brühwiler, E., & Schleiss, A. J. (2017). Probabilistic failure analysis of riprap as riverbank protection under flood uncertainties. <i>Stochastic Environmental Research and Risk Assessment</i>, 31(7), 1839-1851. https://doi.org/10.1007/s00477-016-1368-6 ▪ Mussetter Engineering, Inc. (n.d). <i>APPENDIX B: Basis for Construction Cost Estimates</i>. Ducks unlimited. https://www.ducks.org/media/conservation/mtproject/MTData/Workshop_4/Report2_2DModelPumping/APPENDIX_B.pdf ▪ <i>Prix d'un enrochement</i>. (n.d). En Chantier. https://www.enchantier.com/devis/prix-d-un-enrochement.php ▪ Municipalité de Ragueneau et Transports Québec. (2007). <i>Protection en enrochement des berges de la rivière aux Outardes à Ragueneau</i>. Ministère des Transports du Québec. http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/0966053.pdf ▪ Reid, D. & Church, M. (2015). Geomorphic and ecological consequences of riprap placement in river systems. <i>JAWRA Journal of the American Water Resources Association</i>, 51(4), 1043-1059. https://doi.org/10.1111/jawr.12279 ▪ Rodrigue C., Côté-Laurin, I. & Talec, P. (2013). <i>Les hauts et les bas de la rivière Quinchien</i>. McGill University. https://www.mcgill.ca/bioeng/files/bioeng/cassandra_isabelle_laurin_pernilla_2013.pdf ▪ Rodriguez, J. (2021, 15 décembre). <i>Costs and Installation Tips When Building a Riprap Barrier</i>. The spruce. https://www.thebalancesmb.com/costs-and-installation-tips-when-building-a-riprap-844741 	

Exemple : L'Enrochement avec végétalisation dans l'étude de cas de Compton

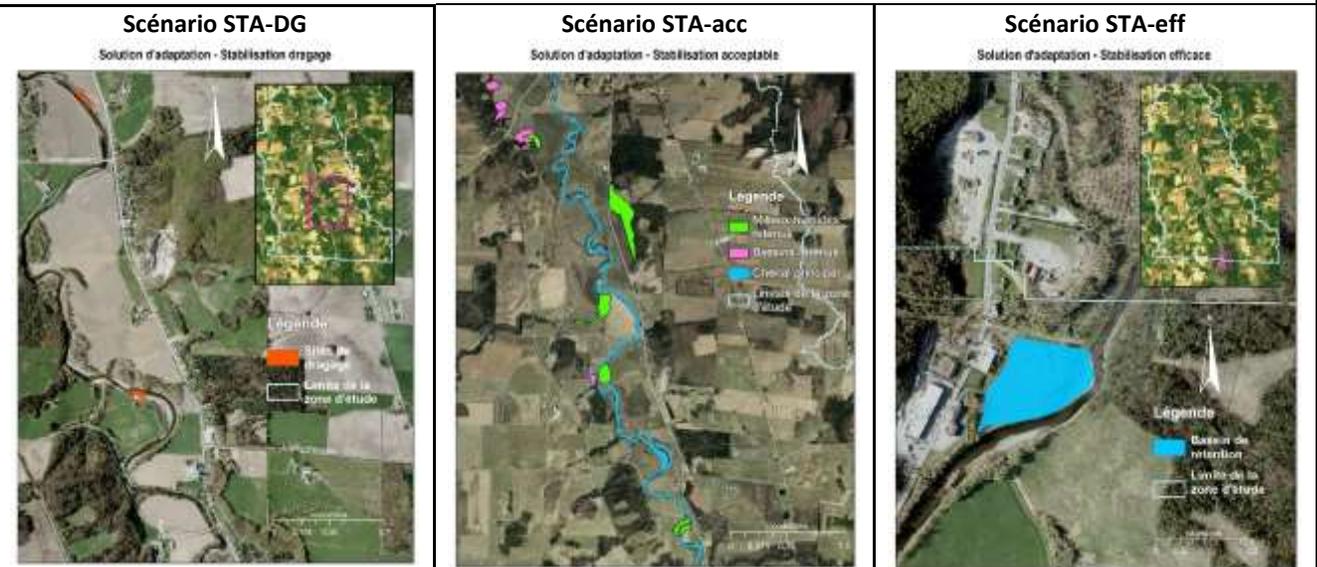
ÉTUDE DE CAS

L'énrochement avec végétalisation dans l'étude de cas de Compton

Description

L'énrochement avec végétalisation, soit une infrastructure hybride, est la mesure consensuellement proposée par les experts (en génie et biologie) comme étant la mieux adaptée aux problématiques de stabilisation de berges au Québec. En effet, l'énrochement rigide dure moins longtemps, dégrade davantage les écosystèmes et fait de plus en plus « en urgence » de manière transitoire. Les coûts de la végétation peuvent varier selon plusieurs facteurs (types de plante, densité de plantation, protection contre les brouteurs, etc.). Pour les études de cas du projet, nous proposons un énrochement avec végétalisation, basé sur un projet similaire réalisé dans la MRC de Brome-Missisquoi (Biron et al., 2013).

Localisation de la mesure



Paramètre de la conception

Paramètre de la conception pour les scénarios **STA-DG**; **STA-acc**; **STA-eff**

Pente	45°
Surface de talus	5 m ²
Hauteur	4 m
Longueur d'énrochement futurs	1,5 km ajoutés
Type de sol	Drift provenant de schiste argileux et d'ardoise non-calcaire, Modérément podzolisé. Terre franche sablonneuse de Sherbrooke
Plantes sélectionnées (Densité *surface*longueur de l'ouvrage) /nombre de plants	
Saule ou aulne	164 boutures
Myrique baumier	164 boutures
Spirée à larges feuilles	164 boutures
Cornouiller stolonifère	164 boutures
Densité de plantation (plantes/m)	4 boutures /m
Durée des travaux	3 ans

Poste de dépenses	
Les dépenses liées à l'implantation de la végétation (boutures (estimés à 1\$/bouture), protection contre les ravageurs (1,7 \$/m), de géotextile (1,6 \$/m) et main d'œuvre (100\$/h) sont considérées incluses dans le coût unitaire de l'enrochement.	
Coût unitaire	500 \$/m
Longueur de la mesure mise en place	1,5 km
Taux des coûts de conception	20%
Coûts annuels d'entretien	
1 an	12%
2 ans	6%
3 ans	3%
4 ans	1,5%
5 ans	1%
10 ans et tranche de 10 ans	10%
Coût total actualisé sur 50 ans (\$ 2019)	2 021 300 \$
Coût annualisé (\$ 2019, 50 ans, 4%)	94 092 \$
Résultats	
<p>Le coût potentiel d'une stabilisation de berge est estimé à une moyenne approximative de 500 \$ par mètre de berge. Il est entendu que le coût varie en fonction de nombreux paramètres (p. ex. la hauteur de talus, la longueur de berge à traiter, le type d'infrastructures à protéger, le type de stabilisation), mais cette valeur correspond bien aux estimés de la MRC Brome-Missisquoi (S. Lajeunesse, communication personnelle). Les coûts de conception sont estimés à 20 % du coût en capital. Les coûts de construction des mesures de protection des berges ont été estimés à partir des expériences pratiques de Parish Geomorphic Ltd en Ontario et par la MRC Brome-Missisquoi. Les valeurs utilisées proviennent de données de différents projets compilées dans le cadre d'une analyse avantages-coûts effectuée auparavant sur le ruisseau Richer (Rousseau, 2010). Pour cette analyse avantages-coûts, il a été présumé qu'un traitement typique de bio-ingénierie serait utilisé dans le futur, incluant une zone d'enrochement en bas de la berge combinée à un traitement de géotextile avec plantation de végétaux. Les coûts potentiels ont été calculés selon un pourcentage du coût capital approximatif se situant autour de 10 % à tous les 10 ans</p> <p>À partir de cette estimation, nous pouvons considérer que le coût de la mesure correspond au total du coût réalisation de la mesure, incluant la conception, l'inspection et l'entretien, soit un total de 2 021 300 \$ pour Compton (en dollars de 2019 et actualisé sur 50 ans). Les coûts de suivi et d'entretien sont répartis dans le temps et actualisés à l'année d'engagement des dépenses.</p>	

2) LA RÉTENTION DE L'EAU

Description des mesures de rétention

La rétention est un éventail d'infrastructures et de techniques conçues pour diminuer les surverses dans les centres urbains où, très souvent, lorsque les surfaces ont été imperméabilisées, diminuant ainsi la capacité du sol à absorber l'eau de pluie. Les mesures de rétention imitent donc à un certain niveau ces systèmes de drainage naturels qui ont été modifiés par les activités anthropiques. Les infrastructures vertes et les systèmes de conduits constituent les principaux types de stratégies dans les mesures d'adaptation aux inondations dans les zones urbaines. Les différentes mesures peuvent aussi être divisées en deux catégories : 1) des mesures dites individuelles, qui agissent pour un terrain, et 2) des mesures dites collectives, dans lesquelles sont acheminés les excès d'eau de plusieurs terrains.

Facteurs décisionnels

Plusieurs facteurs influencent la préconisation de mesures de rétention pour réduire les inondations. D'abord, les caractéristiques hydro-climatiques et hydro-géomorphologiques du bassin versant font varier l'importance du drainage urbain dans la transmission de l'eau de pluie aux cours d'eau (ex. les propriétés du sol et sa capacité d'absorption, les précipitations fréquentes et les phénomènes extrêmes, la neige etc.). Ensuite, les caractéristiques du territoire à drainer mais surtout l'échelle d'intervention désirée (terrain, rue, quartier) influencent la taille des ouvrages et l'efficacité requise. Parfois, le contexte institutionnel (la présence d'un règlement de proportion de perméabilité du sol, un programme public basé sur un ouvrage type) peut déterminer ou limiter l'efficacité des mesures. Des objectifs d'atteinte de ratio de perméabilité du sol seront aussi des guides pour cibler le dimensionnement des mesures. Finalement, dans un contexte de terrains privés, les taux d'adoption par les propriétaires concernés des différentes mesures, et l'espace de libre circulation vont avoir un impact sur la quantité d'eau que ces mesures pourront réellement réguler.

Mesures présentées

Quatre mesures sont décrites dans les sections suivantes. Les **toits verts** et **barils de pluie** sont des mesures plutôt individuelles tandis que les **jardins de pluies/bassins de biorétention** et les **bassins de rétention** sont collectives.

RÉTENTION DE L'EAU : LE TOIT VERT

TYPE DE MESURE	
Le toit vert	
Définition Ayant gagné en popularité dans les dernières années, les toits verts sont une mesure qui permet le drainage et ruissellement de toitures de façon à gérer les ruissellements sur les bâtiments, réduire leurs vitesses, et conduire l'eau vers les gouttières dans des structures de stockage temporaires tels les barils.	
Avantages Requiert peu d'entretien Création d'écosystèmes Esthétique Réduction des vitesses de ruissellement	Inconvénients Peut avoir un impact structurel sur les toitures Nécessite des assurances
Co-bénéfices Effet sur la qualité de l'eau et réduction de pollution Régulation de la température interne du bâtiment (isolation thermique) Isolation acoustique Diminution des îlots de chaleur Filtration d'eau	
Éléments de conception	
Type (en fonction de la couche de substrat)	Selon Hardy, 2014 : Intensif (>300 mm) Semi-extensif (150-300 mm) Extensif (<150 mm)
Propriétés du toit	Accès Capacité structurelle
Pente	Minimum 2% (City of Toronto, 2017)
Pourcentage du toit végétalisé	Entre 300 m ² (construction combustible) et 500 m ² (construction incombustible) (Arteau, 2014)
Composante	
Végétation	Résistants à l'hiver Barrière anti racines (Arteau, 2014)
Substrat	Minimum 1000mm
Systèmes	Couche de filtrage Système de drainage Système de rétention
Étapes Évaluation de faisabilité --> Conception --> Mise en œuvre --> Entretien	
Poste de dépenses	
Conception	Coûts de conception (En % du coût total)
Matériel	Roches ou autre matériel structurant (ex. troncs)
	Végétation
	Protection contre ravageurs
	Composte et géotextile

Mise en place	Coûts de permis
	Coûts de compensation
	Temps de construction
	Taux horaire
	Machinerie
Entretien	Hebdomadaire pour toits intensifs/semi-intensifs
	2 à 3 fois/année pour toits extensifs
Durée de vie	40 ans (Hardy, 2014)
	Dépend du taux de survie des plantes
<p>Références</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Arteau, R. (2014). <i>La construction de toits végétalisés : Guide technique pour préparer une solution de rechange</i>. Ville de Montréal. ISBN (PDF) : 978-2-9811127-4-3 http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/AFFAIRES_FR/MEDIA/DOCUMENTS/TOITSVEGETALISES_CAHIEREXPLICATIF_JANVIER2014.PDF ▪ City of Toronto. (2017). <i>Toronto Green Roof Construction Standard: Supplementary Guidelines</i>. https://www.toronto.ca/wp-content/uploads/2017/08/7eb7-Toronto-Green-Roof-Construction-Standard-Supplementary-Guidelines.pdf ▪ Hardy, M. (2014). <i>Les toits verts au Québec: pour une urbanisation équilibrée</i>. [Maîtrise en Environnement, Université de Sherbrooke]. Savoir UdeS. https://www.uherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2014/Hardy_M_2014-06-12.pdf ▪ Landscape Development and Landscaping Research Society. (2018). <i>Green Roof Guidelines - Guidelines for the Planning, Construction, and Maintenance of Green Roofs</i>. https://commons.bcit.ca/greenroof/files/2019/01/FLL_greenroofguidelines_2018.pdf ▪ Paradis Bolduc, L., (2016, 15 mars). <i>Avantages et désavantages des toits végétalisés</i>. Écohabitation. https://www.ecohabitation.com/guides/2465/avantages-et-desavantages-des-toits-vegetalises/ ▪ Trottier, A. (2007). <i>Toitures végétales : implantation de toits verts en milieu institutionnel</i>. Société de développement communautaire de Montréal. https://ecoresponsable.uqam.ca/fichier/document/toitures_vegetales_institutionnelles.pdf 	

RÉTENTION DE L'EAU : LE BARIL DE PLUIE

TYPE DE MESURE	
Le baril de pluie	
Définition	
Les barils de pluie sont des mesures individuelles de gestion des eaux de pluie, des récipients qui récupèrent les précipitations et peuvent la stocker pour une durée de temps qui dépend du volume du baril. Ils sont souvent accompagnés par une embouchure de drainage afin de faciliter l'évacuation de l'eau lorsque le baril est plein.	
Avantages	Inconvénients
Simple Coût unitaire très bas	Petite capacité de rétention Efficacité limitée Nécessite de vider le baril avant la prochaine pluie pour conserver son efficacité
Co-bénéfices	
Conservation d'eau Éducation et promotion	
Éléments de conception	
Dimensionnement	Variable (en m ³)
Emplacement	Sol nivelé
Type de Drain	Gouttière Déviateur simple Possibilité d'ajouter une pompe
Matériel	Plastique Polyéthylène Bois
Étapes	
Achat de baril ---> Pose de baril ---> Drainage ponctuel --> Entretien/suivi	
Poste de dépenses	
Conception	Coûts de conception (En % du coût total)
Matériel	Baril
	Filtres
	Arrosoir
Entretien	Après orages
	Annuellement
Durée de vie	15-20 ans
	Dépend du taux de survie des plantes
Références	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bocking, S. (2005). Protecting the rain barrel: Discourses and the roles of science in a suburban environmental controversy. <i>Environmental Politics</i>, 14(5), 611-628. https://doi.org/10.1080/09644010500257896 ▪ Fisher Kaiser, L. (n.d). <i>Save Water and Money with a Rain Barrel</i>. Houselogic. https://www.houselogic.com/save-money-add-value/save-on-utilities/water-savings-barrel/ ▪ <i>How Much Do Rain Barrels Cost?.</i> (2015, 23 juin). Angi. https://www.angi.com/articles/how-much-do-rain-barrels-cost.htm 	

- *How to Clean a Rain Barrel.* (2017, 11 septembre). Rain harvest.
<https://www.rainharvest.com/blog/?p=490#:~:text=Inspect%20the%20inside%20of%20your,will%20work%20as%20a%20cleaner.>
- Jennings, A. A., Adeel, A. A., Hopkins, A., Litofsky, A. L., & Wellstead, S. W. (2013). Rain barrel–urban garden stormwater management performance. *Journal of Environmental Engineering*, 139(5), 757-765. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000663](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000663)
- *Rain Barrels: Are They Effective?* (n.d). Capital Regional District.
<https://www.crd.bc.ca/docs/default-source/water-pdf/rain-barrel-paper.pdf?sfvrsn=2>

RÉTENTION DE L'EAU : LE JARDIN DE PLUIE, BASSIN DE BIO-RÉTENTION

TYPE DE MESURE	
Jardin de pluie	
Définition Un jardin de pluie (ou bassin de bio rétention à plus grande échelle) est une mesure de gestion des eaux de pluie. Considéré comme une infrastructure verte, il est un élément paysager creusé, bordé et recouvert de végétation et souvent accompagné par un conduit de drainage. Cette mesure joue sur la vitesse d'infiltration d'eau qui est réduite par le couvert végétal.	
Avantages Requiert peu d'entretien Création d'écosystèmes Esthétique Réduction des vitesses et risques de ruissellement	Inconvénients Risque d'érosion Capacité de rétention limitée Nécessite une surface importante qui peut engendrer des couts parfois élevés selon l'utilisation du sol.
Co-bénéfices Effet sur la qualité de l'eau et réduction de pollution Régulation de la température locale	
Éléments de conception	
Temps de rétention	12-14 heures (moins que 48 heures)
Taille	Variable selon la superficie à drainer. Certains suggèrent une taille d'environ 10-20% de cette superficies
Emplacement	Suffisamment loin des bâtiments (plus de 10 mètres), de fosses septiques (plus de 4 mètres), et d'infrastructures souterraines
Pente	Moins de 12%
Matériel	Plantes Paillis Composte/terre Roches
Étapes Conception (choix d'emplacement, type de plantes etc.) -> Mise en œuvre (excavation, plantation) -> Entretien	
Poste de dépenses	
Conception	Coûts de conception (En % du coût total)
Matériel	Végétation
Main d'œuvre	Temps
	Taux horaire
	Machinerie
Terrain	Compensation
	Zonage
Entretien	Débroussaillage, fauchage, élagage, coupe d'arbres
	Fréquence annuelle
	Similaire à n'importe quel autre travail paysager

Durée de vie	Longévité dépend de la continuité de l'utilisation de cet espace comme jardin de pluie
<p>Références</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>A Complete Guide to Building and Maintaining a Rain Garden</i>. (2018, 14 août). Toronto and Region Conservation Authority. https://trca.ca/news/complete-guide-building-maintaining-rain-garden/ ▪ <i>Bioretention and Rain Gardens</i>. (n.d). Sustainable Technologies Evaluation Programs. https://sustainabletechnologies.ca/home/urban-runoff-green-infrastructure/low-impact-development/bioretention-and-rain-gardens/ ▪ Kazemi, F., Beecham, S., & Gibbs, J. (2009). Streetscale bioretention basins in Melbourne and their effect on local biodiversity. <i>Ecological Engineering</i>, 35(10), 1454-1465. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.06.003 ▪ Mangangka, Isri R., An Liu, Prasanna Egodawatta, and Ashantha Goonetilleke. (2015). Performance characterisation of a stormwater treatment bioretention basin. <i>Journal of Environmental Management</i>, 150, 173-178. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.007 ▪ Marris, L. (2013, 19 juin). <i>Is it a Raingarden or is it Bioretention?</i>. DeepRoot Blog. https://www.deepproot.com/blog/blog-entries/is-it-a-raingarden-or-is-it-bioretention ▪ <i>More about Rain Gardens</i>. (n.d). Groundwater foundation. https://www.groundwater.org/action/home/raingardens-more.html ▪ Myrand, L. M. (2017, 22 juin). <i>Bassins du Nouveau Havre : biorétention à l'échelle urbaine</i>. Portail Constructo. https://www.portailconstructo.com/actualites/projets/bassins_nouveau_havre_biorétention_echelle_urbaine ▪ Toronto and Region Conservation for the Living City. (2015). <i>Gestion optimale des eaux pluviales: Étude comparative de la performance d'un bassin de biorétention et d'une tranchée d'infiltration</i>. Programme d'évaluation des technologies durables. https://sustainabletechnologies.ca/app/uploads/2015/07/BioVSTrench_TechBrief_July2015_FR.pdf ▪ <i>What is a Rain Garden?</i>. (n.d). Capital Regional District. https://www.crd.bc.ca/education/green-stormwater-infrastructure/rain-gardens 	

RÉTENTION DE L'EAU : LE BASSIN DE RÉTENTION

<p>TYPE DE MESURE Bassin de rétention</p>	
<p>Définition Les bassins de rétention sont de larges bassins ouverts dans lesquels l'eau de pluie est stockée de façon à diminuer le risque d'inondation lors d'événements de fortes pluies dans un bassin versant. L'eau qui s'y trouve ruissellera naturellement dans la nappe phréatique ou dans le cours d'eau, ou bien est libérée par un système de drainage manuel ou automatique. On distingue deux types de bassin de rétention, ceux en surface (plus communs) et les bassins souterrains.</p>	
<p>Avantages Peut retenir une quantité d'eau importante Limite le ruissellement et donc moins d'eau dans les cours d'eau Requiert peu d'entretien</p>	<p>Inconvénients Peu d'attrait visuel, notamment en milieu urbain. Requiert entretien ou suivi régulier Préoccupation de santé (eau stagnante, odeur, moustiques etc.) Requiert achat d'un terrain ou utilisation d'un terrain municipal Peut dégrader la qualité des eaux suite au relâchement d'eaux stagnantes.</p>
<p>Co-bénéfices Création de nouveaux écosystèmes Création d'un réservoir d'eau qui peut être utile durant les périodes sèches Qualité de l'eau</p>	
<p>Éléments de conception</p>	
Taille	Unité d'espace par volume d'eau = indique le volume de ruissellement/précipitation que l'infrastructure est supposée retenir
	Calculé en termes de débit de sortie du bassin: maximum 30 litres/secondes/hectare
	Pluie de 100 ans de récurrence
Superficie	Moins de 10 acres (Weiss et al., 2005) Un exemple de 2999 m ² (Desjarlais et Larrivée, 2011)
Emplacement	Coûts de terrain Zonage
Forme du bassin	Long et étroit Ratio L-l de 2:1 (Setty, UC Santa Barbara; Government of Maine, 2016) ou 4:1 à 5:1 (Gouvernement du Québec, 2014) Forme oblongue ou triangulaire (Setty, UC Santa Barbara)
Profondeur	Un maximum de 2 mètres pour un volume maximum de 10'000 m ³
Pente du bassin	Généralement 4:1 ou plus douces (Gouvernement du Québec, 2014; Ville de Québec, 2015) et pour que le terrain soit stable
Quantité d'eau à retenir et temps de rétention	Différentes suggestions sont émises pour dimensionner les bassins de rétention. Notamment : <ul style="list-style-type: none"> • 2 à 3 semaines avec une profondeur de 1-2.5 m (optimal pour le traitement de l'eau) • 3-4 fois le volume de ruissellement d'un événement typique.

	<ul style="list-style-type: none"> • Minimum de 24h mais recommandé 48h (Gouvernement du Québec, 2014) (pour le contrôle de la concentration des sédiments) • Quelques heures (uniquement pour le contrôle du débit maximal à sa valeur pré-développement). • L'utilisation maximale du volume du bassin de rétention ne doit pas dépasser 90 % pour la pluie de période de retour 20 ans en climat futur (Mailhot et al, 2014). <p>Le débit à la sortie des bassins de rétention ne doit pas dépasser < 2 - 10 l/sec/ha pour pluie de période de retour 2 ans - 20 ans en climat futur.</p>
<p>Étapes Identification et/ou achat de terrain --> Conception --> Ouvrage (excavation, plantation) --> Entretien</p>	
<p>Poste de dépenses</p>	
Conception	Coûts de conception (En % du coût total)
Matériel	Coûts de permis
	Coûts d'atténuation et de compensation
	Végétation
	Systèmes d'évacuation d'eau
Main d'œuvre	Temps
	Taux horaire
	Machinerie
Terrain	Compensation
	Zonage
Entretien	Débroussaillage, fauchage, élagage, coupe d'arbres
	Fréquence annuelle et après précipitation extrême (Setty, UC Santa Barbara)
	Similaire à n'importe quel autre travail paysager
	3-10% des coûts de construction (Setty, UC Santa Barbara; Bélanger, 2008; Desjarlais et Larrivée, 2011)
Durée de vie	15-20 ans (Desjarlais et Larrivée, 2011; Setty, UC Santa Barbara)
<p>Références</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Barr Engineering Company. (2011). <i>Best Management Practices Construction Costs, Maintenance Costs, and Land Requirements</i>. Minnesota Pollution Control Agency. https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/p-gen3-13x.pdf ▪ Canadian Nursery Landscape Association. (n.d). <i>Life Cycle Cost Analysis Of Natural On-site Stormwater Management Methods</i>. https://cnla.ca/uploads/pdf/LCCA-Stormwater-Report.pdf ▪ Desjarlais, C. et Larrivée, C. (2011) <i>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</i>. Ouranos, 25 p. https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportDesjarlais2011_FR.pdf ▪ <i>Floodwater Detention and Retention Basins</i>. (n.d). Naturally resilient communities. http://nrcoptions.org/floodwater-detention/#:~:text=According%20to%20the%20EPA%2C%20typical,cubic%20foot)%20for%20larger%20basins. ▪ Forest, S. (2012). <i>Guide d'aménagement des bassins de rétention des eaux pluviales</i>. Ville de Québec. https://glsicities.org/wp-content/uploads/2015/07/Quebec-guide_aménagement_bassins.pdf 	

- Gouvernement du Québec. (2014). Chapitre 11 : Les Pratiques de gestion optimales des eaux pluviales. Dans *Guide de gestion des eaux pluviales*.
<http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/pluviales/chap11.pdf>
- Maine department of environmental protection. (2016). Chapter 3: Detention Basins for Flooding Control. In *Maine Stormwater Management Design Manual*.
<https://www.maine.gov/dep/land/stormwater/stormwaterbmps/vol3/chapter3.pdf>
- Narayanan, A., & Pitt, R. (2006). *Costs of Urban Stormwater Control Practices*. University of Alabama.
<http://unix.eng.ua.edu/~rpitt/Publications/StormwaterTreatability/Arvind%20and%20Pitt%20stormwater%20cost%20report.pdf>
- Sebti, A. (2011). *Optimisation des coûts de la Réhabilitation hydraulique et environnementale d'un réseau de drainage urbain*. [Maîtrise en Génie de la Construction, École de technologie supérieure]. Espace ÉTS. <https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/894/>
- Setty, K. (n.d). *Design Manual: Retention Basin*. Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox.
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SETTY%20ny%20Design%20Manual.pdf
- Weiss, P., Gulliver, J. & Erickson, A. (2005). *The Cost And Effectiveness Of Stormwater Management Practices*. Minnesota Department of Transportation. St. Paul Minnesota.
<https://www.lrrb.org/pdf/200523.pdf>

Exemple : Les bassins de rétention dans l'étude de cas Compton

<p>ÉTUDE DE CAS Les bassins de rétention dans l'étude de cas de Compton</p>	
<p>Description Les bassins de rétention ont été choisis comme mesure dans l'étude de cas de Compton afin de diminuer les débits de pointes de la rivière dans le secteur amont de la municipalité. Deux scénarios dans l'analyse coûts avantages modélisent ces bassins. Le premier scénario (STA-acc) modélise sept petits bassins de rétention, construits sur des terres agricoles, d'une capacité de 5000 m³ chacun. Le deuxième scénario (STA-eff) modélise un bassin surdimensionné d'une capacité de plus de 69 551 m³.</p>	
<p>Localisation de la mesure</p>	
<p style="text-align: center;">Scénario STA-acc Solution d'adaptation - Stabilisation acceptable</p> 	<p style="text-align: center;">Scénario STA-eff Solution d'adaptation - Stabilisation efficace</p> 
<p>Paramètre de la conception Détail sur les paramètres de la conception pour le scénario STA-acc</p>	
Nombre de bassins	7
Volume total à retenir	35 000 m ³
Superficie totale requise	42 350 m ²
Profondeur moyenne	--
<p>Paramètre de la conception Détail sur les paramètres de la conception pour le scénario STA-eff</p>	
Nombre de bassins	1
Volume à retenir	69 551 m ³
Superficie requise	29 392 m ²
Profondeur moyenne	2,13 m
<p>Poste de dépenses Détail sur les paramètres de la conception pour le scénario STA-acc Sont considérés : le coût de main d'œuvre (100\$/h), de matériaux tels le ciment, la végétation, les pompes et drains, et les coûts de location de machinerie (500\$/h). Les coûts d'opportunité de l'utilisation des terrains agricoles pour la construction des bassins ont été estimés avec la valeur moyenne des terres agricoles dans la région de l'Estrie, additionnée d'un écart-type afin de tenir compte de la productivité accrue des terres agricoles à Compton (FADQ, 2019). Les coûts annuels d'entretien sont estimés à 10% du coût de construction</p>	

Coût unitaire	76 \$/m ³
Capacité	5000 m ³
Nombre de bassins	7
Taux annuel des coûts d'entretien	10 %
Coûts des terrains agricoles	11 660 \$/ ha (FADQ, 2019)
Coût total actualisé sur 50 ans (\$ 2019)	15 957 200 \$
Coût total annualisé (\$ 2019, 50 ans, 4%)	742 811\$
Poste de dépenses	
<p>Détail sur les paramètres de la conception pour le segment STA-eff Sont considérés : le coût de main d'œuvre (100\$/h), de matériaux tels le ciment, la végétation, les pompes et drains, et les coûts de location de machinerie (500\$/h). Les coûts d'opportunité de l'utilisation du terrain municipal pour la construction du bassin ont été estimés avec la valeur foncière du terrain (MAMH, 2018). Les coûts annuels d'entretien sont estimés à 10% du coût de construction</p>	
Coût unitaire	76 \$/m ³
Capacité	39 500 m ³
Nombre de bassins	1
Taux annuel des coûts d'entretien	10 %
Coûts du terrain municipal	86 800 \$
Coût total actualisé sur 50 ans (\$ 2019)	31 698 300 \$
Coût total annualisé (\$ 2019, 50 ans, 4%)	1 475 562 \$
Résultats	
<p>Le coût potentiel de la construction d'un bassin de rétention est estimé à une moyenne approximative de 76\$/m³. Il est entendu que le coût varie en fonction de nombreux paramètres (p. ex. la taille, les matériaux, le type de mise en œuvre, l'emplacement exacte etc.) mais cette estimation correspond à ceux du rapport Desjarlais et Larrivée (2011, p.7) dont l'ordre de grandeur a été validé.</p> <p>À partir de cette estimation, nous pouvons considérer que le coût de la mesure correspond au total du coût de la réalisation de la mesure incluant l'entretien et le terrain, soit un coût actualisé total de 15 957 200 \$ pour le scénario STA-acc et 31 698 300 \$ pour le scénario STA-eff pour Compton (en dollars de 2019 et actualisé sur 50 ans). Les coûts de suivi et d'entretien seront répartis dans le temps et actualisés à l'année d'engagement des dépenses.</p>	
Références	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ FADQ - Financière agricole du Québec. (2019, juin). Bulletin Transac-TERRES édition 2019. https://www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/bulletins/transac-terres-2019.pdf ▪ MAMH - Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (2018) Rôle d'évaluation foncière pour la MRC de Coaticook. Base de données. 	

3) LES MILIEUX HUMIDES ET HYDRIQUES

Description des mesures de milieux humides et hydriques

Les milieux humides et hydriques d'un bassin versant contribuent de façon naturelle à amoindrir les impacts des inondations et de l'érosion. Ces milieux retiennent l'eau, en agissant comme une protection contre l'érosion et comme une éponge, notamment en période de crues, emmagasinant l'eau pour la relâcher graduellement, en plus d'offrir de nombreux services écologiques. En effet, les milieux humides et hydriques filtrent l'eau pour en améliorer la qualité, abritent une riche biodiversité, capturent une quantité importante de carbone et contribuent aux activités économiques, notamment en renforçant la résilience des terres agricoles et des forêts (MELCC, 2017). Pour évaluer le rôle exact et la contribution à la réduction des inondations par les milieux humides spécifiques, des analyses locales doivent toutefois être réalisées. En effet, il est important de mentionner que l'influence des milieux humides sur l'atténuation des crues dépend du type de milieu humides (étang, marais, marécage ou tourbière) et de la saison considérée. Par exemple, le gel au sol empêche l'infiltration et accélère le ruissellement.

Les milieux humides du Québec sont considérés, pour une grande portion d'entre eux, comme "perturbés". Des structures anthropiques ou de drainage pour le développement urbain ont engendré des modifications de façon à ne plus être considérés fonctionnels. C'est notamment le cas dans le sud du Québec et dans les centres urbains. Au Québec, notamment à travers les plans régionaux des milieux humides et hydriques (PRMHH) qui délimitent l'encadrement légal de la gestion de ces milieux, un travail important de valorisation est en cours. Plusieurs types de travaux de restauration des milieux humides sont éligibles pour un financement au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Ce genre de travaux est souvent entrepris par des organismes de conservation ou comités locaux et municipalités, et certains organismes nationaux dont Canards Illimités Canada. Les mesures concernant les milieux humides et hydriques peuvent être divisé en 3 catégories : 1) la conservation, 2) la restauration et 3) la création. À noter qu'il y a une grande distinction entre la restauration d'un milieu humide et la création, notamment dans l'emplacement réglementaire et le type de travail que ces ouvrages requièrent.

Facteurs décisionnels

Afin de proposer une création ou restauration des services hydrologiques des milieux humides, la différenciation de leur type et de leur emplacement est essentielle. La première question à poser réfère donc à l'emplacement des milieux humides sur le territoire en question. Dans la vallée du Saint-Laurent, la majorité des milieux humides se retrouvent en amont des petits bassins versants localisés à au plus 100 km du lit principal du fleuve ou directement dans la zone inondable de celui-ci. Pour ceux qui sont localisés dans la zone inondable du fleuve ou très près, ce sont généralement des marais, des marécages et des prairies humides. Pour les autres, ce sont généralement des complexes formés de tourbières ombrotrophes, minérotrophes et de marécages isolés. Cependant, à l'extérieur de la vallée du Saint-Laurent, on retrouve aussi un nombre non négligeable de milieux humides riverains dans les zones en amont des grands bassins versants localisés dans le Bouclier canadien et les Appalaches. Pour la plupart, ce sont des marais, des étangs, des eaux peu profondes et quelques tourbières boisées.

La deuxième question se rapporte à la compréhension de leur capacité d'emmagasinement et donc de leur fonction de régularisation du ruissellement - ceci n'est pas encore bien représenté dans les modélisations, nos connaissances à ce sujet étant encore limitées. Les connaissances les plus à jour sur les milieux humides et hydriques suggèrent que la capacité d'emmagasinement varie selon le type de milieu humide et leur connectivité au réseau hydrographique (de surface et sous-terrain).

Mesure présentée

La mesure de **restauration des milieux humides et hydriques** est présentée à la section suivante.

MILIEUX HUMIDES ET HYDRIQUES : LA RESTAURATION

<p>TYPE DE MESURE Restauration de milieux humides et hydriques (MHH)</p>	
<p>Définition Modification des caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques d'un site dans le but de rétablir les superficies et les fonctions d'un MHH préalablement existant ou celles de la partie dégradée d'un MHH (MELCC, 2019)</p>	
<p>Avantages Réduction de vitesse de ruissellement et augmentation de la rétention Programmes de subvention Grande variation en taille et envergure de projets Dimension communautaire à l'échelle du bassin versant</p>	<p>Inconvénients Demande cartographique importante Requiert une évaluation d'impact Distinction à faire entre restauration pour services écosystémiques et hydrologiques</p>
<p>Co-bénéfices Services écosystémiques Augmentation de valeur du paysage Renforcement de la résilience des activités agricoles et forestières</p>	
<p>Éléments de conception</p>	
<p>Emplacement</p>	<p>Cartographie des milieux humides existants perturbés et des milieux humides potentiels sur le territoire</p> <p>Dans la zone inondable et connecté au réseau hydrographique</p> <p>Considérer les interactions hydrodynamiques dans les milieux estuariens.</p>
<p>Type de travaux restauration (La construction de milieux hydriques artificiels (ou milieux humides et hydriques résultants de la création d'infrastructure variées, par exemple les routes ou structures de drainage sous-dimensionnées) a aussi une valeur à considérer.)</p>	<p>Sept types de travaux sont couverts par le programme du MELCC (2020) dont:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Restauration du couvert végétal d'une tourbière ou remouillage d'une tourbière selon des méthodes éprouvées • Fermeture de canaux de drainage agricole ou de fossés ou enlèvement de remblais en milieu humide • Restauration ou fermeture de chemins (passages préférentiels) en milieu humide, en complément à d'autres mesures de restauration du milieu humide • Retrait de constructions ou de structures anthropiques nuisant à la continuité écologique et aux processus naturels • Rétablissement de l'espace de bon fonctionnement d'un cours d'eau • Reconnexion d'un bras mort d'un cours d'eau à celui-ci • Réaménagement de cours d'eau permettant le retour des processus hydro géomorphologiques <p>Travaux connexes :</p>

	<ul style="list-style-type: none"> Plan de contrôle des sédiments et de la qualité de l'eau
Taille	Variable mais 5 hectare minimum pour avoir un ratio coût/bénéfice acceptable (Canards Illimités Canada)
Débit visé	Restauration d'un régime de débit qui correspond aux besoins du milieu naturel original.
Réglementation	Zonage municipale
	Plans régionaux sur les milieux humides et hydriques
	Certificat d'autorisation pour un projet en milieu humide et hydrique (LQE art 22)
	Loi sur l'habitat du poisson (MFFP, article 128.7 de la LCMVF)
	Guide d'élaboration d'un plan de conservation des milieux humides (MDDEP, 2008)
	Loi de sécurité des barrages
<p>Étapes</p> <p>Cartographie des milieux humides existants et potentiels -> Étude de faisabilité et d'impact environnemental -> Achat de terrain et/ou compensation -> Conception de type de travaux requis pour restauration -> Réalisation -> Suivi et entretien</p>	
<p>Poste de dépenses</p>	
Conception	Coûts de conception (En % du coût total)
	Coûts de conception (En % du coût total)
	Frais administratifs
	Coûts de permis
	Coûts d'atténuation et de compensation
Réalisation	Temps de construction
	Temps de surveillance de chantier
	Taux horaire
	Machinerie
Suivi et entretien	Annuellement pour 3 à 5 ans
	Moins de 10 % des coûts de mise en œuvre (MELCC, 2020)
	Le but de la restauration de ces milieux est de recréer un système fonctionnel qui ne nécessite plus d'entretien.
Durée de vie	Illimitée puisque le but est de recréer un système fonctionnel qui ne nécessite plus d'entretien.
	Importance de planifier le suivi à long terme (au minimum 20 ans)
<p>Références</p> <ul style="list-style-type: none"> Fournier, R., Poulin, M., Revéret, J-P., Rousseau, A. & Théau, J. (2013). <i>Outils d'analyses hydrologique, économique et spatiale des services écologiques procurés par les milieux humides des basses terres du Saint-Laurent : adaptations aux changements climatiques</i>. Ouranos. https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportFournier2013_FR.pdf Gulbin, S., Kirilenko, A. P., Kharel, G., & Zhang, X. (2019). Wetland loss impact on long term flood risks in a closed watershed. <i>Environmental science & policy</i>, 94, 112-122. Jutras, S., & Plamondon, A. P. (2020). Fonctions hydrologiques des milieux humides boisés soumis à l'aménagement forestier: une revue de la littérature. <i>Écoscience</i>, 28(1), 1-31. https://doi.org/10.1080/11956860.2020.1772612 Middleton, B. A. (Ed.). (2002). <i>Flood pulsing in wetlands: restoring the natural hydrological balance</i>. John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-471-41807-8 	

- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2017). *Adoption du projet de loi no 132 – Le Québec, « premier de classe » en matière de conservation des milieux humides et hydriques au bénéfice du monde municipal*
<https://www.environnement.gouv.qc.ca/infuseur/communiquel.asp?no=3746>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2019). *Programme de restauration et de création de milieux humides et hydriques – Cadre normatif*.
<https://www.environnement.gouv.qc.ca/programmes/prcmhh/cadre-normatif.pdf>
- MDDEP. (2012). *Les milieux humides et l'autorisation environnementale*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du patrimoine écologique et des parcs, Direction des politiques de l'eau et Pôle d'expertise hydrique et naturel. 41 pages + annexes.
<http://www.jrenvironnement.com/documents/milieux-humides-autorisations-env.pdf>
- Pattison-Williams, J. K., Pomeroy, J. W., Badiou, P., & Gabor, S. (2018). Wetlands, flood control and ecosystem services in the Smith Creek Drainage Basin: A case study in Saskatchewan, Canada. *Ecological economics*, 147, 36-47
- Simard, C., L'Ecuyer-Sauvageau, C., Bissonnette, J. F., & Dupras, J. (2019). Le rôle des infrastructures naturelles pour la gestion des eaux de ruissellement et des crues dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques. *Le Naturaliste canadien*, 143(1), 25-31. <https://doi.org/10.7202/1054114ar>
- United States Environmental Protection Agency. (n.d). *Incorporating Wetland Restoration and Protection in Planning Documents*. <https://www.epa.gov/wetlands/incorporating-wetland-restoration-and-protection-planning-documents>

Exemple : La Restauration de milieux humides dans l'étude de cas de Compton

ÉTUDE DE CAS

La restauration de milieux humides dans l'étude de cas de Compton

Description

Dans cette étude de cas, la mesure modélisée à Compton consiste à restaurer les fonctions hydrologiques de certains milieux humides potentiels sur le territoire. Afin d'estimer les coûts de tels travaux, nous avons repris les coûts ventilés produits par Canards Illimités Canada dans le cadre d'un projet de restauration d'un milieu humide en Ontario. Il est entendu que le coût varie en fonction de nombreux paramètres (p. ex. le type de milieu humide, le niveau de perturbation, la superficie, le type de terrain, le talus, la longueur de berge à traiter, le type d'infrastructures à protéger, le type de stabilisation); le développement d'un réel projet de restauration à Compton pourrait faire objet d'une étude à part entière.

Localisation de la mesure

Scénario STA-acc



Paramètre de la conception

Détail sur les paramètres de la conception pour le scénario **STA-acc**

Nombre de milieux humides à restaurer	2 concédées
Superficie totale	6,5 ha
Type de MHH	MHH riverains
Type de terrain	Agricole

Poste de dépenses

Détail sur les paramètres de la conception pour le scénario **STA-acc**

Coûts de conceptualisation	8 645 \$/ha
Coûts directs et indirects de construction	13 832 \$/ha
Coût d'entretien	3 458 \$/ha
Frais administratifs	1 729 \$/ha
Coûts des terrains agricoles	11 660 \$/ha (FADQ, 2019)
Coût total actualisé sur 50 ans (\$ 2019)	277 700 \$
Coût total annualisé (\$ 2019, 50 ans, 4%)	12 927\$

Résultats

Le coût potentiel d'une restauration de milieux humides est estimé à une moyenne approximative de **27 664 \$ par hectare**.

À partir de cette estimation, nous pouvons considérer que pour l'ACA, le coût de la mesure correspond au total du coût réalisation de la restauration de 6,5 ha de milieux humides et hydriques, incluant la conception, la construction, l'entretien, les frais administratifs et les coûts d'opportunité des terrains agricoles, soit un total de **277 700 \$** pour Compton (en dollars de 2019 et actualisé sur 50 ans). Les coûts de conception et d'entretien sont agrégés dans le coût total et actualisés à l'année d'engagement des dépenses. 179 810

Références

- FADQ - Financière agricole du Québec. (2019, juin). Bulletin Transac-TERRES édition 2019. <https://www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/bulletins/transac-terres-2019.pdf>

4) LA MODIFICATION STRUCTURELLE DU CHENAL

Description des mesures de modification structurelle du chenal

Les mesures de modification structurelle du chenal consistent à modifier, à l'aide de machineries et d'infrastructures rigides, les caractéristiques hydrauliques des chenaux où se manifestent les aléas. Ces mesures peuvent être par exemple la dérivation du chenal, le dragage des sédiments riverains, l'endiguement des rivières ou la construction d'un barrage. Notons que ce sont des ouvrages controversés pour leur impact environnemental ainsi que sur les conditions du tronçon aval de l'ouvrage. De plus, la difficulté de leur conception est soulignée par l'incertitude associée au climat futur. Ce sont souvent des projets d'envergure importante qui nécessitent plusieurs permis. En effet, leur réalisation au Canada requiert d'abord de passer à travers d'un système de permis extensif qui demande en particulier une analyse d'impacts et une preuve de nécessité. L'article 22 de la loi sur l'Environnement demande notamment que toute modification de ce genre apportée à un cours d'eau soit démontrée comme être de dernier recours.

Les coûts cachés des infrastructures grises incluent donc les rapports de suivi, les permissions requises et les exigences gouvernementales et l'entretien. Néanmoins, ces mesures sont toujours des solutions préconisées et doivent donc être considérées surtout que, dans certains contextes, elles peuvent être essentielles si d'autres mesures ne sont pas possibles.

Facteurs décisionnels

Les paramètres de conception d'ouvrages qui modifient structurellement les chenaux dépendent des caractéristiques hydrauliques, hydro-géomorphologiques et bâties du territoire, du contexte dans lesquelles se manifestent les aléas. Cette conception variera en fonction de la longueur du chenal, de la sinuosité, de l'emplacement voulu des digues ou de l'ouvrage de dragage, du type de sédiment et de l'efficacité recherchée qui dépend du niveau/réurrence de crue ou de la quantité de sédiments à draguer. Ce sont des mesures onéreuses surtout par les coûts de permis et d'études, de machinerie et de suivi et donc le choix de l'emplacement dépend aussi de seuils d'économie d'échelle.

Mesures présentées

La mesure de l'**endiguement des rivières** et celle du **dragage des sédiments riverains** sont présentées aux sections suivantes.

MODIFICATION STRUCTURELLE DU CHENAL : L'ENDIGUEMENT

TYPE DE MESURE	
Endiguement	
Définition	
<p>Les digues sont des longs murs de protection contre les eaux qui peuvent s'étendre sur des dizaines de mètres, voir des kilomètres. Construits avec divers matériaux et à des hauteurs variables, les digues sont souvent accompagnées de systèmes de levées pour relâcher l'eau excédentaire de façon plus contrôlée et donc théoriquement gérer les niveaux d'eaux. La hauteur des digues et la flexibilité de leur système de contrôle sont conceptualisées avec une analyse de la période de retour des événements extrêmes dont on veut se protéger. Au Québec, on parle souvent de digues en remblais qui sont constitués d'un remblai de terre exempté de matière organique et compacté à plus de 90%.</p>	
Avantages Protection simple Une structure unique à gérer Mesure anti-érosion Valeur politique	Inconvénients Inflexible et exige un entretien important Mal adapté aux changements climatiques et au niveau d'incertitude Peut rapidement créer une catastrophe (très difficile à prévoir) si la digue cède Peut créer un faux sentiment de sécurité
Co-bénéfices	
Sentiment de sécurité Monnaie politique	
Composante	
Choix d'emplacement	En amont d'un élément du territoire à protéger (ex. village, terres agricoles etc.)
	Caractéristiques propices à la stabilité des digues
Hauteur	Basé sur la hauteur d'eau associée à certaine période de retour et de projections hydro-climatologiques
Composante	Murs en béton armé
	Murs caissons de bois
	Digues en terre
	Stations de pompage
Étapes	
Conception --> Permis --> Construction --> Opération/entretien	
Poste de dépenses	
Conception	Coûts de conception (En % du coût total)
	Frais administratifs
	Coûts de permis
	Coûts d'atténuation et de compensation
Réalisation	Temps d'excavation et d'érection des batardeaux
	Temps d'assèchement et de pompage
	Temps de rehaussement et consolidation des murs existants
	Temps de travaux de modification au réseau d'égout pluvial
	Temps d'aménagement des terrains
	Temps de dérivation de ruisseaux
Temps d'installation des murs et systèmes de levées	

	Taux horaire
	Frais de surveillance du chantier
	Coûts de machinerie
Suivit et entretien	Annuellement
	Suivit après chaque événement extrême
	Temps pour travaux de renforcement: 5 à 25 ans
	Un mouvement vers une exigence du MELCC d'ajout de structure rigide à l'intérieur du remblai (ex. mur de béton, fer). Ceci viendra soulager les frais d'inspection en sécurisant la digue mais aussi faire augmenter les coûts.
Durée de vie	Plus de 30 ans
	Dépendamment du dimensionnement, des événements extrêmes considérés et de la réponse hydro géomorphologique associée au changements climatiques.

Références

- *Adaptation or improvement of dikes and dams.* (2015). Climate-ADAPT. https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadatas/adaptation-options/adaptation-or-improvement-of-dikes-and-dams/#costs_benefits
- Aerts, J.C., Botzen, W.W., Moel, H., Bowman, M. (2013). *Cost Estimates for Flood Resilience and Protection Strategies in New York City.* Ann N Y Acad Sci. 2013;1294:1-104. doi:10.1111/nyas.12200.
- Beaudoin, M. (2018). *Analyse des solutions possibles aux inondations dans le centre urbain d'Ottawa et de Gatineau.* [Maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke]. Savoir UdeS. <https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/11893>
- CEPRI. (2009). *Les digues de protection contre les inondations La mise en œuvre de la réglementation issue du décret n° 2007-1735 du 11/12/2007.* <http://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/07/CEPRI-guide-r%C3%A9glementation-digues-20101.pdf>
- *Digues et stations de pompage de la rivière du Sud.* (2016, 7 décembre). MRC Haut-Richelieu. https://www.mrchr.qc.ca/documents/coursdeau/presentation_2016-12-09.pdf
- Golder Associates Ltd. and Associated Engineering (B.C.) Ltd. (2003). *Dike Design and Construction Guide: Best Management Practices for British Columbia.* Flood Hazard Management Section Environmental Protection Division Province of British Columbia, Ministry of Water, Land and Air Protection. https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/integrated-flood-hazard-mgmt/dike_des_cons_guide_july-2011.pdf
- Jonkman, S. N., Brinkhuis-Jak, M., & Kok, M. (2004). Cost benefit analysis and flood damage mitigation in the Netherlands. *Heron, 49 (1).* <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.189.4725&rep=rep1&type=pdf>
- Northwest territories transportation department. (1999). *Slave Geological Province Transportation Corridor: Cost Estimates.* https://www.inf.gov.nt.ca/sites/inf/files/resources/sor_cost_estimates.pdf
- USSD - United States Society on Dams. (2012). *Guidelines for Construction Cost Estimating for Dam Engineers and Owners.* <https://www.ussdams.org/wp-content/uploads/2016/05/costestimating.pdf>
- Walker, W., Abrahamse, A., Bolten, J., den Braber, M., Garber, S., Kok, M., ... & van de Riet, O. (1993). *Investigating basic principles of River Dike Improvement: safety analysis, cost estimation, and impact assessment.* Rand.
- Ward, P. J., Jongman, B., Aerts, J. C., Bates, P. D., Botzen, W. J., Loaiza, A. D., ... & Winsemius, H. C. (2017). A global framework for future costs and benefits of river-flood protection in urban areas. *Nature climate change, 7(9), 642-646.* <https://doi.org/10.1038/nclimate3350>

Exemple : L'Endiguement dans l'étude de cas Chaudière

ÉTUDE DE CAS		
L'endiguement dans l'étude de cas Chaudière		
<p>Description</p> <p>Ces digues ont été conçues dans les années 1990 par la firme de génie Tecsub et ré-analysées en 2020 par le rapport final du <i>Comité expert visant à identifier des solutions porteuses pour la réduction de la vulnérabilité des risques liés à l'inondation par embâcles de glace sur la rivière Chaudière</i>. Pour l'étude de cas Chaudière, l'endiguement a été analysé pour 6 municipalités : Sainte-Marie, Scott, Vallées-Jonction, Saint-Joseph, Saint-Georges, Notre-Dame-des-Pins. Pour des raisons de simplification, les sections suivantes concernent uniquement l'endiguement de la rive Est à Sainte-Marie, soit l'ouvrage le plus complexe parmi les six.</p>		
<p>Paramètre de la conception</p> <p>Détail sur les paramètres de la conception pour l'endiguement de la rive Est de Sainte-Marie (scénario IMM-coll)</p>		
Emplacement de la digue	Sainte-Marie, Rive Est	
Durée de vie	30 ans	
Excavation	110 550 m ³	
Murs de béton armé	730 mètres linéaires	
Consolidation des murs existants	370 mètres linéaires	
Digues	2,75 à 3 mètres de hauteur sur 2570 mètres linéaires	
<p>Poste de dépenses</p> <p>Détail sur les postes de dépenses pour l'endiguement de la rive Est de Sainte-Marie (scénario IMM-coll), basé sur les travaux et coûts inclus dans les rapports Tecsub (Tecsub, 1994)</p>		
Travaux	Quantité	Coût unitaire ou total
Excavation en rivière, érection des batardeaux et voies d'accès	110 550 m ³	15 \$/ m ³
Assèchement et pompage	-	75 000 \$
Construction des murs en béton armé (coupe type D)	730 mètres linéaires (m.l)	2 530 \$/m.l
Rehaussement et consolidation des murs existants (coupe type C)	700 m.l	1 450 \$/m.l
Construction des murs caissons en bois (coupe type B)	370 m.l	1 320 \$/m.l
Construction des digues en terre (coupe type A)	360 m.l de digue d'une hauteur de 2,75 m	420 \$/m.l
	2 210 m.l de digue d'une hauteur de 3 m	640 \$/m.l
Modification au réseau d'égout pluvial	-	2 385 000 \$

Construction des stations de pompage	7 unités à débit 200 litre /seconde (l/s) 1 unité à débit 1050 l/s 1 unité à débit 1700 l/s	130 000 \$/u 300 000 \$/u 500 000 \$/u
Dérivation du ruisseau inter-municipal	1 500 m ³	5 \$/ m ³
Aménagement des terrains	-	510 000 \$
Taux annuel d'entretien	-	10 % du coût total de construction
Coût total actualisé sur 50 ans (\$ 2019)		117 200 800 \$
Coût total annualisé (\$ 2019, 50 ans, 4%)		5 455 721 \$
<p>Résultats</p> <p>Le coût actualisé de l'endiguement de la rive Est à Sainte-Marie est estimé à 117 200 800 \$ (en dollars 2019 et actualisé sur 50 ans) incluant la construction (78 218 850 \$) et l'entretien annuel (38 981 950 \$).</p>		
<p>Référence</p> <p>Tecsalt. (1994) Étude de modélisation du bassin versant de la rivière Chaudière. Rapport final. Rapport remis à Environnement Canada et au Ministère de la Sécurité publique du Gouvernement du Québec, 108 p.</p>		

MODIFICATION STRUCTURELLE DU CHENAL : LE DRAGAGE

<p>TYPE DE MESURE</p> <p>Le dragage</p>	
<p>Définition</p> <p>Le dragage est une technique qui consiste à l'excavation du fond des plans d'eau afin d'augmenter leur capacité à contenir un certain volume d'eau. Ceci est particulièrement utilisé après de grands événements (surtout cumulatifs) d'érosion lorsque les sédiments sont déposés dans le fond des cours d'eau et donc augmente localement le risque de débordements lors d'événements de grandes pluies ou de redoux hivernaux. L'impact environnemental du dragage doit particulièrement être pris en considération car il perturbe de façon significative les écosystèmes riverains et aquatiques ainsi que les conditions hydrodynamiques et hydraulique en aval. La pratique est assujettie à la procédure d'évaluation et d'examen prévue au Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement (REAFIE) ainsi qu'au Règlement relatif à l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement de certains projets sous la Loi sur l'environnement.</p>	
<p>Avantages</p> <p>Mesure flexible</p> <p>Avantages récréatifs</p>	<p>Inconvénients</p> <p>Important coût environnemental sur écosystèmes riverains et aquatiques</p> <p>Requiert un endroit où déposer les sédiments</p> <p>Requiert une forte connaissance hydro géomorphologique et climatologique</p> <p>Incertitude par rapport au niveau de vitesse de sédimentation</p> <p>Peut augmenter l'érosion des berges et les inondations en aval</p> <p>Limitation des échanges nappe phréatique et rivière et donc notamment sur la qualité des habitats</p> <p>Impact de l'intervention des machineries sur l'accès au cours d'eau et sur le ruissellement</p> <p>L'efficacité est incertaine puisque le lit du cours d'eau peut se remplir à nouveau.</p> <p>Difficulté d'obtenir une autorisation.</p>
<p>Co-bénéfices</p> <p>Navigation</p> <p>Utilisation des sédiments pour les terres agricoles</p>	
<p>Éléments de conception</p>	
<p>Type</p>	<p>Dragage mécanique</p> <p>Dragage à suction</p> <p>Dragage de berges</p> <p>Dragage et transport/dépôt</p>
<p>Volume à excaver</p>	<p>Dépend de la profondeur et longueur du chenal, et de la vitesse de sédimentation observée</p> <p>Le niveau de contamination des sédiments (faible à élevé) peut faire augmenter les coûts de 50% (Rieussec, 2018).</p> <p>La distance au lieu de dépôt est aussi à prendre en considération (Passaic, 2014)</p>

Étapes	
Choix d'emplacement --> Dragage --> Dépôt de sédiments --> Décontamination	
Poste de dépenses	
Conception	Coûts de conception (En % du coût total)
	Frais administratifs
	Coûts de permis
	Coûts d'atténuation et de compensation
Réalisation	Durée des travaux de dragage
	Coûts de décontamination
	Taux horaire
	Frais de surveillance du chantier
	Site de dépôt ¹
	Machinerie
Fréquence d'entretien requise	Dépend de la vitesse d'érosion et de sédimentation du cours d'eau
	Environ annuellement jusqu'aux 5 ans (EPA, 2014)
Références	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aerts, J. C. (2018). A review of cost estimates for flood adaptation. <i>Water</i>, 10(11), 1646. https://doi.org/10.3390/w10111646 ▪ Government of Maryland. (2016). Attachment J-2: Cost Documentation “Factsheets” and Summary Table of Costs. In <i>Lower Susqueshanna river watershed assessment, Maryland and Pennsylvania</i>. https://dnr.maryland.gov/waters/bay/Documents/LSRWA/Reports/AppJ2.pdf ▪ Hogan, D. (2018, 13 novembre). <i>7 Cost-Drivers of a Dredging Project</i>. Brennan. https://www.jfbrennan.com/blog/the-costs-associated-with-dredging ▪ <i>How much does dredging cost?</i>. (n.d). DredgeAmerica. https://dredgeamerica.com/helpful-information/dredging-cost/ ▪ Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. (2009). <i>Rapport d'analyse environnementale pour le programme décennal de dragage d'entretien de la halte nautique de Saint-Michel-de-Bellechasse</i>. https://www.bibliotheque.assnat.qc.ca/DepotNumerique_v2/AffichageFichier.aspx?id=32943 ▪ Rieussec, E. (2018). <i>Analyse Comparative des Différents Modes de Gestion des Sédiments de Dragage en Milieux Terrestre et Marin</i>. [Maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke]. Savoirs UdeS. https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/7423 ▪ Wingate, M. (2019, 4 décembre). <i>Current and future dredging along the lower Mississippi river</i>. Association of Levee Boards of Louisiana 79th Annual Meeting. https://albl.org/wp-content/uploads/2019/12/Mark-Wingate.pdf ▪ 	

¹ Les sédiments sont aussi déposés en eau libre mais ceci n'est pas le cas dans notre contexte riverain.

Exemple : Le dragage dans l'étude de cas Compton

<p>ÉTUDE DE CAS</p> <p>Le dragage dans l'étude de cas de Compton</p>	
<p>Description</p> <p>Le dragage avec dépôt terrestre est une pratique utilisée traditionnellement par les agriculteurs de la région pour prévenir des inondations et aussi utiliser les sédiments sur leurs terres. Des sites de dragage ont été identifiés en concertation avec certains de ces agriculteurs et cette mesure constitue une base pour plusieurs scénarios (STA-DG, STA-acc). À noter que pour le projet ACA, la valeur de la perte de qualité de l'habitat créée par le dragage n'est pas captée par la modélisation des services écosystémiques.</p>	
<p>Localisation de la mesure</p>	
<p style="text-align: center;">Scénario STA-DG</p>	
<p>Paramètre de la conception</p> <p>Détail sur les paramètres de la conception de la mesure dragage pour les scénarios STA-DG et STA-acc</p>	
Longueur à draguer	8,4 km
Volume à draguer	6 791 m ³
Niveau de contamination	Faible
Fréquence de dragage	1 x 7 ans
<p>Poste de dépenses</p> <p>Poste de dépenses basé sur l'étude de Rieussec (2008)</p>	
Coûts de réalisation: " frais pour les opérations allant du dragage au transport jusqu'au site de dépôt, à l'exception des opérations d'assèchement."	72 \$/m ³
Conception	10 % du coût total
Redevances	10 \$/m ³
Coûts de mise en dépôt	25 \$/m ³
Coût total actualisé sur 50 ans (\$ 2019)	4 524 063 \$
Coût total annualisé (\$ 2019, 50 ans, 4%)	210 596\$

Résultats

Le coût du dragage est estimé à une moyenne approximative de **107 \$/m³** (dragué, plus les coûts de conception). À partir de cette estimation, nous pouvons considérer que pour l'ACA, le coût de la mesure correspond au total du coût de sa réalisation, incluant la réalisation, la conception, les redevances, et les coûts de mise en dépôt, un **total de 4 524 100 \$** pour Compton (en dollars de 2019 et actualisé sur 50 ans). La fréquence de dragage est agrégée dans le coût total et actualisée à l'année d'engagement des dépenses.

Référence

Rieussec, E. (2018). Analyse Comparative des Différents Modes de Gestion des Sédiments de Dragage en Milieux Terrestre et Marin. [Maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke]. Savoirs UdeS.
<https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/7423>

5) L'IMMUNISATION ET LA RELOCALISATION DES BÂTIMENTS

Description des mesures d'immunisation et relocalisation des bâtiments

Il existe plusieurs techniques pour immuniser les bâtiments contre les inondations. La plupart sont des mesures structurelles qui consistent soit 1) à modifier la structure du bâtiment, telles que l'élévation du premier plancher, l'imperméabilisation des fondations et l'emmurement du bâtiment, 2) à modifier le contenu du bâtiment, telle que le retrait ou rehaussement des actifs de valeurs des sous-sols, ou encore 3) à ajouter des structures protectrices, telles que les digues amovibles et les sacs de sables.

Dans certains cas, cependant, le haut risque, le haut coût d'immunisation et des assurances, et parfois le cadre réglementaire limite l'efficacité de ces mesures et/ou les rendent difficiles voire impossibles à mettre en place. Dans ce cas, la relocalisation des bâtiments endommagés ou à risque peut être le choix le plus judicieux, mais difficile étant donné le sentiment d'attachement.

Facteurs décisionnels

Ici, le principal facteur décisionnel qui guide le choix des différentes mesures d'immunisation ou bien de la relocalisation est le niveau de risque auquel est exposé le bâtiment en question. La définition de risque est donnée par le risque de dommages au bâtiment; ceci va de pair avec la période de retour de l'inondation analysée. Pour ce projet, la mise en place des digues temporaires a été appliquée pour les bâtiments à risque faible, l'élévation du premier plancher pour les bâtiments à risque moyen, et la relocalisation pour les bâtiments qui sont à haut risque de dommages.

De plus, les coûts de l'élévation, du déplacement de la propriété dépendent de plusieurs facteurs dont les dimensions du bâtiment, l'âge/solidité de la structure et l'historique d'inondations. Ainsi les évaluations sont faites au cas par cas. Néanmoins, quelle que soit la mesure de protection, les coûts doivent être inférieurs à 50% du coût de reconstruction à neuf de la propriété.

Mesures présentées

Les mesures de **digues amovibles**, **élévation du premier plancher** et **relocalisation des bâtiments individuels** sont présentées aux sections suivantes.

IMMUNISATION : LA DIGUE AMOVIBLE

TYPE DE MESURE	
Digue amovible	
Définition	
Une digue amovible est une toile portative souple qui se remplit, se déploie, et se stabilise automatiquement avec l'eau d'inondations, bloquant et contrôlant ainsi la trajectoire de l'eau afin d'empêcher celle-ci d'atteindre une zone spécifique.	
Avantages	Inconvénients
Acceptabilité sociale Un sentiment de contrôle Relativement peu coûteuse selon la retenue d'eau Flexible	Effort de déploiement en situation d'urgence Mesure individuelle (parfois collective) Seuil de retenue d'eau <i>Une mauvaise utilisation peut réduire l'efficacité et engendrer des situations risquées pour la sécurité des personnes.</i>
Co-bénéfices	
Économiques	
Éléments de conception	
Risque adressé	Moyen
Emplacement	Entre bâtiments et cours d'eau
Nature	Temporaire parce que les digues individuelles permanentes (en béton, pierres, etc.) ne sont pas autorisées par les municipalités.
Type	"Watergate"
Efficacité	Retiennent jusqu'à 1.5 m (60 po) d'eau
	Réduction des dommages pour les hauteurs de submersions inférieures à la hauteur maximale de la digue.
Co-mesures	Pompes de puisards Sacs de sable
Étapes	
Livraison --> Pose --> Entretien/suivi --> Démantèlement	
Poste de dépenses	
Achat	De 810 \$ pour une retenue d'eau de 15 cm à 16 900 \$ pour une retenue d'eau de 1,5m (MegaSecur, communication personnelle, 9 juin 2021)
Réalisation	Déploiement de la digue
	Taux horaire
Suivi et entretien	Démantèlement après inondation
Durée de vie	20 ans

IMMUNISATION : L'ÉLEVATION DU PREMIER PLANCHER

TYPE DE MESURE		
Élévation du premier plancher		
Définition		
Il s'agira de rehausser le niveau du premier plancher et de reconstruire la fondation. La fondation peut être hydrofuge (imperméabilisée) ou perméable. Les fondations hydrofuges ne sont pas recommandées pour des propriétés proches des cours d'eau.		
Avantages	Inconvénients	
Acceptabilité sociale Un sentiment de sécurité	Travaux individuels importants Relativement coûteux	
Co-bénéfices		
Économique		
Éléments de conception		
Risque adressé	Moyen	
Type de fondation créée	Hydrofuge (imperméable) ou perméable	
Travaux requis	Soulèvement	
	Reconstruction de fondation	
	Agrandissement, inclure travaux d'électricité et de plomberie	
Efficacité	Réduction des dommages pour les premiers pieds d'inondation	
Étapes		
Conception --> Permis --> Réalisation --> Entretien		
Poste de dépenses		
Conception	Coûts de conception (En % du coût total)	
Réalisation	Temps de mise en œuvre	80 000 \$ à 100 000 \$ (Bureau de rétablissement de la Ville de Rigaud, communication personnelle, 25 janvier 2021)
	Taux horaire	
	Coûts de machinerie	
Suivi et entretien	Annuel	
Durée de vie	Durée de vie du bâtiment mais hypothèse 50 ans	

Exemple : L'Élévation du premier plancher dans l'étude de cas Chaudière

ÉTUDE DE CAS	
L'élévation du premier plancher dans l'étude de cas Chaudière	
Description	
Rehaussement du premier plancher - d'une hauteur de 4 pieds - lorsque le cumulatif des dommages espérés du bâtiment dépasse 100 000 \$, soit l'aide financière proposée par le Ministère de la Sécurité Publique (MSP) pour ce type de travaux (2019).	
Paramètre de la conception	
Détail sur les paramètres de la conception pour le scénario IMM-ind	
Nombre de bâtiments	12
Poste de dépenses	
Description des postes de dépenses pour le scénario IMM-ind	
Du fait du manque d'informations sur les bâtiments de l'étude de cas, c'est un coût de 100 000 \$ par bâtiment qui sera retenu pour les analyses. Ces coûts proviennent d'un entretien avec un architecte d'expérience qui propose une fourchette entre 80 000 et 100 000 \$/bâtiment et concorde avec l'aide financière proposée par le MSP pour ce type de travaux (MPS, 2019). Ceci prend en compte entre 30 000\$ et 90 000\$ pour soulever la maison uniquement et entre 80 000\$ et 250 000\$ pour un soulèvement avec agrandissement (incluant les travaux d'électricité et de plomberie).	
Coût total actualisé sur 50 ans (\$ 2019)	659 000 \$ pour 12 bâtiments
Coût total annualisé (\$ 2019, 50 ans, 4 %)	30 677 \$ pour 12 bâtiments
Résultats	
À partir de cette estimation, nous pouvons considérer que pour l'ACA, le coût de la mesure correspond au total du coût de sa réalisation, incluant les matériaux, la machinerie, et la main d'œuvre pour l'élévation du premier plancher de 12 bâtiments, graduellement au cours de la période de 50 ans analysée, à un total de 659 000 \$ (en dollars de 2019 et actualisé sur 50 ans).	
Référence	
MSP - Ministère de la Sécurité publique. (2019) <i>Programme général d'indemnisation et d'aide financière</i> . Décret 403-2019.	

LA RELOCALISATION

TYPE DE MESURE	
Relocalisation	
Définition	
La relocalisation consiste pour le propriétaire à procéder à la démolition ou au déplacement sur un autre terrain de tous ses biens situés sur son terrain, y compris de leurs fondations	
Avantages	Inconvénients
Retrait de l'exposition au risque	Possibilité de perte de revenus fonciers pour la ville Acceptabilité sociale (Il est difficile de convaincre les résidents de vendre leurs propriétés et de déménager.)
Co-bénéfices	
Économiques	
Éléments de conception	
Emplacement	Lorsque les dommages excèdent 50% du coût de reconstruction à neuf de la propriété.
Étapes	
Conceptualisation --> Permis/rachat --> Démolition --> Suivi	
Poste de dépenses	
Conception	Coûts de conception (en % du coût total)
	Permis/rachats
Réalisation	Temps des travaux
	Taux horaire
	Coût de machinerie
Suivi et Entretien	Nettoyage et suivi après démolition
	Coût de nouveau domicile et terrain
Durée de vie	Permanent

Exemple : La Relocalisation dans l'étude de cas Chaudière

ÉTUDE DE CAS	
Relocalisation dans l'étude de cas Chaudière	
Description	
Relocalisation des bâtiments lorsque le cumulatif des dommages espérés du bâtiment dépasse 100 000 \$ ou 50 % du coût de reconstruction à neuf du bâtiment, soit le plafonnement de l'aide financière du MSP pour les inondations successives (2019).	
Paramètre de la conception	
Détail sur les paramètres de la conception pour le scénario IMM-ind	
Nombre de bâtiments	75
Poste de dépenses	
Description des postes de dépenses pour le scénario IMM-ind	
Les coûts de démolition varient en fonction de de la taille de la propriété. En 2019, ces coûts varient entre 10 000 à 25 000 pour la démolition auquel il faut inclure le prix du nouveau domicile (incluant le terrain). C'est un coût moyen de démolition de 17 500 \$/unité et un prix d'achat de la nouvelle propriété équivalent à la valeur foncière de l'immeuble à démolir (terrain et bâtiment) qui sera retenu pour les analyses.	
Coût total actualisé sur 50 ans (\$ 2019)	8 216 900 \$ (75 bâtim., relocalisation graduelle)
Coût total annualisé (\$ 2019, 50 ans, 4 %)	382 498 \$ (75 bâtim., relocalisation graduelle)
Résultats	
À partir de cette estimation, nous pouvons considérer que pour l'ACA, le coût de la mesure correspond au total du coût de sa réalisation, incluant la démolition et l'achat d'une nouvelle propriété pour la relocalisation graduelle de 75 bâtiments résidentiels au cours de la période de 50 ans analysée, à un total de 8 216 900 \$ pour Chaudière (en dollars de 2019 et actualisé sur 50 ans).	

6) LE CHANGEMENT DE L'UTILISATION DU SOL

Description des mesures de changement de l'utilisation du sol

Les changements de l'utilisation du sol s'inscrivent dans une logique de diminution de l'impact des aléas par une modification ou restriction de l'usage des actifs et activités à risque. Les mesures telles que les espaces de liberté, les espaces de mobilité ou les corridors inondables consistent à réglementer le retrait de l'ensemble des actifs et activités à risque d'une zone délimitée aux abords de la rivière. Ces mesures permettent un débordement de la rivière sans dommages, étant donné le retrait des propriétés riveraines, et permettent également le réaménagement des terrains laissés vacants en espaces verts au potentiel récréotouristique saisonnier.

De façon moins restrictive, certaines mesures de changement de l'utilisation du sol peuvent miser davantage sur une adaptation des pratiques et ainsi tolérer une présence d'activités et d'actifs anthropiques dans la zone inondable. Dans le cadre de ce projet, ces mesures ont été appliquées en particulier au secteur agricole, soit par la mise en place de bandes riveraines de part et d'autre du chenal, le remplacement des cultures traditionnelle par des cultures plus résilientes aux inondations et/ou nécessitant moins d'entretien tel que la culture sur résidus. Ces mesures cherchent ainsi à accroître la résilience des activités agricoles présentes dans la zone inondable, plutôt que de les retirer. À noter qu'il existe un simulateur de coûts de bandes riveraines, disponible sur le [site d'Agri-Réseau](#), permettant de comparer les gains et pertes des aménagements par rapport au maintien en culture de la surface.

Facteurs décisionnels

La nature de certains aléas ou leur ampleur peuvent faire en sorte que les mesures agissant sur l'aléa lui-même ne sont pas envisageables (ex. mesures structurelles du chenal, de rétention ou stabilisation). Notamment, si les aléas sont trop récurrents ou leur impact trop élevé, parfois la meilleure stratégie est de diminuer les impacts en réglementant la présence des actifs et activités dans la zone inondable. De plus, dans les systèmes riverains notamment, les structures anthropiques peuvent augmenter les risques et ampleurs de certains aléas ou même les déplacer en amont ou en aval. Une compréhension de ces dynamiques peut aussi influencer le choix de changement d'utilisation du sol tel que présenté ici.

Mesures présentées

Les mesures de **cultures sur résidus** et **zone de mobilité** sont présentées aux sections suivantes.

LA CULTURE SUR RÉSIDUS

TYPE DE MESURE		
Culture sur résidus		
Définition		
La culture sur résidus est une pratique agricole qui consiste à couvrir le sol des terres par les résidus des récoltes ou les plantes.		
Avantages		Inconvénients
Résilience à l'érosion Flexible et nécessite peu d'ouvrage Durabilité Programmes de subvention		Nécessite une acceptabilité et adhésion des producteurs agricoles
Co-bénéfices		
Services écosystémiques		
Éléments de conception		
Emplacement		Sur parcelles agricoles existantes
Composante		
Couverture minimale (< 10 %)		Travail du sol conventionnel
Couverture moyenne (30 %)		Travail du sol avec paillage
Couverture importante (> 40 %)		Semis direct
Étapes		
Résidus de tiges et de feuilles laissés au champ après la récolte		
Poste de dépenses		
Suivi et entretien	Annuel	Considéré à coût nul
Durée de vie	Permanent mais hypothèse : 50 ans	
Références		
<p>Michaud, A.R., & Niang, M.A. (2019). <i>Analyse coûts-efficacité des actions proposées pour réduire de 40 % les charges de phosphore de la rivière la Roche à la Baie Missisquoi</i>. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), OBV- Baie Missisquoi, Lake Champlain Basin Program. 65 pages plus annexes.</p> <p>Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales. (n.d). <i>Les pratiques de gestion optimales : gestion des résidus</i>. http://www.omafra.gov.on.ca/french/environment/bmp/AF180.pdf</p>		

LA ZONE DE MOBILITÉ, BANDE RIVERAINE SURDIMENSIONNÉE OU CORRIDOR ÉCOLOGIQUE

TYPE DE MESURE	
Zone de mobilité	
<p>Définition</p> <p>La zone de mobilité vise à diminuer les conséquences des aléas en redonnant au chenal son espace de mobilité maximal. Cela implique un retrait des actifs et activités à risque dans toute la zone et signifie un démantèlement passif ou actif de tous les enrochements et structures anthropiques sur les rives.</p>	
<p>Avantages</p> <p>Efficacité en termes de réduction quasi totale des impacts</p> <p>Durabilité</p>	<p>Inconvénients</p> <p>Nécessite une acceptabilité sociale à plusieurs niveaux</p> <p>Nécessite souvent l'achat de nouveaux terrains</p> <p>Complexité conceptuelle et réglementaire</p>
<p>Co-bénéfices</p> <p>Services écosystémiques</p> <p>Potentiel récréotouristique</p>	
Éléments de conception	
Emplacement	En bande des deux côtés du chenal Nécessite de bien comprendre les dynamiques de mobilité du chenal
Type de travaux	Démolition des actifs restreints par la zone de mobilité Restauration des espaces
Réglementation	Zonage municipal
<p>Étapes</p> <p style="text-align: center;">Conception --> Rachat des terres --> Ouvrage (retrait de structures) --> Entretien/suivi</p>	
Poste de dépenses	
Conception	Coûts de conception (En % du coût total)
	Frais administratifs
	Coûts de permis
	Coûts de compensation
Réalisation	Temps de démantèlement
	Taux horaire
	Coûts de machinerie
Suivi et entretien	Annuel
Durée de vie	Permanent mais hypothèse : 50 ans

Exemple : La Zone de mobilité dans l'étude de cas Compton

ÉTUDE DE CAS

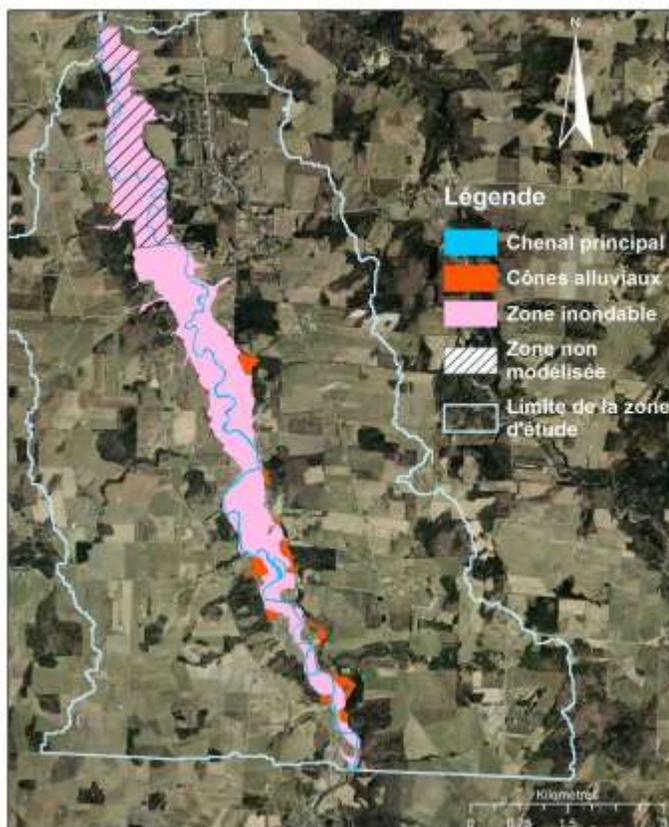
Zone de mobilité dans l'étude de cas Compton

Description

Conversion des usages en milieu à risque afin 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 les coûts d'opportunité conséquents. Cela signifie un démantèlement passif de tous les enrochements et structures anthropiques sur les rives.

Localisation de la mesure

Solution d'adaptation - Espace de mobilité efficace



Paramètre de la conception

Détail sur les paramètres de la conception pour le scénario **MOB-eff**

Superficie totale	398 hectares
-------------------	--------------

Poste de dépenses

Description des postes de dépenses pour le scénario **MOB-eff**

Les coûts d'opportunité de changement d'usage dans la zone permettent d'estimer la valeur de rachat requise pour retirer les actifs et activités. Pour les terres agricoles, le coût est évalué à la valeur moyenne des terres agricoles de l'Estrie additionné d'un écart-type pour tenir compte de la productivité supérieure des terres à Compton ([Transac-terre, 2019](#)) et pour les terrains résidentiels et autres, à la valeur foncière.

Rachat des terres agricoles	4 635 600 \$
-----------------------------	--------------

Rachat des terrains résidentiels	3 122 200 \$
Coût total actualisé sur 50 ans (\$ 2019)	7 757 800 \$
Coût total annualisé (\$ 2019, 50 ans, 4 %)	361 127 \$

Résultats

Le coût potentiel de la zone de mobilité est estimé à une moyenne approximative de 19 500 \$.

À partir de cette estimation, nous pouvons considérer que pour l'ACA, le coût d'opportunité de la mesure de zone de mobilité sur 398 hectares correspond à un total de 7 757 800 \$ pour Compton (en dollars de 2019 et actualisé sur 50 ans). Ces coûts ne tiennent cependant pas compte des coûts de transaction nécessaire pour en mettre en œuvre la réglementation, ni les coûts de démolition et démantèlement de l'ensemble des actifs et structures anthropiques présentes dans la zone.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Ce rapport a été réalisé en soutien à un cadre d'évaluation économique de type coûts-avantages pour la gestion des inondations et risques fluviaux dans un contexte de changements climatiques. Il pourra sans doute aider à la prise de décision en offrant une base qui compare les avantages et inconvénients de chaque type de protection. Le rapport répondait également au besoin de comparer les coûts et avantages génériques de plusieurs mesures de gestion des inondations sur une base commune. Le principal défi provenait de la mise en commun de mesures de mesures d'origine diverses, des mesures dites techniques (ex. enrochement), des infrastructures basées sur la nature (ex. bassins de biorétention) et des mesures réglementaires (ex. espace de liberté). Cette comparaison nécessitait donc un cadre pour faire converger les expertises et ramener la quantification des coûts à des valeurs unitaires permettant la comparaison entre les types de mesures, ainsi qu'un transfert dans le Sud du Québec. Un processus d'entrevues auprès de 18 experts oeuvrant dans plusieurs domaines a été réalisé pour mettre en commun ces expertises.

RETOMBÉES POUR L'ADAPTATION

Une caractérisation exhaustive des principales mesures en gestion des inondations et risques fluviaux : Cette démarche a permis de décrire six catégories de mesures d'atténuation des inondations, tant techniques, basées sur les écosystèmes que réglementaire, de caractériser les paramètres et variables essentiels à la production des devis de coûts de treize mesures détaillées et d'appliquer cette démarche en guise d'exemple pour huit cas concrets de coûts des mesures appliqués à des études de cas issus du projet « ACA Inondations et risques fluviaux ».

Le besoin de construire des fonctions de coûts : La principale leçon de ce travail consiste à reconnaître que l'estimation du coût est complexe, représente un travail professionnel d'experts à part entière, puisque les coûts représentent une valeur résultant d'une fonction de plusieurs dépenses, qui s'appuient

- sur de nombreuses variables de conception et liés aux composantes comme
 - la localisation et les dimensions (indirectement liées au seuil d'efficacité recherchée et à la tolérance au risque)
 - le choix des matériaux
 - la durée de vie souhaitée par rapport à la période d'étude
- sur les différentes phases du cycle de vie des ouvrages

Les facteurs décisionnels, les avantages et les inconvénients ont aussi été décrits pour chacune des catégories.

Des valeurs unitaires à adapter pour des estimations utilisées dans un cadre général : Pour huit exemples, ce rapport suggère des valeurs unitaires qui pourraient sembler utiles pour des estimations par transfert de coûts dans un cadre général de comparaison de stratégies d'adaptation. Cela dit, elles font l'objet de plusieurs limites (voir section limites ci-dessous). Pour un cadre général de sensibilisation ou visant à discriminer entre de grandes catégories de stratégies d'adaptation des ajustements liés aux territoires ou à la conception sont nécessaires et il est fortement recommandé de bien analyser et reconnaître les variables et paramètres de la

fonction de coûts avant d'effectuer un transfert vers d'autres études de cas. Dans le cas d'évaluation dites décisionnelles, ce rapport ne permettra en aucun cas de faire l'économie d'un avis de type plan et devis requis auprès de certains ordres professionnels.

Le besoin de concertation entre les disciplines en gestion des inondations : Enfin, ce rapport illustre l'avantage de mettre en commun des experts de diverses disciplines et a permis de dresser une caractérisation systémique du coût des mesures d'adaptation dans un langage interopérable entre les disciplines. Cela dit, les meilleures options restent à construire et seront le fruit de la concertation et de la meilleure contribution possible de chacune des disciplines impliquées ici.

LIMITES ET OPPORTUNITÉS

Approche basée sur un échantillon d'experts et des études de cas : La démarche d'entrevues individuelles ou de groupe a permis de saisir les paramètres généraux de mise en œuvre des mesures étudiées. Il est important de noter aussi que chaque site comporte des caractéristiques uniques et que les commentaires apportés ci-dessus sont applicables en général, mais pas nécessairement en détail à d'autres sites. De plus, cette démarche reste limitée et très imparfaite pour quantifier les coûts pour une solution précise en raison de multiples sources d'incertitudes (variations régionales des prix, évolution du coût de la main d'œuvre, etc.). Les coûts présentés sont donc à considérer comme des estimations valide lors de la publication de ce rapport, mais ne remplacent en aucun cas des ajustements des flux monétaires (transformation en \$ constant de l'année d'étude), ainsi que des plans et devis en bonne due forme. Ces estimations de coûts doivent ainsi être utilisés dans les limites de l'incertitude de chacun des paramètres ou variables qu'ils comprennent. Des analyses de sensibilité de la décision au coût de la mesure étudiée restent une étape fortement suggérée. Une piste de recherche serait de faire une évaluation quantitative de certaines des variables clés pour fournir des courbes de référence pour tout le Québec.

Opportunité d'outil de devis rapides pour les ACA : Un peu à l'image du [chiffrier simulant le coût de bandes riveraines](#), le développement d'un outil de calculs de coûts pourrait simplifier l'intégration du coût des mesures dans les analyses et accélérer l'adaptation.

Besoin d'une veille sur les solutions : Les solutions innovantes (notamment en matière de solutions basées sur les écosystèmes) pour la gestion des risques fluviaux sont en constante émergence et ce document gagnerait à être évolutif.

RÉFÉRENCES

Les références se trouvent à l'intérieur de chacune des fiches synthèses.