



INTACT CENTRE
ON CLIMATE ADAPTATION



Lutter contre la hausse du coût des inondations au Canada :

L'infrastructure naturelle est une option sous-utilisée

Septembre 2018

À propos du Bureau d'assurance du Canada

Créé en 1964, le Bureau d'assurance du Canada est l'association sectorielle nationale qui représente les assureurs habitation, automobile et entreprise du Canada. Ses sociétés membres représentent 90 % du marché de l'assurance de dommages au Canada. Le BAC travaille sur plusieurs fronts pour accroître la compréhension du public sur l'assurance habitation, automobile et entreprise. **Pour en savoir plus au sujet du BAC, parcourez le site www.ibc.ca.**



À propos de l'université de Waterloo

L'université de Waterloo est l'université en tête de file en matière d'innovation au Canada. Avec plus de 36 000 étudiants, l'université possède le plus important système d'éducation coopératif du genre au monde. Sa culture entrepreneuriale inégalée et sa capacité de mettre l'accent sur les recherches exhaustives en font un des centres d'innovation les meilleurs au monde. **Pour en savoir plus sur l'université de Waterloo, parcourez le site www.uwaterloo.ca.**



À propos du Centre Intact d'adaptation au climat

Le Centre Intact d'adaptation au climat (Centre Intact) est un centre de recherche appliquée à l'université de Waterloo. Il a été fondé en 2015 par un don d'Intact Corporation financière, l'assureur de dommages le plus important au Canada. Le Centre Intact aide les propriétaires d'habitation, les collectivités et les entreprises à réduire les risques auxquels ils font face, qu'il s'agisse des changements climatiques ou d'événements météorologiques extrêmes. **Pour en savoir plus sur le Centre Intact, parcourez le site www.intactcentreclimateadaptation.ca.**



À propos de l'Institut international du développement durable

L'Institut international du développement durable (IIDD) est un groupe de réflexion indépendant qui préconise des solutions durables à des problèmes du 21e siècle. Sa mission est de promouvoir le développement humain et la durabilité environnementale. À l'aide de recherches, d'analyses et du partage de connaissances, il identifie et préconise des solutions durables qui font une différence. Établi en 1990, l'IIDD a des bureaux au Canada, en Suisse et aux États-Unis, et ses travaux visent les économies, collectivités, écosystèmes et vies dans une centaine de pays. L'IIDD remercie la Great-West, compagnie d'assurance-vie pour son soutien à la recherche dans le cadre de ce projet. **Pour en savoir plus au sujet de l'IIDD parcourez le site www.iisd.org.**



CITATION Moudrak, N., Feltmate, B., Venema, H., Osman, H. 2018. Lutter contre la hausse du coût des inondations au Canada : L'infrastructure naturelle est une option sous-utilisée. Préparé par le Bureau d'assurance du Canada Centre Intact d'adaptation au climat, Université de Waterloo.

MISE EN GARDE Les renseignements communiqués dans le présent rapport ont, à notre connaissance, été recueillis et vérifiés le plus possible. Aucune représentation ou garantie (expresse ou implicite) n'est donnée en ce qui a trait à l'exactitude ou intégralité des renseignements contenus dans la présente publication et le Bureau d'assurance du Canada, le Centre Intact, leurs employés respectifs et associés n'assument aucune responsabilité ou obligation de diligence pour toute conséquence pour vous ou pour toute personne agissant ou refusant d'agir, sur la foi des renseignements contenus dans le présent rapport ou toute décision sur laquelle elle se fonde. Le présent rapport a été préparé aux fins d'orientations générales sur des sujets d'intérêt/à titre informatif et ne constitue pas un conseil professionnel. N'agissez pas sur la base des renseignements contenus dans le présent rapport sans avoir obtenu des conseils professionnels spécifiques.

Le contenu du présent document et des documents connexes est protégé par le droit d'auteur et ne peut être reproduit sous aucune forme sans l'autorisation expresse par écrit du Bureau d'assurance du Canada.

Avec l'appui généreux de :



Table de matières

Sommaire	4
Chapitre 1 : Le besoin d'adaptation au climat au Canada	7
1.1 : Escalade des coûts des catastrophes naturelles et des inondations au Canada	8
1.2 : Les inondations répétées exercent des pressions sur les titulaires d'hypothèque au Canada	9
1.3 : Les risques associés au climat et aux inondations affectent les cotes de crédit	10
1.4 : Les inondations entraînent des poursuites judiciaires	11
1.5 : Les inondations affectent la santé mentale des Canadiens	12
1.6 : Engagement du Canada à l'égard de l'atténuation du risque de catastrophe au moyen de l'infrastructure naturelle	13
Chapitre 2 : L'utilité de l'infrastructure naturelle pour l'adaptation au climat	14
2.1 : Définition de l'infrastructure naturelle – Une solution à plusieurs volets à l'adaptation au climat	14
2.2 : L'infrastructure naturelle du Canada se perd pour laisser la place au développement – Il faut miser sur la protection et la restauration	16
2.3 : Investir dans l'infrastructure naturelle est bon pour le Canada – Études de cas	16
Étude de cas no 1 Évaluation des ressources naturelles pour la ville côtière de Gibsons, C.-B.	17
Étude de cas no 2 Estimation des avantages de la protection des terres humides des municipalités rurales et urbaines du sud de l'Ontario	18
Étude de cas no 3 Évaluation du projet de restauration des terres humides de Pelly's Lake au Manitoba	19
Étude de cas no 4 Évaluation de l'infrastructure naturelle de la ville d'Oakville, Ont.	22
Chapitre 3 : Cadre de travail pour la mise en œuvre de l'infrastructure naturelle	23
3.1 : Engagement communautaire	25
3.2 : Bassin-versant et évaluation du risque climatique	26
3.3 : Évaluation du caractère essentiel	26
3.4 : Évaluation de la faisabilité	27
3.5 : Évaluation des coûts et bénéfices économiques	29
Étude de cas no 5 Évaluation des avantages de l'infrastructure verte pour un terrain de stationnement public dans le sud de l'Ontario - VET	30
3.5.1 : Mesure des avantages – Considérations pour les projets d'infrastructure naturelle	33
3.5.2 : Mesure des coûts – Considérations pour les projets d'infrastructure naturelle	33
3.5.3 : Calcul de la valeur actualisée nette	35
3.5.4 : Tenir compte de l'incertitude dans les calculs	36
3.6 : Design, construction et entretien	37
3.7 : Surveillance et production de rapport	38
3.7.1 : Surveillance de la performance	38
3.7.2 : Surveillance du risque	40
3.7.3 : Évaluation des résultats et production de rapport	40
Chapitre 4 : Mécanismes supplémentaires pour promouvoir l'infrastructure naturelle	41
Chapitre 5 : Conclusion	43
Annexe A : Infrastructure verte - Une approche de VET par PwC Canada	44
Annexe B : Approches d'évaluation du marché direct, d'évaluation du marché indirect et d'évaluation fondée sur des enquêtes	45
Exemple d'approche fondée sur la préférence déclarée dans l'estimation des avantages de la rétention et la restauration des terres humides dans le sud du Manitoba	46
Annexe C : Outils de soutien décisionnel pour tenir compte des risques et de l'incertitude dans l'évaluation du rapport coûts-bénéfices des projets d'infrastructure naturelle	48
Définitions	55
Acronymes	57
Notes en fin de texte	58
LUTTER CONTRE LA HAUSSE DU COÛT DES INONDATIONS AU CANADA	3

Sommaire

Un nombre croissant de propriétaires d'habitation et de collectivités au Canada ressentent les répercussions financières des changements climatiques et des événements météorologiques extrêmes. La hausse des sinistres d'assurance de dommages témoigne de la croissance des coûts associés à ces événements. Ces sinistres ont atteint en moyenne 405 millions de dollars par année entre 1983 et 2008, et 1,8 milliard de dollars entre 2009 et 2017. Les dommages causés par l'eau sont le principal facteur de cette hausse des coûts. Heureusement, comme en fait foi le présent rapport, le risque d'inondation peut être limité grâce à la protection et la restauration des caractéristiques de l'infrastructure naturelle, comme les étangs, les terres humides et les zones végétalisées. Le présent rapport illustre la manière de quantifier les bénéfices et les coûts de ces caractéristiques naturelles comme un solide complément ou une option viable à l'option de l'infrastructure grise pour l'atténuation du risque d'inondation. De manière empirique, dans l'ordre de préférence, le moyen le plus rentable d'atténuer les sinistres d'inondation à l'aide de systèmes naturels consiste à :

- (i) conserver ce que vous avez;
- (ii) restaurer ce que vous avez perdu; et
- (iii) construire ce dont vous avez besoin.

Le présent rapport présente la preuve que les initiatives du gouvernement pour restreindre le risque d'inondation peuvent être conformes à sa responsabilité fiduciaire d'appliquer la bonne gouvernance et de la renforcer. Le risque d'inondation s'accroît au Canada dans les sources fluviales, comme les rivières et les lacs; les sources pluviales, comme une pluie abondante qui inonde l'environnement urbain; et les sources côtières, comme les ondes de tempête exacerbées par l'élévation du niveau de la mer. Alors que cette responsabilité va vraisemblablement croître à tous les paliers de gouvernement et dans tous les territoires de compétence, en réponse aux changements climatiques et aux événements météorologiques extrêmes connexes, l'infrastructure naturelle mérite qu'on la prenne en considération de pair avec les solutions d'infrastructure grise comme moyens de limiter le risque d'inondation.

Au-delà des méthodes spécifiques nécessaires à l'évaluation et à la comparaison de l'infrastructure grise par rapport aux options d'infrastructure naturelle en ce qui concerne leur utilité en matière d'atténuation du risque, il faut un cadre de travail qui fournira des lignes directrices à ceux qui songent ou choisissent une solution d'infrastructure naturelle. Le cadre de travail que nous présentons ici pour la mise en œuvre de l'infrastructure naturelle offre une telle structure et il est conforme aux engagements en matière de conservation de l'infrastructure naturelle pris par le Canada en vertu de l'Accord de Paris, du Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe des Nations Unies et du Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques.

L'infrastructure naturelle peut être un moyen rentable d'atténuer les pertes financières importantes qui résulteraient autrement des inondations, comme le démontre l'exemple suivant :

- les étangs naturels dans la ville côtière de Gibsons, en Colombie-Britannique (C.-B.) qui fournit de 3,5 millions de dollars à 4 millions de dollars en services d'entreposage des eaux pluviales chaque année;
- un canal naturalisé de 250 mètres dans la ville d'Oakville, en Ontario, qui fournit des services de débitance et d'entreposages des eaux pluviales de l'ordre de 1,24 million de dollars à 1,44 million de dollars annuellement;
- les terres humides naturelles dans le sud de l'Ontario qui réduisent le coût des dommages causés aux édifices par les inondations de 3,5 millions de dollars (ou 29 %) à un site pilote rural et de 51,1 millions de dollars (ou 38 %) à un site pilote urbain; et
- une terre humide artificielle et restaurée au Manitoba qui est évaluée à 3,7 millions \$ pour la réduction des inondations, l'amélioration de la qualité de l'eau, la séquestration de carbone et autres avantages qu'elle procure.

De plus, l'infrastructure naturelle peut offrir d'autres avantages environnementaux et sociaux que l'on ne peut pas, dans bien des cas, atteindre par la mise en œuvre de solutions grises artificielles traditionnelles. Une analyse coûts-bénéfices exhaustive devrait mesurer toutes les options de l'infrastructure en passant au peigne fin l'analyse coûts-bénéfices habituelle. Par exemple, alors que les étangs naturels fournissent une capacité d'entreposage des eaux pluviales, ce qui aide à mitiger les inondations, ils créent également un habitat pour les espèces aquatiques, améliorent la biodiversité et procurent des avantages esthétiques à la collectivité. La solution d'infrastructure grise n'offre pas ces avantages supplémentaires, comme un réservoir d'eaux pluviales, et il faut en tenir compte dans une analyse coûts-bénéfices. Une évaluation complète des coûts et bénéfices financiers, environnementaux et sociaux (par ex., une évaluation de la valeur économique totale (VET)) est nécessaire pour mettre en lumière ces avantages qui ne seraient pas saisis autrement.

Le Canada continuera de subir des pertes et dégradations de ses atouts d'infrastructure naturelle s'il ne commence pas à mener une évaluation robuste de la VET des solutions d'infrastructure naturelle par rapport à celles de l'infrastructure grise.

Pour aider les gouvernements, les praticiens et les investisseurs dans la planification de l'utilisation des terres et les décisions d'investissement dans l'infrastructure, le présent rapport comprend un cadre de travail pour la mise en œuvre d'un projet d'infrastructure naturelle (Illustration 1).

Illustration 1 : **Cadre de travail pour** **la mise en œuvre d'un** **projet d'infrastructure** **naturelle**



Le cadre de travail fournit un processus amélioré de diligence raisonnable pour l'évaluation et la mise en œuvre de projets d'infrastructure naturelle. Il ajoute aussi une rigueur économique à la façon de faire une analyse coûts-bénéfices, y compris les évaluations du caractère essentiel et de la faisabilité, les méthodes de calcul de la VET et de la valeur actualisée nette (VAN), et la prise en compte de l'incertitude. Cela étend l'utilité du cadre de travail au-delà des communautés locales et expose la pertinence du cadre de travail aux parties qui cherchent à engager des frais d'infrastructure verte au Canada (par ex., Infrastructure Canada, les sociétés commanditaires et les fondations).

Le cadre de travail fait partie d'une série de mesures qui pourraient être adoptées pour faciliter la prise en charge des projets d'infrastructure naturelle. Pour rehausser la capacité et la volonté des collectivités à explorer et à adopter des solutions d'infrastructure verte, le Canada devrait aussi tenir compte des mesures suivantes :

- évaluation de la VET de l'infrastructure naturelle dans le cadre de la planification de l'utilisation des terres et des décisions d'investissement dans l'infrastructure;
- création de modèles de financement durable et de mécanismes de protection et de restauration de l'infrastructure naturelle (par ex., mécanismes de compensation, liens économiques entre l'atténuation du risque et les épargnes à long terme);
- établissement de mécanismes et de critères qui reconnaissent explicitement les besoins programmatiques uniques de la mise en œuvre efficace de solutions d'infrastructure naturelle dans des cadres de travail élargis du financement de l'infrastructure;
- collaboration avec les municipalités, la nouvelle Banque de l'infrastructure du Canada et le secteur financier pour créer et mettre en place de nouveaux instruments financiers pour accélérer l'investissement et la mise en œuvre de l'infrastructure naturelle; et
- création de forums pour rassembler les acteurs traditionnels responsables de la protection de l'infrastructure naturelle (par ex., les offices de protection de la nature, les organisations non gouvernementales [NGOs]), les investisseurs institutionnels et les assureurs pour fournir les solutions fondées sur le marché.

Comme le démontre le présent rapport, une nouvelle gamme d'aptitudes, qui combine l'acuité financière et une évaluation plus large de l'impact social et environnemental, est nécessaire pour empêcher la perte chronique des actifs d'infrastructure naturelle au pays. Si le Canada demeure fidèle à son engagement à l'égard du Cadre de travail de Sendai et de l'Accord de Paris, il doit agir maintenant, de manière novatrice et sans précédent, avant de se retrouver dans l'incapacité d'agir.

Chapitre 1 : Le besoin d'adaptation au climat au Canada

Les événements météorologiques extrêmes et les inondations associés aux changements climatiques sont de plus en plus fréquents au Canada, entraînant des coûts sans cesse croissants pour les gouvernements, les assureurs, les investisseurs, et en fin de compte tous les Canadiens. Depuis 2009, les inondations de sources tant côtières que continentales sont devenues les catastrophes naturelles les plus répandues et les plus coûteuses au pays, entraînant une détresse financière et psychosociale pour les propriétaires d'habitation dans pratiquement toutes les régions.

Pour limiter les répercussions des événements météorologiques extrêmes et des inondations, tous les paliers de gouvernement font de nouveaux investissements dans l'infrastructure et mettent en place des stratégies d'adaptation au climat. Lorsque l'accent est mis principalement sur la mise en œuvre de solutions d'infrastructure grise traditionnelle (par ex., les barrages, les canaux de dérivation, la mise à niveau des usines de traitement de l'eau potable et des eaux usées, et la construction de nouvelles digues) pour limiter le risque, on reconnaît de plus en plus que les solutions d'infrastructure naturelle peuvent jouer un rôle important dans l'adaptation au climat et la réduction du risque de catastrophe.

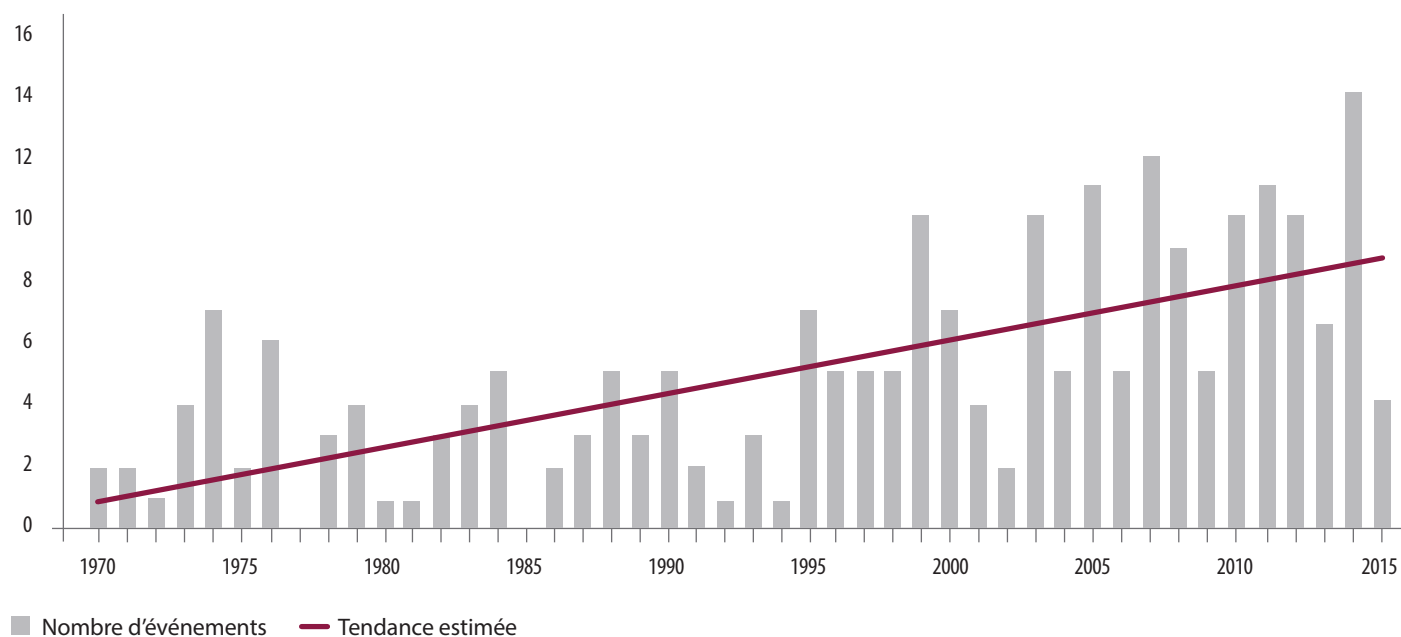
Le **Chapitre 1** examine le besoin de l'adaptation au climat, en particulier la réduction du risque d'inondation, au Canada. Le **Chapitre 2** présente des études de cas canadiennes dans lesquelles les projets d'infrastructure naturelle ont servi à réduire le risque d'inondation et ont procuré une gamme d'autres avantages sociaux et environnementaux. Ces études de cas démontrent qu'il y a un avantage économique important associé à la protection et à la restauration de l'infrastructure naturelle. Le **Chapitre 3** présente un cadre de travail pour la mise en œuvre des projets d'infrastructure naturelle. Un élément clé du cadre de travail est la quantification des avantages économiques élargis qu'offre l'infrastructure naturelle (par ex., l'atténuation du risque d'inondation, amélioration de la qualité de l'eau). Le **Chapitre 4** explore les moyens d'améliorer la prise en charge de l'infrastructure naturelle. Le **Chapitre 5** conclut qu'il est possible, et en fait impératif, que les collectivités du Canada songent à adopter des solutions d'infrastructure tant grise que naturelle d'adaptation au climat. Il souligne également que le cadre de travail présenté dans le rapport peut faciliter l'identification des circonstances où les solutions d'infrastructure naturelle conviennent plus particulièrement.

1.1 : Escalade des coûts des catastrophes naturelles et des inondations au Canada

Au cours des prochaines années, on s'attend à ce que les catastrophes naturelles liées au climat et les pertes économiques qui y sont associées augmentent. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat projette un réchauffement continu de la planète et l'augmentation de la fréquence des événements de fortes précipitations à l'échelle mondiale au 21^e siècle,² sans compter que le Canada subit un réchauffement plus rapide que la moyenne mondiale, et des événements météorologiques plus fréquents et plus graves.³ De même, Environnement et Changement climatique Canada prédit une augmentation de la fréquence et de la gravité des événements météorologiques extrêmes au Canada.⁴ Ces tendances projetées se manifestent déjà et représentent des inquiétudes importantes sur le plan économique.

Selon Sécurité publique Canada, le nombre de catastrophes naturelles pour lesquelles les provinces et les territoires ont demandé et obtenu une aide fédérale en vertu des Accords d'aide financière en cas de catastrophe (AAFCC) ont augmenté de manière importante entre 1970 et 2015 (Illustration 2).⁵ De même, le Bureau du vérificateur général du Canada note que de 2009 à 2015, l'indemnisation des provinces et des territoires au titre des AAFCC était plus élevée que les 39 exercices précédents combinés.⁶ Les dépenses au titre des AAFCC pour les inondations représentaient 75 % de toutes les dépenses liées aux événements météorologiques.⁷

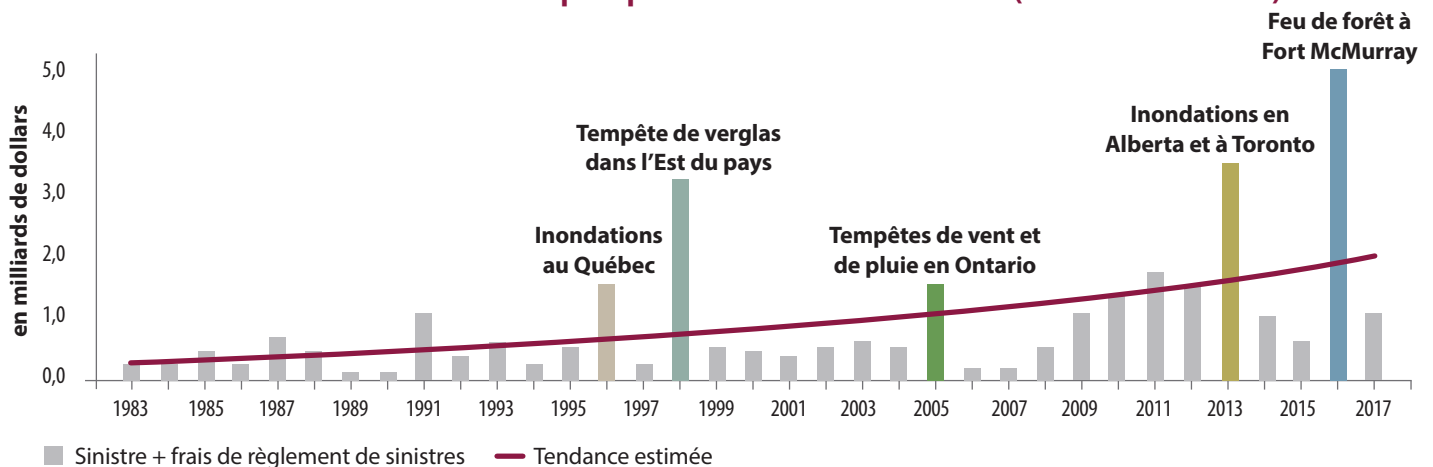
Illustration 2 : Nombre de catastrophes naturelles au Canada nécessitant une indemnisation des provinces et des territoires au titre des AAFCC (de 1970 à 2015)



Source : Sécurité publique Canada Évaluation des Accords d'aide financière en cas de catastrophe, 2016-2017.

Le BAC a établi que les « règlements de sinistres attribuables aux conditions météorologiques extrêmes ont plus que doublé tous les cinq à dix ans depuis les années 1980 ». ⁸ Alors que les règlements de sinistres assurables ont atteint en moyenne 400 millions de dollars par an de 1983 à 2008 au Canada, au cours de huit des neuf dernières années jusqu'en 2017, les indemnités d'assurance versées pour les sinistres catastrophiques excédaient 1 milliard de dollars par an (Illustration 3). Les lacunes en matière d'assurance au Canada sont aussi importantes; en effet, pour chaque dollar de sinistre assuré pris en charge par les assureurs au Canada, trois à quatre dollars sont pris en charge par les gouvernements et les propriétaires d'habitation et d'entreprise.

Illustration 3 : Sinistres catastrophiques assurés au Canada (de 1980 à 2017)



1.2 : Les inondations répétées exercent des pressions sur les titulaires d'hypothèque au Canada

Il y a 1,7 million de ménages canadiens (19 % de la population du Canada) qui vivent dans des zones à risque d'inondation de rivière (fluviale) et d'eaux de surface (pluviale).¹ Dans les zones où l'assurance contre les inondations est limitée ou n'est pas offerte, et où le risque d'inondation pour les Canadiens est le plus élevé, cela se traduit par des préoccupations économiques importantes.

Les dommages causés par une inondation peuvent coûter aux propriétaires des dizaines de milliers de dollars en réparation. Par exemple, selon le National Flood Insurance Program (programme national d'assurance contre les inondations) aux États-Unis, une inondation de 15 centimètres dans une maison de 2 000 pieds carrés causera probablement des dommages estimés à environ 40 000 \$ US.⁹ Avec une assurance limitée ou sans assurance contre les inondations, les propriétaires d'habitation peuvent avoir beaucoup de difficulté à couvrir ce coût à leurs frais.

En 2017, l'Association canadienne de la paie déclarait que près de la moitié des travailleurs canadiens dépendent de leur prochain chèque de paie pour subvenir à leurs besoins, alors que 47 % des travailleurs canadiens indiquaient qu'il serait difficile d'assumer leurs obligations financières si leur chèque de paie était retardé, ne serait-ce que d'une semaine.¹⁰ Par conséquent, le marché hypothécaire canadien fait face à un risque émergent. À l'avenir, le taux de non-paiement d'une hypothèque en raison d'une inondation pourrait augmenter alors que les taux d'épargne demeurent faibles et de plus en plus de ménages sont exposés à des inondations débilantes.

¹Le BAC a commandé une analyse du risque d'inondations fluviales et pluviales au Canada en fonction de l'inventaire immobilier résidentiel, exclusion faite des immeubles appartements et des condominiums.

1.3 : Les risques associés au climat et aux inondations affectent les cotes de crédit

Les agences mondiales de notation du crédit, y compris DBRS, Moody's et Standard & Poor's, commencent à examiner les risques associés aux changements climatiques et leurs répercussions potentielles sur les cotes d'actifs négociables, y compris les obligations municipales.¹¹ Le projet CDP (Carbon Disclosure Project) prédit que l'assiette fiscale, les niveaux d'endettement et la qualité de la gestion sont les trois principaux secteurs que les analystes de notation du crédit des obligations municipales commenceront à intégrer à leur analyse pour établir à quel point les municipalités sont prêtes à faire face aux risques associés au climat et aux événements météorologiques extrêmes.¹² En effet, en novembre 2017, Moody's Investors Service, la branche de notation de crédit pour les obligations de Moody's Corporation, soulignait quatre risques de crédit associés au changement climatique que leurs analystes de notation du crédit examinent dans leur analyse des risques des obligations américaines locales et étatiques :

1. **Interruption économique** (par ex., sinistres ou dommages aux biens, revenus moins élevés, interruption des activités commerciales, augmentation de la dette et des coûts de l'assurance)
2. **Dommmages matériels** (par ex., sinistres ou dommages aux biens, perte des réseaux de services publics, de transports et de communications)
3. **Santé et sécurité publique** (par ex., perte de vies, services d'urgence mis en péril)
4. **Déplacement de la population** (par ex., migration de la population en raison du déplacement des sinistrés à court terme et à long terme).¹³

En particulier, les risques d'inondation côtière et non-côtière représentent deux des six paramètres de risques climatiques évalués par Moody's :

1. Produit intérieur brut (PIB) des comtés côtiers/PIB total de l'État, 2016
2. Dommages causés par des cyclones tropicaux (de 1980 à 2017) PIB de l'État, 2016
3. Logements côtiers dans les inondations de plaine qui ont lieu tous les 100 ou 500 ans/nombre total de logements côtiers
4. Dommages causés par des événements météorologiques non tropicaux (de 1980 à 2017)/PIB de l'État, 2016
5. Logements non côtiers dans les inondations de plaine qui ont lieu tous les 100 ou 500 ans/nombre total de logements non côtiers
6. Exploitation agricole, foresterie, chasse et pêche/PIB total de l'État, 2016,¹⁴

Au Canada, où les inondations sont le risque d'événement météorologique extrême le plus courant auquel font face les municipalités, l'analyse de la notation de crédit des obligations municipales mettra sans doute l'accent sur les initiatives que les administrations locales déploient pour améliorer leur résilience aux inondations. Les mesures d'atténuation à l'exposition matérielle aux risques climatiques auront une pondération importante sur la notation de crédit.

1.4 : Les inondations entraînent des poursuites judiciaires

Les poursuites judiciaires liées aux inondations qui touchent les propriétaires d'habitation, les promoteurs immobiliers, les administrations locales, les offices de protection de la nature, les peuples autochtones et les entreprises privées sont en hausse au Canada. Des exemples de ces actions en justice figurent dans le Tableau 1. Ces causes illustrent le besoin de créer une résilience aux inondations à tous les niveaux de gouvernement, de même que des entreprises et de la société.

Tableau 1 : Exemples de poursuites reliées à la gestion des eaux pluviales et aux inondations au Canada

NOM DE LA CAUSE ET ANNÉE	DESCRIPTION (dommages, coût et montant du règlement inclus lorsqu'ils sont indiqués)	DÉFENDEURS
<i>Anderson et autres c. Manitoba et autres, 2017 (en cours)</i>	Un recours collectif de 950 millions de dollars a été déposé par 4 000 résidents de quatre Premières Nations à la suite des inondations importantes qui ont sévi au printemps 2011. Les inondations ont entraîné des dommages aux biens et l'évacuation de plusieurs familles. Les plaignants sont d'avis qu'il y a eu négligence, nuisance et inexécution des droits conférés par traité, alléguant que le gouvernement du Manitoba a causé les inondations par ses mesures de contrôle des eaux et des inondations qui ont eu des répercussions sur les niveaux d'eau près des quatre Premières Nations. Le recours collectif a été certifié en janvier 2017 et se poursuit.	Province, Association of Native Fire Fighters Inc.
Recours collectif à Muskoka, 2016 (en cours)	Les résidents de Muskoka, de même que les propriétaires de chalet et d'entreprise, ont intenté un recours collectif de 900 millions de dollars contre la province de l'Ontario après que les inondations et les niveaux d'eau élevés ont causé de nombreux dommages. Les plaignants allèguent que le ministère des Richesses naturelles et des Forêts a été négligent dans son manque de contrôle des niveaux d'eau.	Province
<i>Cerra et autres c. la cité de Thunder Bay, 2012 (en cours)</i>	En mai 2012, des inondations ont entraîné de sérieux dommages à Thunder Bay, Ont. Les plaignants allèguent qu'il y a eu négligence dans la réparation, l'inspection et l'entretien des usines de contrôle de la pollution des eaux, de même qu'un manque d'opération et de supervision en temps opportun au moment des inondations (y compris une allégation que les alertes ont été ignorées). La poursuite de 300 millions de dollars est en cours. La cour a certifié l'action sur consentement en 2013.	Municipalité
Recours collectif Maple Ridge, 2010 ¹⁵ (en cours)	Après une inondation en 2010, 15 ménages ont intenté un recours collectif contre un promoteur immobilier et un entrepreneur en construction, deux sociétés d'ingénierie et la ville de Maple Ridge, C.-B. Les plaignants allèguent que les défendeurs ont été négligents, faisant valoir les défauts de construction, des vices d'exécution et de conception, et le défaut d'inspecter les sous-sols aux fins d'y déceler des fuites et le défaut de réparer les fuites comme il avait été demandé. Les plaignants font aussi valoir que les maisons n'étaient pas étanches comme le prévoit le Code du bâtiment, malgré l'inspection, l'examen et l'émission de permis de la municipalité. Le procès était prévu commencer en 2016.	Municipalité, promoteur immobilier, entrepreneur en construction, sociétés d'ingénierie
<i>Panza et autres c. la ville de Mississauga et autres, 2012</i>	Les paliers supérieurs et inférieurs des municipalités, la province de l'Ontario et l'office de protection de la famille ont été nommés comme défendeurs dans une poursuite pour négligence reliée à des inondations systémiques dans le secteur Lisgar de Mississauga pendant plusieurs années. Le recours collectif de 200 millions de dollars a été retiré avant le procès. Cette cause illustre toutefois le potentiel d'inondations systémiques qui entraînent des recours collectifs.	Province, municipalité, office de protection de la nature

Tableau 1 : Exemples de poursuites reliées à la gestion des eaux pluviales et aux inondations au Canada

NOM DE LA CAUSE ET ANNÉE	DESCRIPTION (dommages, coût et montant du règlement inclus lorsqu'ils sont indiqués)	DÉFENDEURS
<i>Dicaire c. (ville de) Chambly, 2008</i>	La Cour d'appel du Québec a rejeté un recours collectif de propriétaires de 1 723 maisons qui ont été inondées en 1997 lorsque les égouts ont été refoulés à la suite de pluies abondantes. La cour a statué que les égouts étaient conçus pour résister à une tempête qui aurait lieu tous les cinq ans, comme l'exigent les lignes directrices provinciales, et la ville n'avait pas d'obligation de faire plus. La cour a noté toutefois que les normes de conception actuelles pouvaient ne pas protéger les municipalités de poursuites futures, à la lumière de « derniers phénomènes climatiques » et autres progrès scientifiques.	Municipalité
<i>McLaren c. (ville de) Stratford, 2005</i>	D'importantes inondations dans la ville de Stratford, Ont., après des pluies diluviennes en 2002 ont fait en sorte que des égouts se sont retrouvés dans plusieurs sous-sols. Les plaignants (résidents de la ville) prétendent qu'il y a eu négligence en matière de conception, de construction, d'opération et d'entretien des systèmes d'eaux pluviales et d'égouts sanitaires. Le recours collectif a été certifié par la cour en 2005 et la cause a été réglée en 2010, huit ans après les inondations. La ville de Stratford a réglé pour la somme de 7,7 millions de dollars après avoir défrayé 1,3 million de dollars en mesures d'intervention d'urgence, et avoir mis à niveau ses systèmes en utilisant des normes visant des événements qui peuvent survenir tous les 250 ans.	Municipalité

Source : Zizzo Strategy. 2017. Legal Risks and Requirements to Address Flood Resilience. Préparé par le Centre Intact.

1.5 : Les inondations affectent la santé mentale des Canadiens

Parmi les répercussions des inondations sur la santé mentale, mentionnons : une détresse psychologique générale, l'anxiété, un trouble de stress post-traumatique et la dépression. La détresse psychologique est définie comme étant « d'une intensité suffisante pour interrompre les habitudes de vie normale d'une personne ».¹⁶

Au Canada, plusieurs études indiquent que les Canadiens ont vécu une détresse psychologique attribuable aux inondations tant à court terme qu'à long terme :

- Une étude menée en 2017 auprès de 200 ménages à Montréal qui ont subi des inondations a révélé que « plus de 70 % des répondants ont déclaré avoir souffert d'anxiété, de troubles du sommeil ou de problèmes de concentration depuis les inondations ».¹⁷
- Une étude menée en 2004 auprès de 176 ménages au Manitoba a révélé que plus d'un tiers des participants avaient vécu une détresse psychologique après une inondation importante.¹⁸
- Une étude menée en 2016 auprès d'hommes et de femmes touchés par les inondations en Alberta en 2013 a révélé une augmentation de 164 % de l'usage de médicaments anxiolytiques et une augmentation de 232 % de l'usage de somnifères chez les femmes à High River, une des zones les plus dévastées.¹⁹
- Une étude menée en 2000 au Saguenay-Lac St-Jean, Québec, auprès de résidents à la suite des inondations de 1996, a révélé que 12 % des participants ont dû prendre un congé maladie ou s'absenter du travail, et 6 % ont opté pour une retraite anticipée.²⁰

Les conclusions d'une étude du Centre Intact menée en 2018 auprès de 100 ménages dans les quartiers touchés par les inondations dans le sud de l'Ontario confirment que les inondations peuvent causer une détresse psychologique. Trois ans après avoir vécu une inondation, près de 50 % des ménages sont « extrêmement préoccupés » par les inondations lorsqu'il pleut. De plus, les propriétaires qui ont subi des inondations dans leur sous-sol ont dû prendre, en moyenne, sept jours de congé à la suite de l'inondation.²¹

1.6 : Engagement du Canada à l'égard de l'atténuation du risque de catastrophe au moyen de l'infrastructure naturelle

Pour améliorer la résilience aux catastrophes naturelles, tous les paliers de gouvernement au Canada ont commencé à se préparer à faire face aux événements météorologiques extrêmes et à créer des plans et des stratégies d'adaptation au climat. Ces initiatives sont conformes à l'Accord de Paris, que le Canada a entériné en 2016,²² au Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe des Nations Unies,²³ et au Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques.

Tant le cadre de travail de Sendai à l'échelle mondiale que le Cadre pancanadien reconnaissent que l'infrastructure naturelle est une priorité en matière de réduction du risque de catastrophe. En vertu du cadre de Sendai, il est conseillé aux gouvernements nationaux et locaux de rehausser l'usage durable et la gestion de l'écosystème et de mettre en œuvre des méthodes de gestion intégrée de l'environnement et des ressources naturelles pour réduire les risques de catastrophes.²⁴ Selon le cadre de travail pancanadien, les solutions d'adaptation traditionnelles et les solutions naturelles sont présentées pour « rehausser la résilience, réduire les risques de catastrophe et épargner des coûts à long terme ».²⁵ Selon Ralph Goodale, ministre de la Sécurité publique du Canada, « En faisant appel à la science, à l'ingénierie, à la planification et aux investissements de manière astucieuse, nous pourrions concevoir en amont un réseau d'ouvrages bien conçus, grands et petits, de rétention de l'eau comprenant des canaux, des réservoirs, des zones humides et des surfaces boisées pour gérer l'eau d'une manière plus pertinente et efficace en contrant les cycles infernaux d'inondations et de sécheresses incontrôlées ».²⁶

Dans son budget de 2017, le gouvernement du Canada annonçait qu'il allait mettre de côté 2 milliards de dollars pour un Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes et mentionnait que l'infrastructure naturelle était admissible. Malheureusement, les critères de coût de projet minimum et de partage des coûts de 20 millions de dollars vont vraisemblablement exclure les programmes qui ont recours à l'infrastructure, car ils ne sont habituellement pas si dispendieux à mettre en place. De plus, la capacité analytique et institutionnelle d'identifier, de concevoir et de financer l'option d'infrastructure naturelle n'est pas très bien développée. Le présent rapport présente d'abord l'utilité de l'infrastructure naturelle en matière d'adaptation climatique et ensuite un cadre de travail analytique que les professionnels peuvent utiliser pour créer une étude de cas pour la protection et la restauration de l'infrastructure naturelle.

Chapitre 2 : L'utilité de l'infrastructure naturelle pour l'adaptation au climat

Ce chapitre fait d'abord état de la perte considérable de l'infrastructure naturelle, en particulier les terres humides, au Canada. Il présente ensuite une étude de cas canadienne dans laquelle sont évalués les coûts et les bénéfices de l'infrastructure naturelle. Les études de cas démontrent que l'infrastructure naturelle mérite qu'on la prenne en compte comme complément aux solutions d'infrastructure grise en ce qui a trait à l'adaptation climatique.

2.1: Définition de l'infrastructure naturelle – Une solution à plusieurs volets à l'adaptation au climat

Aux fins du présent rapport, on entend par infrastructure naturelle : « un réseau stratégiquement planifié et géré de terres naturelles, comme les forêts les terres humides et autres espaces ouverts, qui conserve ou rehausse les valeurs et les fonctions de l'écosystème et procure des avantages connexes aux sociétés humaines ». ^{27 28} L'infrastructure naturelle peut être aussi définie comme « entièrement naturelle » ou « artificielle » selon les critères suivants :

- L'infrastructure entièrement naturelle (par ex., une terre humide, une forêt ou une plaine inondable), une fois établie, n'exige aucune intervention ou gestion humaine.
- L'infrastructure artificielle, comme une installation de rétention des eaux, peut miser sur les processus naturels mais être optimisée par le travail de l'homme et la gestion humaine. Par exemple, un projet d'entreposage de rétention artificielle des eaux (un petit réservoir) peut intercepter les eaux de crue et les relâcher dans une installation artificielle. Le réservoir génère plusieurs des avantages écologiques similaires car, par exemple, une terre humide, avec l'importante distinction que les niveaux d'eau peuvent être manipulés par l'intervention humaine.

Un avantage clé du recours à l'infrastructure naturelle pour l'adaptation climatique est qu'elle peut assumer diverses fonctions (par ex., l'atténuation des inondations et de la sécheresse) et procurer une gamme d'avantages économiques et sociaux. ^{29 30} Entre-temps, l'infrastructure grise traditionnelle est généralement conçue pour assumer un nombre limité de rôles. ^{31 32 33 34}

L'infrastructure naturelle peut être un solide complément aux solutions d'infrastructure traditionnelle. ^{35 36} Par exemple, le reboisement des bassins hydrographiques au-dessus des barrages empêche l'érosion, ce qui ralentit le processus de sédimentation du réservoir et, en retour, rehausse l'efficacité de la production d'énergie et la longévité des installations hydroélectriques. ³⁷ De même, les structures de rétention hydraulique à petite échelle (par ex., les structures qui peuvent entreposer l'eau durant les épisodes de pluie intense pour réduire les inondations et relâcher l'eau aux fins d'irrigation durant les périodes de sécheresse) peuvent aussi améliorer la qualité de l'eau en saisissant les éléments nutritifs et en séquestrant le carbone au moyen de la croissance végétale. ^{38 39 40 41}

Le Tableau 2 résume et compare les coûts et bénéfices de l'infrastructure grise et de l'infrastructure verte.

Tableau 2 : Comparaison conceptuelle des coûts-bénéfices des solutions d'infrastructure naturelle comparativement à celles de l'infrastructure grise pour l'entreposage des eaux pluviales (par ex., les étangs naturels par rapport aux réservoirs d'emmagasinement)

COÛTS (EXEMPLES)	INFRASTRUCTURE NATURELLE	INFRASTRUCTURE GRISE
Préconstruction	x	x
• Collecte de données de référence	x	x
• Consultation des intervenants	x	x
• Identification du site	x	x
• Évaluation des possibilités conceptuelles	x	x
• Plan technique détaillé du concept choisi	x	x
• Acquisition du terrain	x	x
• Évaluation environnementale	x	x
• Frais d'obtention de permis et frais juridiques	x	x
• Créations de devis de construction	x	x
• Créations de programmes de surveillance et indicateurs de rendement clé		
Construction		
• Préparation du chantier	x	x
• Chantier	x	x
Post-construction		
• Activités d'entretien de l'infrastructure	x	x
• Évaluation de la condition de l'infrastructure	x	x
• Surveillance à l'aide des indicateurs de rendement clé	x	x
• Évaluation et production de rapport	x	x
• Coût de carbone sur le cycle de vie du projet		x
Administration		
• Gestion de projet et surveillance	x	x
AVANTAGES (EXEMPLES)	INFRASTRUCTURE NATURELLE	INFRASTRUCTURE GRISE
• Entreposage des eaux pluviales	x	x
• Qualité de l'eau	x	
• Création/amélioration de l'habitat	x	
• Stabilisation du microclimat (par ex., réduction de l'îlot thermique urbain)	x	
• Filtration de l'air	x	
• Installations récréatives et services esthétiques	x	
• Économies d'énergie	x	
• Réduction des émissions de carbone	x	

2.2 : L'infrastructure naturelle du Canada se perd pour laisser la place au développement – Il faut miser sur la protection et la restauration

Malgré la valeur intrinsèque de la valeur de la protection de l'infrastructure naturelle, le Canada continue de subir la perte de terres humides, de forêts et de zones végétalisées. La perte d'infrastructure naturelle est plus prononcée dans le sud du Canada, où il y a concentration de la croissance de la population, et où l'agriculture et le développement urbain ont pris de l'ampleur.⁴² Par exemple :

- Dans le sud de l'Ontario, 72 % des terres humides originales ont fait place à l'aménagement (par ex., exploitation agricole, étalement urbain et autre transformation des terres).⁴³
- En Alberta, environ 64 % des terres humides originales dans les terres constituées n'existent plus.⁴⁴
- En C.-B., plus de 70 % des terres humides originales ont disparu de la vallée du bas Fraser et des parties de l'Île de Vancouver, et une perte de 85 % des terres humides a été remarquée dans la région du sud de l'Okanagan.⁴⁵

La perte considérable de ces environnements naturels a augmenté la vulnérabilité de ces collectivités aux inondations, à la sécheresse et à la contamination des eaux.

Pour atténuer la perte de l'infrastructure naturelle et la dégradation de l'écosystème, les gouvernements du Canada ont mis en place des politiques et règlements pour la protection de l'infrastructure naturelle. Par exemple, la politique fédérale sur la protection des terres humides comprend deux principaux engagements : (1) aucune perte nette de fonction de terre humide sur les terres et les eaux fédérales par la restriction du développement relié à ces terres humides; et (2) amélioration et remise en état des terres humides dans les zones où la perte ou la dégradation continues des terres humides a atteint des niveaux critiques.⁴⁶ D'autres exemples de l'engagement du gouvernement pour protéger et conserver l'infrastructure naturelle comprend le Plan d'action en matière de conservation des terres humides⁴⁷; la politique en matière de terres humides de l'Alberta⁴⁸; la mise en place de la Saskatchewan Wetland Conservation Corporation qui met en place des programmes de protection des terres humides, de la prairie indigène et de l'habitat riverain dans la province; et les politiques de conservation des eaux, qui guident la gestion et la conservation des lacs, des rivières, de l'eau souterraine et des terres humides du Manitoba. De plus, divers organismes du Canada continuent d'entreprendre des projets de restauration de l'infrastructure naturelle.

2.3 : Investir dans l'infrastructure naturelle est bon pour le Canada – Études de cas

Les études de cas suivantes illustrent l'utilité des initiatives visant à conserver et à restaurer les actifs d'infrastructure naturelle au Canada. Elles font partie d'un corpus de recherche croissant qui indique que l'infrastructure naturelle est une solution viable à l'adaptation climatique au Canada et qui devrait être prise en compte tout comme les projets d'ingénierie traditionnelle pour la réduction du risque de catastrophe.

Étude de cas no 1 : Évaluation des ressources naturelles pour la ville côtière de Gibsons, C.-B.

La Municipal Natural Assets Initiative (MNAI) (initiative de protection des actifs municipaux naturels) évalue la valeur financière de l'infrastructure naturelle en termes de services municipaux qu'elle procure. La MNAI est en contact avec les municipalités du pays pour identifier, valoriser et tenir compte de la contribution des actifs naturels dans la prestation de services municipaux (par ex., services qui seraient autrement fournis par des actifs artificiels). Les municipalités sont en mesure d'utiliser les évaluations de la MNAI pour intégrer l'infrastructure naturelle aux décisions de gestion des actifs traditionnels.⁴⁹

Gibsons fut la première municipalité en Amérique du Nord à utiliser le cadre de travail de l'évaluation de la MNAI et déclarer les actifs d'infrastructure naturelle comme actifs municipaux. La ville s'est ensuite engagée à exploiter et à entretenir ses actifs naturels de la même manière que les égouts pluviaux, les routes et autres actifs artificiels traditionnels.⁵⁰

En particulier, la ville de Gibsons a évalué la valeur de son aquifère naturelⁱ pour fournir des services d'entreposage des eaux et de ses étangs pour fournir des services de gestion des eaux pluviales. La ville de Gibsons a conclu qu'au coût de 30 000 \$ par année pour l'entretien et la surveillance, l'aquifère fournissait l'eau à environ 70 % de la population projetée de la ville.⁵¹ L'évaluation des étangs naturels du parc White Tower de la ville a révélé que la prestation des mêmes services de gestion des eaux pluviales par l'entremise d'actifs artificiels aurait coûté de 3,5 millions \$ à 4 millions \$.ⁱⁱⁱ Ces évaluations ont poussé la ville de Gibsons à protéger son aquifère et les étangs du parc White Tower des nouveaux développements domiciliaires proposés.⁵² De plus, la ville de Gibsons reconnaît maintenant la valeur financière des actifs de l'infrastructure naturelle dans ses états financiers :

la ville est chanceuse d'avoir autant d'actifs naturels qui réduisent la nécessité de recourir à l'infrastructure artificielle qui aurait autrement été requise. Cela comprend l'aquifère de Gibsons (entreposage et filtration des eaux), les ruisseaux, les fossés et les terrains marécageux (gestion des eaux pluviales) et la zone intertidale (mur de protection naturel). Les normes de comptabilité du secteur public canadien ne permettent pas l'évaluation et l'enregistrement de tels actifs dans les états financiers de la Ville. Ces actifs naturels ne sont pas déclarés comme tels dans ces états financiers. La Ville reconnaît néanmoins l'importance de ces actifs et de la nécessité de les gérer conjointement avec l'infrastructure artificielle. Par exemple, le 19 juillet 2016, la Ville a adopté une version révisée du règlement municipal 1218 Charges des coûts de développement, ce qui comprenait une évaluation de 3,2 millions \$ pour une augmentation des volumes de rétention des eaux pluviales dans les étangs de White Tower. Ce système d'étang est un système naturel d'entreposage et de rétention qui remplacerait, partiellement, un système de tuyaux traditionnel. L'évaluation reconnaît que le service que fournit cet actif naturel.⁵³

ⁱ Une couche de roche qui contient l'eau ou qui permet à l'eau de circuler à travers elle.

ⁱⁱⁱ L'évaluation du coût des étangs est de 45 000 \$; le coût du dragage était estimé à 15 000 \$ tous les trois ans.

Dix autres territoires de compétence canadiens participent maintenant à la MNAI. En C.-B., la ville de Grand Forks, la ville de Nanaimo, la ville de Courtenay, le district de Sparwood et le district de Vancouver Ouest participent à la MNAI. En Ontario, la ville d'Oakville (voir l'étude de cas no 4), la municipalité régionale de Peel et la ville d'Oshawa participent. Au Nouveau-Brunswick, la Commission des services régionaux de la vallée de l'Ouest et la Commission des services régionaux du Sud-Est participent à la MNAI. Au fur et à mesure que la popularité de la MNAI augmente, elle pourrait être compensée au Canada à titre de pratique courante pour tenir compte de la valeur économique que procure l'infrastructure naturelle à titre d'actif municipal.

Étude de cas no 2 : Estimation des avantages de la protection des terres humides des municipalités rurales et urbaines du sud de l'Ontario

Reconnaissant que l'atténuation des inondations est la priorité en matière d'adaptation climatique pour les collectivités au Canada, le Centre Intact a créé une approche pour quantifier la valeur des terres humides pour réduire le coût des dommages causés par les inondations. Il a mis à l'épreuve cette approche à deux sites pilotes dans le sud de l'Ontario : un site urbain et un site rural. Le Centre Intact a conclu que si les terres humides sont maintenues à leur état naturel, en cas d'événement de pluies extrême (un événement tous les 500 ans), elles peuvent réduire les coûts des dommages causés par une inondation aux édifices, y compris les maisons et appartements, de même que les structures industrielles, commerciales et industrielles, de près de 40 %.⁵⁴

Le Centre Intact a mis en place l'approche en quatre étapes suivantes pour évaluer les avantages des terres humides pour atténuer les inondations :

1. **Modélisation hydrologique et hydraulique complète pour la zone d'étude, avec et sans les caractéristiques de l'infrastructure naturelle.** La modélisation hydrologique et hydraulique fournissait l'étendue et la profondeur des inondations avec les terres humides et sans les caractéristiques de l'infrastructure naturelle (par ex., en remplaçant les caractéristiques de l'infrastructure naturelle par une utilisation différente des terres dans les modèles). La modélisation hydrologique et hydraulique tenait compte d'une gamme d'événements de pluie (par ex., deux ans, cinq ans, 10 ans, 25 ans, 50 ans et 100 ans). Un des principaux résultats de cette étape consiste en des données de trame⁵⁵ et fichiers de forme,⁵⁶ qui illustrent l'étendue et la profondeur des inondations pour chaque événement de pluie modélisé, dans les cas où les caractéristiques naturelles (terres humides) étaient conservées ou perdues en raison du développement.
2. **Analyse complète de l'utilisation des terres et empreinte des immeubles.** Les sites Web des administrations locales offrent des données sur l'utilisation des terres et l'empreinte des immeubles. Ces données ont été superposées avec celles de l'étendue et de la profondeur des inondations mentionnées à l'étape 1, pour confirmer les structures qui ont été inondées pour une gamme spécifique d'événements de pluie. On s'attendait à ce que lorsque les caractéristiques naturelles sont conservées, un plus petit nombre d'édifices seraient inondés, ou les niveaux d'inondation des édifices seraient plus faibles, en comparaison de leur perte en faveur du développement. Cette analyse a été complétée en utilisant un logiciel de système d'information géographique (SIG) (par ex., le SIG ArcMap).

3. **Analyse détaillée des édifices inondés.** Après que les structures d'édifice inondées ont été identifiées dans l'étape 2, elles ont été catégorisées en fonction de leur usage (par ex., résidentiel, commercial, industriel, commerce de détail) et le type structural (par ex., maison unifamiliale, édifice appartements). D'autres détails au sujet des édifices inondés, comme l'élévation de l'étage principal en fonction de la pente et de la présence de stationnement souterrain et de sous-sols, ont été recueillis pour analyser le coût des dommages causés par une inondation pour chaque édifice inondé. Ces données ont été recueillies par examen virtuel des édifices en utilisant un logiciel spécialisé créé par le Groupe IBI, une société mondiale d'architecture, de planification, de génie et de technologie. L'outil, mis en œuvre dans Google Earth Pro, compte sur l'imagerie de Google Earth pour aider les utilisateurs à inspecter visuellement les édifices et télécharger les données enregistrées pertinentes dans Excel pour analyser davantage les coûts des dommages causés par une inondation.
4. **Calcul des dommages causés par une inondation avec et sans les caractéristiques d'infrastructure naturelle.** Après avoir catégorisé tous les édifices inondés à l'étape 3, le modèle d'évaluation des dommages causés par une inondation rapide d'IBI (un logiciel gratuit, offert au public et créé pour l'étude provinciale de l'évaluation des dommages causés par une inondation du gouvernement de l'Alberta⁵⁷) a servi à calculer les dommages annuels estimés causés par les inondations aux édifices, avec et sans les terres humides).⁵⁸

L'étude a conclu que sur le site pilote rural, où les terres humides étaient demeurées intactes, le coût des dommages causés par une inondation était de 8,9 millions \$, soit 29 % de moins que le coût de 12,4 millions \$ qui aurait été engagé si le développement agricole avait remplacé les terres humides. Sur le site pilote urbain, où les terres humides étaient demeurées à leur état naturel, le coût des dommages causés par une inondation était de 84,5 millions \$, soit 51,1 millions \$ ou 38 % de moins que le coût de 135,6 millions \$ qui aurait été engagé à la suite du remplacement agricole. L'étude illustre qu'en laissant simplement les terres humides à leur état naturel était important pour l'atténuation du risque d'inondation.⁵⁹

Étude de cas no 3 : Évaluation du projet de restauration des terres humides de Pelly's Lake au Manitoba

Le système de terres humides pour retenir l'eau de Pelly's Lake, près de Holland, Manitoba, est situé dans une zone agricole lourdement drainée en amont d'une région à risque élevé d'inondation du système de la rivière Boyne. La rivière Boyne est tributaire de la rivière Rouge, qui a un passé d'inondations importantes. La rivière Rouge contribue environ 60 % de la teneur en nutriments du lac Winnipeg, le plus gros lac eutrophe au monde. Pelly's Lake est une zone de terres humides de 121 hectares, fréquemment inondée dans des conditions naturelles et envahie par des espèces macrophytes, Typha (par ex., massette), qui fleurissent dans des environnements humides, riches en nutriments et consomme des quantités importantes d'azote et de phosphore.

En 2015, une structure de rétention a été érigée pour gérer le débit d'eau à Pelly's Lake, transformant efficacement une terre humide naturelle et une terre agricole marginale en une terre humide artificielle et un réservoir. Les principaux avantages des terres humides artificielles comprennent la capacité de contrôler les débits d'eau pour atténuer les inondations, recharger les voies

navigables de fin de saison davantage en aval, et la capacité de libérer suffisamment d'eau du réservoir pour que l'équipement agricole puisse accéder au site et récolter les massettes. La récolte de massettes à titre de culture de biomasse entraîne de multiples avantages, notamment l'amélioration de la qualité de l'eau et de l'habitat, tel que le démontre la diversité rehaussée des plantes et des espèces d'oiseaux (par ex., sauvagine et oiseaux chanteurs).⁶⁰

En 2017, des chercheurs de l'université de la Saskatchewan évaluaient la situation économique de Pelly's Lake et diffusaient leurs analyses dans trois publications à comité de lecture.^{61 62 63} L'analyse du rendement des investissements qui suit se fonde sur ces publications et le Tableau 3 résume les entrants essentiels au calcul. Le taux de rendement interne estimé (TRI)^{iv} pour ce projet, présumant un cycle de vie de 20 ans, était estimé à 32 % avec un indice de rentabilité net (IRn)^v se situant entre 2,8 et 3,64, selon le taux d'actualisation.

- Au taux d'actualisation de 3 %, la VAN a été calculée à 3 700 148 \$, avec un IRn de 3,64.
- Au taux d'actualisation de 4 %, la VAN a été calculée à 3 262 905 \$, avec un IRn de 3,21.
- Au taux d'actualisation de 5 %, la VAN a été calculée à 2 883 146 \$, avec un IRn de 2,83.

Tableau 3 : Analyse des coûts-bénéfices du système de rétention des eaux des terres humides de Pelly's Lake au Manitoba (en dollars de 2017)

DÉPENSES EN CAPITAL (CapEx)		EN DOLLARS DE 2017
Terrain		467 183 \$
Travaux de génie civil		550 000 \$
	Total CapEx	1 017 183 \$
DÉPENSES D'EXPLOITATION (OpEx)		EN DOLLARS DE 2017
Exploitation et entretien		45 000 \$
Récolte		80 000 \$
	Total OpEx	125 000 \$
TOTAL BÉNÉFICES		EN DOLLARS DE 2017
Atténuation des inondations (740 \$/ha; 121 ha)		89 540 \$
Production de biomasse (16,20 \$/t; 1 550 t)		25 100 \$
Compensation du dioxyde de carbone		77 500 \$
Phosphore (60 \$/kg; 1 500 kg)		90 000 \$
Azote (36 \$/kg; 4 650 kg)		167 400 \$
	Total des bénéfices	449 540 \$
	Bénéfices nets = Total des bénéfices	
	- Total OpEx	324 540 \$

Pour mettre les choses en contexte, la Trésorerie du Royaume-Uni a publié des lignes directrices sur l'optimisation des ressources. Ces documents sont largement utilisés pour l'approvisionnement public et les projets d'infrastructure à partenariat public-privé.^{64 65} Les projets ayant un IRn entre 2 et 4 sont considérés ayant une grande optimisation des ressources et celles ayant un IRn supérieur à 4 sont considérés comme ayant une très grande optimisation des ressources.

^{iv} Le TRI est le taux où le projet atteint le seuil de rentabilité.

^v Défini comme la valeur actualisée nette (la différence entre la valeur actualisée des bénéfices et la valeur actualisée des coûts associés au projet, sur une période déterminée) divisée par le total des dépenses en capital.

La proposition d'optimisation complète des ressources pour Pelly's Lake, susmentionnée, peut être sous-estimée pour plusieurs raisons :

- Le coût de l'acquisition du terrain se fonde sur la juste valeur marchande pour les terres agricoles de grande valeur au Manitoba, et non pas la valeur réelle du terrain que Pelly's Lake occupe (faible valeur, fréquemment inondé).
- Le bénéfice de réduction du risque d'inondation par unité (740 \$ par hectare) appliqué à Pelly's Lake est adapté de deux méta-analyses publiées sur les bénéfices dégagés par les terres humides dans le paysage agricole.^{66,67} Les bénéfices de réduction du risque d'inondation devraient être fondés sur une étude de modélisation locale détaillée qui utilise le modèle hydrodynamique, LiDAR et la valeur locale des terres agricoles, de l'infrastructure municipale, de l'infrastructure agricole et du bétail, exposés aux inondations.
- La valeur de la biomasse représente la valeur du bioproduit à l'extrémité inférieure du spectre pour l'utilisation de *Typha* comme mazout de chauffage d'un espace local. Le prix du disponible repère pour une source de biomasse équivalente (granules de bois industriels) atteignait en moyenne 162,87 \$ US/tonne entre 2009 et 2017.⁶⁸
- Le prix du crédit de carbone est constant au cours de la durée de vie de 20 ans du projet à 25 \$ par tonne, alors que la politique fédérale canadienne actuelle prévoit la mise en place d'une taxe sur le carbone en 2018 à 10 \$ par tonne et une augmentation à 50 \$ par tonne d'ici 2022.
- La valeur du phosphore (60 \$ par kilogramme) était prudente. Les technologies d'extraction de phosphore tertiaire maintenant en usage au Canada ont des coûts unitaires de plus de 1 000 \$ par kilogramme⁶⁹ et le programme de compensation du phosphore maintenant en opération dans les bassins-versants du Lac Simcoe utilise une compensation pour la réduction de la charge en phosphore de 35 000 \$ par kilogramme.⁷⁰
- Il en résulte des bénéfices non imputés de l'amélioration de l'habitat de la sauvagine et des oiseaux chanteurs associés à la gestion des terres humides actives, de même que les avantages en termes d'alimentation de la nappe souterraine, de la résilience à la sécheresse, et d'irrigation.

L'étude de cas de Pelly's Lake révèle que le rendement de l'investissement dans des projets d'infrastructure naturelle peut être élevé ou très élevé. Il repose sur plusieurs cobénéfices publics et privés et l'utilisation des marchés d'écosystème (en particulier pour le carbone et le phosphore) peuvent être importants dans l'exploitation du caractère multifonctionnel de l'infrastructure naturelle. Cette étude de cas révèle aussi l'importance du ciblage géographique dans l'identification des sites de développement d'infrastructure naturelle potentiels ayant une valeur hydrologique élevée et une faible valeur agricole pour minimiser les coûts d'acquisition du terrain.

Étude de cas no 4 : Évaluation de l'infrastructure naturelle de la ville d'Oakville, Ont.

Par l'entremise du MNAI, la ville d'Oakville a mené un projet pilote qui évaluait les services municipaux projetés fournis par un canal naturalisé (un cours d'eau ouvert non réglementé) à la fois selon les usages existants et intensifiés du terrain.

Oakville a une population de 193 83271 et est située dans le sud de l'Ontario. Elle est aux abords du lac Ontario et à mi-chemin entre Toronto et Hamilton, dans la région de Halton. Oakville fait partie de la région du Grand Toronto, une des régions les plus peuplées du Canada, et subit une croissance rapide et un aménagement du terrain.

Aux fins de l'analyse MNAI, Oakville a choisi un canal non réglementé (par ex., une plaine inondable non réglementée par l'office de protection de la nature de la région), dans une partie plus vieille de la collectivité, qui reçoit les eaux pluviales des terres en amont, y compris des droits de passage municipaux et des terres dédiées à l'emploi et à l'usage résidentiel. Le canal a été évalué en termes de débitance des eaux pluviales, d'atténuation des inondations, d'infiltration et des bénéfices d'amélioration de la qualité de l'eau qu'il procure.

Aux fins de l'étude, Amec Foster Wheeler, une société d'ingénierie et de gestion de projet⁷², travaillant au nom de la ville, a contribué des services techniques, y compris l'exécution de l'analyse de la modélisation technique. Il a été établi que la valeur économique des services municipaux fournis par le canal augmenterait avec le temps au fur et à mesure qu'Oakville change son utilisation des terres par le redéveloppement et l'intensification. En particulier, l'analyse technique a confirmé que le canal, d'une longueur d'environ 250 mètres, sert de fonction bien définie de débitance des eaux pluviales et réduit les débits de pointe en aval durant les événements de pluie. Les bénéfices concernant l'infiltration et la qualité de l'eau sont moins clairs, mais leur existence à un certain niveau a été reconnue. Le coût de l'opération et de l'entretien du canal était présumé nul, car le canal est confiné à une terre privée, où Oakville ne fournit pas de services d'exploitation ou d'entretien.

Les bénéfices économiques de la débitance des eaux pluviales et de l'atténuation des inondations sont importants. Dans les conditions d'utilisation intensifiée des terres, pour fournir la même fonction de débitance au moyen de l'infrastructure grise équivalente (par ex., des tuyaux d'un diamètre de 1 350 à 1 500 millimètres, à un coût unitaire de 847 par mètre de tuyau) coûterait 725 000 \$. De même, pour atténuer un événement d'inondation qui a lieu tous les 100 ans, l'utilisation d'une infrastructure grise équivalente (par ex., par une installation d'entreposage en aval, avec l'enceinte de tuyau en place) coûterait 715 000 \$ de plus dans des conditions d'utilisation intensifiée des terres.

En résumé, le canal naturalisé fournit des avantages de débitance des eaux pluviales et d'atténuation des inondations, qui coûteraient autrement à Oakville de 1,24 million \$ à 1,44 million \$ en vertu des conditions d'utilisation actuelles et intensifiées, respectivement.

Chapitre 3 : Cadre de travail pour la mise en œuvre de l'infrastructure naturelle

Tel que mentionné dans les chapitres 1 et 2, la protection et la restauration de l'infrastructure naturelle sont essentielles à l'engagement qu'a pris le Canada en matière d'adaptation au climat et de réduction du risque de catastrophe en vertu du Cadre de travail pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques, et le Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe. Plusieurs obstacles, toutefois, doivent être surmontés avant que les décideurs, les ingénieurs et les investisseurs adoptent l'infrastructure naturelle comme option optimale d'adaptation au climat. Dans leur examen des projets d'infrastructure naturelle, les chercheurs ont noté que l'absence d'un cadre bien établi pour identifier, quantifier et communiquer les bénéfices multiples des projets d'infrastructure naturelle est une lacune importante qui peut empêcher le déploiement de projets d'infrastructure naturelle de plus grande envergure :⁷³

Les solutions d'infrastructure grise ont dominé les systèmes de gestion des eaux et les curriculum d'ingénierie pendant des décennies, ce qui a mené à des préjugés informels et du scepticisme à l'égard des approches qui ont recours à l'infrastructure naturelle. Ces préjugés informels sont perturbés, en ce sens que les méthodes d'établissement des budgets d'immobilisation et d'évaluation de l'actif ne considèrent pas l'infrastructure naturelle comme un actif. Conséquemment, parce que les décideurs de l'infrastructure et les électeurs n'ont pas une bonne compréhension des bénéfices de l'infrastructure naturelle, ils tentent rarement d'intégrer l'infrastructure naturelle dans des designs d'infrastructure traditionnelle... Les décideurs d'infrastructure manquent souvent d'aptitude technique pour concevoir des projets d'infrastructure naturelle qui optimisent les coûts-bénéfices. Les facteurs environnementaux particuliers au site qui doivent être pris en considération dans l'évaluation des projets d'infrastructure naturelle sont bien plus que le processus de développement habituel de système uniforme de gestion des eaux, et peu d'ingénieurs ont la formation nécessaire pour ce type d'évaluation. Un facteur qui vient compliquer les choses est l'incertitude inhérente associée aux systèmes naturels et la façon, par exemple, dont l'infrastructure pourrait répondre au changement de climat. Sans analyse quantitative fiable, les personnes responsables de l'évaluation des options d'infrastructures sont limitées à des arguments qualitatifs (plus faibles) en ce qui concerne les investissements dans l'infrastructure naturelle.

Le cadre de travail présenté ci-dessous souligne les étapes nécessaires que les organisations peuvent suivre pour (1) : évaluer l'étude de cas de tels investissements; et (2) : confirmer que les projets procurent les bénéfices prévus. L'évaluation coûts-bénéfices, qui permet une comparaison de l'infrastructure naturelle et l'infrastructure grise, et ce cadre de travail peut s'appliquer à une gamme de projets d'infrastructure naturelle, y compris la restauration des terres humides et de la bande riveraine, le reboisement, la naturalisation des rives et la restauration des plaines inondables.

Chaque composante du cadre de travail qui figure dans l'illustration 4 est décrite dans les sections qui suivent. Alors que toutes les composantes du cadre de travail exigent la préparation d'une solide étude de cas pour la mise en œuvre de l'infrastructure naturelle, elles peuvent être exécutées à divers moments ou simultanément.

Illustration 4 : Cadre de travail pour la mise en œuvre d'un projet d'infrastructure naturelle



Avant de revoir le cadre de travail en détail, il est essentiel de souligner deux points. Premièrement, tout effort devrait être entrepris pour conserver l'infrastructure dans son état naturel, plus particulièrement dans les zones écologiques sensibles au Canada. À cette fin, les planificateurs et les décideurs devraient être avertis que les projets de restauration dans une zone géographique ne peuvent pas être utilisés pour justifier la perte de l'écosystème dans une autre. Par exemple, une étude de 621 terres humides restaurées et créées dans le monde a révélé que même 50 à 100 ans après la restauration, les terres humides restaurées n'avaient récupéré que 74 % de leurs fonctions biogéochimiques en ce qui a trait au groupe de référence de 556 terres humides naturelles. Autrement dit, l'abondance d'espèces et la biodiversité de la flore et de la faune indigènes ne pourraient pas être entièrement récupérées au moyen d'efforts de restauration durant cette période.⁷⁴ De même, une analyse de projets de restauration de la forêt en Alberta sur les terres récupérées dans la région de sable bitumineux, démontre que la majorité des plantes n'étaient pas stabilisées, même 20 ans après la récupération.⁷⁵

De plus, même lorsque les actifs de l'infrastructure naturelle sont protégés, il n'est pas toujours possible de garantir le statut de protection. La ville de Kelowna, C.-B., par exemple, a établi un partenariat de 10 ans avec le Central Okanagan Naturalists' Club et la division Faune sauvage du ministère de l'Environnement de la C.-B., Terres et Parcs pour créer un système de cotation pour les terres humides situées dans la ville. Le partenariat a abouti à l'ajout d'une stratégie de gestion des terres humides, règlement municipal 8327 au Plan communautaire officiel (PCO) en 1999.

La modification apportée au PCO protégeait certaines terres humides contre l'aménagement en leur assignant le statut « terres humides protégées ». Par contre, après que le conseil municipal a reçu quelques semaines plus tard la première demande de rezonage pour un aménagement résidentiel, le PCO a été réécrit. Le PCO actuel, règlement 8600, ne contient plus le terme « terres humides protégées », mais plutôt « terres humides à risque élevé ou modéré », ce qui rend le mécanisme juridique moins stricte pour la protection des terres humides contre d'autres projets d'aménagement.

Le deuxième point principal à souligner est que le processus décisionnel en matière d'infrastructure devrait tenir compte des options d'infrastructure naturelle sur un pied d'égalité avec l'infrastructure grise. Pour identifier l'option la plus appropriée, la VET de l'infrastructure naturelle doit être comparée aux solutions d'infrastructure grise qui visent à réaliser les mêmes objectifs (par ex., réduction de débordements d'eaux pluviales, amélioration de la qualité de l'eau).

Plus précisément, l'analyse devrait tenir compte de la VAN des coûts et bénéfices associés à la mise en œuvre de solutions d'infrastructure « verte » naturelle et d'infrastructure « grise » traditionnelle, y compris une comparaison côte à côte de leurs répercussions économiques, environnementales et sociales. Cette évaluation globale « à triple bilan » rehausse la diligence raisonnable qui motive les décisions en matière d'investissement et de planification de l'usage des terres, et devrait être menée pour comparer équitablement les deux solutions.

3.1 : Engagement communautaire

Une priorité clé de la prise en charge de tout projet d'infrastructure naturelle ou grise est d'obtenir l'appui des principaux intervenants du projet. Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, chaque collectivité a des défis et priorités différentes, qui influencent la manière dont les projets sont évalués, sélectionnés et conçus. Grâce à l'engagement et à l'appui communautaire continus, les promoteurs de projet augmentent largement la possibilité que les projets se réalisent.

L'engagement communautaire peut prendre diverses formes et diffère selon l'étape du projet. À l'étape initiale, l'engagement communautaire vise à rehausser la sensibilisation au projet et à son acceptation. La consultation publique est un élément clé de l'acceptation d'un projet, de même que l'identification des défis et des opportunités associés à la mise en œuvre d'un projet dans la collectivité. Alors que le projet progresse dans les étapes de construction, les activités de communications et de sensibilisation continuent.

Étant donné que la plupart des projets d'infrastructure naturelle sont grandement visibles, ils peuvent servir à renseigner le public sur les changements climatiques, la rareté de l'eau, la biodiversité et d'autres sujets. La transparence au sujet des objectifs et des résultats prévus du projet est nécessaire pour établir la responsabilité des bailleurs de fonds du projet et des membres de la communauté. Les éléments clés de l'engagement communautaire comprennent les rapports réguliers sur le rendement du projet et les mises à jour dans les journaux locaux, à la radio et dans les médias sociaux.

3.2 : Bassin-versant et évaluation du risque climatique

Avant de prendre en charge un projet d'infrastructure naturelle ou grise, il est essentiel d'évaluer le bassin-versant^{vi}, où le projet proposé serait mis en place. Cela comprend la confirmation des défis actuels du bassin-versant (par ex., inondations, sécheresse, questions de qualité des eaux et perte d'habitat), de même que des enquêtes sur les défis potentiels futurs associés aux changements projetés de l'usage des terres, la variabilité du climat et les événements météorologiques extrêmes. La concrétisation relative de ces défis guidera le projet d'infrastructure naturelle ou grise et le processus de sélection du site. Ce processus permettra d'établir si une solution qui vise plusieurs problèmes peut être meilleure et plus rentable.

En règle générale, les documents accessibles au public, comme l'utilisation des terres municipales et les plans de développement, les évaluations environnementales, les évaluations du risque d'inondation et les rapports concernant les inondations, seront pertinents. Les modèles de circulation générale (MCG) et les courbes d'intensité, de durée et de fréquence (IDF)⁷⁶ corrigées du climat peuvent aider à quantifier les tendances du changement climatique et analyser les répercussions potentielles des événements de pluie extrême pour une ligne de partage des eaux.

En termes de résultats, l'évaluation du bassin-versant devrait confirmer (1) les questions les plus urgentes de changement hydrologique et de changement climatique auxquelles font face les collectivités du bassin-versant; et (2) les zones géographiques visées (par ex., zones prônes aux inondations chroniques, ou sensibles à la sécheresse).

3.3 : Évaluation du caractère essentiel

Après avoir identifié les défis concernant le bassin-versant, il convient de confirmer leur caractère essentiel afin de les prioriser. Pour mener une évaluation du caractère essentiel, il faut amener les principaux intervenants (par ex., représentants municipaux, groupes communautaires, offices de protection de la nature, les promoteurs, les constructeurs d'habitation, les résidents) à participer à un exercice visant à donner une note de priorité à chaque défi en fonction de ses répercussions et de l'urgence de la situation. Ce processus permettra d'établir si une solution qui vise plusieurs problèmes peut être meilleure et plus rentable.

Par exemple, s'il y a plusieurs zones qui ont des problèmes d'inondation dans la collectivité, et qu'une de ces zones a un terrain de baseball, alors qu'une autre contient un hôpital, la priorité évidente est de régler le problème d'inondation à l'hôpital. Dans d'autres cas, la décision peut être moins évidente : protéger certaines sources d'eau contre la pollution peut être une priorité pour un groupe d'intervenants alors que la prévention de la perte de l'habitat à un autre endroit peut être plus importante pour un autre groupe.

Les conflits entre objectifs concurrentiels, comme les conflits entre la gestion des inondations et la biodiversité, peuvent devoir être résolus. Par exemple, la réduction du risque d'inondation nécessite habituellement l'entreposage des eaux pluviales durant les crues, pour les relâcher ensuite afin de pouvoir réutiliser le site pour entreposer les eaux pluviales lors d'événements à débit élevé subséquents. Certaines fonctions de l'habitat peuvent être touchées de manière néfaste par ces exigences d'écoulement.⁷⁷

^{vi} Un bassin-versant est une zone, délimitée par la topographie, où toutes les précipitations sont drainées vers un point ou un déversoir

Par conséquent, il est essentiel de prioriser les questions touchant une collectivité parce que ces priorités détermineront la création d'un système d'infrastructure naturelle ou d'infrastructure verte. Comme nous l'avons mentionné précédemment, un système dont l'objectif primaire est l'atténuation des inondations aura un design fondamentalement différent d'un système qui vise à créer un habitat. Étant donné que le design d'un projet d'infrastructure naturelle exige une planification interdisciplinaire pour réaliser les objectifs écologiques, sociaux et économiques, le processus décisionnel doit reposer sur une méthode d'évaluation intégrée et systémique qui tient compte de manière précise des coûts et bénéfices environnementaux, sociaux et économiques. Une variété de ressources sont disponibles pour guider les évaluations du caractère essentiel pour faire en sorte que les données interdisciplinaires soient prises en compte dès le début du projet. En ce qui a trait à l'adaptation au climat, les projets d'infrastructure naturelle seront habituellement conçus pour atténuer les inondations et la sécheresse, ayant comme avantages connexes une amélioration de la qualité de l'eau et la création d'un habitat.⁷⁸

3.4 : Évaluation de la faisabilité

À la suite de l'évaluation du bassin-versant, une analyse de faisabilité peut confirmer quel type de projet d'infrastructure - naturelle, grise, ou une combinaison des deux - convient le mieux pour régler les questions prioritaires. De temps à autre, des projets d'infrastructure naturelle peuvent offrir une solution à plus d'un défi de bassin-versant identifié durant l'analyse du caractère essentiel, augmentant la proposition de valeur des solutions d'infrastructure grise traditionnelle. L'analyse de faisabilité consiste en une évaluation des facteurs techniques, juridiques et réglementaires, organisationnels, sociaux et économiques pour la mise en œuvre de tout projet d'infrastructure naturelle ou grise. Les projets d'infrastructure grise serviraient habituellement de référence pour l'évaluation de la faisabilité.⁷⁹

La première étape de l'évaluation de la faisabilité est la collecte de données de référence pour servir de base à la comparaison des différentes options et l'analyse des répercussions de l'inaction (l'option statu quo). Par exemple, si une collectivité détermine que l'atténuation des inondations est sa principale préoccupation et aimerait explorer la possibilité d'un projet de restauration des terres humides, le scénario de référence consisterait alors à la collecte et à l'analyse des données de référence pertinentes, y compris :

- la modélisation hydrologique et hydraulique qui démontre la profondeur et l'étendue des inondations pour une gamme d'événements de pluie;
- les évaluations des dommages causés par une inondation qui indiquent les coûts auxquels on peut s'attendre pour un endroit donné et les conditions futures (par ex. tenir compte des changements dans l'utilisation des terres et du climat);
- les évaluations de la capacité des terres humides pour atténuer les inondations (par ex., capacité d'entreposage des terres humides); et
- les observations pertinentes sur le terrain et surveillance des données pour confirmer les hypothèses et projections de la modélisation.

Il convient de noter que chaque ligne de partage des eaux soit unique en termes d'attributs physiques, y compris sa géomorphologie, son hydrologie, sa topographie et le climat. L'expertise en ingénierie est nécessaire pour modéliser le scénario de référence et analyser les options de design. Une telle expertise peut être offerte par la municipalité, les offices de protection de la nature et les sociétés de génie-conseil.

ENCADRÉ 1 : Les chercheurs notent que la technologie de système de laser de détection (LiDAR) offre le meilleur produit de sa catégorie pour l'analyse des caractéristiques de l'infrastructure naturelle (par ex., terres humides, zones de dépression) aux fins de modélisation hydrologique et hydraulique. Par exemple, les Guides d'orientation fédéraux sur la cartographie des plaines inondables,⁸⁰ recommandaient LiDAR parce que ce système peut produire des modèles d'élévation numériques à haute résolution qui sont servent ensuite à dériver les volumes d'entreposage de l'eau pour les caractéristiques de l'infrastructure naturelle. Les modèles à faible résolution ne sont pas en mesure de résoudre les caractéristiques topographiques subtiles qui caractérisent les sites potentiels pour les projets d'infrastructure naturelle.⁸¹ De plus, LiDAR prévoit une solution rentable pour la création d'un survol systématique du bassin-versant et peut optimiser le processus de sélection du site d'infrastructure naturelle.

Source : Wang, Lei, et Jaehyung Yu. "Modelling detention basins measured from high-resolution light detection and ranging data." *Hydrological Processes* 26;19 (2012): 2973-2984

Une fois le scénario de référence complété, l'analyse de faisabilité se penche sur le reste des questions à prendre en considération pour la mise en œuvre du projet (Tableau 4). Les promoteurs du projet devraient documenter les outils de modélisation utilisée pour analyser le scénario de référence et évaluer l'efficacité du projet d'infrastructure naturelle pour réaliser les objectifs souhaités. Les documents devraient inclure les hypothèses de modélisation clés et le paramétrage.

Tableau 4 : Analyse de faisabilité : exemples de points à prendre en considération pour un projet de restauration des terres humides visant à atténuer les inondations

FACTEURS	CONSIDÉRATIONS
Techniques	<ul style="list-style-type: none"> Les données sur le climat sont-elles disponibles pour projeter les risques futurs associés au climat? Quel est l'impact de l'approche ayant recours au statu quo ou à l'inaction sur les dommages causés par une inondation à l'endroit visé? Quelles sont les solutions de recharge potentielles à l'activité proposée (par ex., solutions naturelles comparativement aux solutions artificielles pour réaliser les bénéfices souhaités)? Quelles sont les options de restauration des terres humides possibles pour réaliser la capacité d'entreposage des eaux exigée? Y a-t-il suffisamment de terre disponible pour l'option d'infrastructure naturelle ou artificielle? Existe-t-il des solutions de design de recharge qui fournissent des avantages supplémentaires (au-delà de l'atténuation des inondations)? À quels coûts additionnels?
Juridiques et réglementaires	<ul style="list-style-type: none"> L'activité proposée est-elle une activité réglementée ou exemptée? Le projet requiert-il une évaluation environnementale? Quels permis, le cas échéant, sont exigés pour réaliser le projet? Quel est le coût et le temps nécessaire pour mener les études exigées et obtenir les permis? Quelles sont les exigences pour la surveillance et la production de rapport post-construction?
Organisationnels	<ul style="list-style-type: none"> Quelles ressources sont exigées pour soutenir la planification et la mise en œuvre du projet? Y a-t-il la capacité interne pour exécuter le projet? Quels sont les coûts d'obtention d'une expertise externe pour le projet?
Sociaux	<ul style="list-style-type: none"> Qui sont les principaux intervenants qui devront être impliqués à diverses étapes du projet? La collectivité appuie-t-elle le projet? Les propriétaires de terrains visés appuient-ils le projet? Y a-t-il une opposition au projet?
Économiques	<ul style="list-style-type: none"> Quels sont les coûts prévus de la mise en œuvre du projet? Quelles sont les projections des répercussions climatiques sur les coûts et les bénéfices? Quels sont les bénéfices prévus, sachant qu'une fois que la mesure d'adaptation est en place, les montants épargnés s'accumulent chaque fois que le coût d'une catastrophe est évité? Quels sont les frais d'exploitation et d'entretien prévus? Quels sont les coûts de surveillance prévus? Quel est le budget total nécessaire pour exécuter le projet et le maintenir pour sa durée de vie prévue?

3.5 : Évaluation des coûts et bénéfices économiques

Lorsque vous choisissez des projets d'infrastructure naturelle ou grise, il est important de s'assurer que les deux options sont analysées, en comparant directement les coûts et bénéfices. À cette fin, les projets d'infrastructure grise devraient habituellement servir de référence pour l'évaluation coûts-bénéfices, et les répercussions économiques, environnementales et sociales de la mise en œuvre du projet d'infrastructure grise par rapport à une infrastructure naturelle devraient être évaluées en parallèle.

Comme le démontre l'étude de cas de PricewaterhouseCooper (PwC) Canada (étude de cas no 5), le cadre de travail de la VET peut servir à évaluer les répercussions économiques, environnementales et sociales associés à la mise en œuvre du projet. Les projets d'infrastructure naturelle ont une VET particulière en ce qu'elle divise la valeur économique d'un projet d'infrastructure naturelle en valeurs d'utilisation et valeurs de non-utilisation. Les valeurs d'utilisation peuvent être divisées en :

- valeurs d'utilisation directe, qui font référence aux utilisations actuelles, comme la chasse, la pêche, l'observation ornithologique et la randonnée pédestre;
- valeurs d'utilisation indirecte, qui font référence aux bénéfices dérivés des fonctions de l'écosystème, comme la filtration naturelle de l'eau, la protection contre les inondations et la séquestration de carbone; et
- les valeurs facultatives, qui sont les approximations de la volonté d'une personne à payer pour sauvegarder un actif aux fins de son utilisation à une date future.

Les valeurs de non-utilisation sont les valeurs que les gens attribuent aux services écosystémiques même s'ils n'ont ou n'utiliseront jamais ces services (par ex., protection des terres humides pour le plaisir des générations futures). Conformément, la VET de l'infrastructure naturelle est la somme et toute utilisation pertinente et des valeurs de non utilisation.⁸²

Pour calculer la VET de l'infrastructure naturelle, les bénéfices non fondés sur le marché associés aux fonctions écologiques que procure l'infrastructure naturelle doivent être monétisés. Certaines des techniques les plus couramment utilisées par les économistes pour monétiser les fonctions écologiques comprennent :

- **Les approches d'établissement du prix courant** qui reposent sur l'accessibilité du prix courant pour dériver les valeurs des biens et services écosystémiques. Par exemple, pour estimer la valeur de l'atténuation des inondations des terres humides, les chercheurs pourraient estimer le coût des dommages aux édifices attribuables aux pertes de terres humides et demander aux gens qui vivent dans ces immeubles combien ils sont prêts à payer pour éviter ces coûts. On pourrait aussi demander à ces personnes si elles sont prêtes à payer pour la construction et l'entretien de structures artificielles pour obtenir des avantages en termes de la réduction du risque d'inondation. Un autre exemple de l'approche d'établissement du prix courant est une méthode de coût de remplacement. Selon cette méthode, la valeur d'un service écosystémique donné est perçue comme le coût du remplacement de ce service par d'autres moyens. Par exemple, certaines études ont évalué l'eau potable que procure la protection du bassin-versant en utilisant les coûts épargnés pour ne pas avoir à construire une usine de filtration des eaux.⁸³

- **Les approches de préférence révélée**, qui estiment la valeur des services écosystémiques en observant les choix faits par les particuliers, qui peuvent être attribués à la façon dont ils valorisent les services écosystémiques; par exemple, le montant que les particuliers sont prêts à payer pour des maisons qui ont une vue directe sur le lac par rapport au montant qu'ils sont prêts à payer pour une maison semblable située plus loin du lac, peut servir à estimer la valeur esthétique attribuable au lac.
- **Les approches de préférence exprimée**, qui mesurent la volonté de la société à payer pour protéger les écosystèmes pour utilisation future. Par exemple, il peut s'agir de demander directement aux gens combien ils seraient prêts à payer pour une fonction écologique particulière ou le montant de compensation qu'ils seraient prêts à accepter pour abandonner une fonction écologique.

L'Annexe B décrit ces approches plus en détail et fournit une étude de cas dans laquelle une approche de préférence exprimée a été utilisée pour évaluer la valeur de la restauration de terres humides au Manitoba.

Étude de cas no 5 : Évaluation des avantages de l'infrastructure verte pour un terrain de stationnement public dans le sud de l'Ontario - VET

En 2017, Metrolinx, une agence du gouvernement de l'Ontario créée pour améliorer la coordination et l'intégration de tous les modes de transport dans les régions du Grand Toronto et de Hamilton, a retenu les services de PricewaterhouseCoopers (PwC) Canada, soutenus par Autocase, pour créer une méthodologie de VET pour tenir compte du capital environnemental et social dans l'analyse coûts-bénéfices des investissements dans l'infrastructure verte.⁸⁴

La méthodologie a été mise à l'essai dans le parc de stationnement de la station GO Mount Pleasant, situé à Brampton, sur la ligne Kitchener des trains GO. L'objectif de la mise à l'essai était de créer des facteurs à prendre en considération sur la façon dont la VET pourrait être intégrée à la planification du projet en capital de Metrolinx et la budgétisation (CapEx) et la planification/l'entretien et les processus budgétaires (OpEx).

PwC a comparé la valeur progressive du parc de stationnement conçu avec des caractéristiques d'infrastructure verte relatives à un scénario de référence sans caractéristiques vertes (Tableau 5).

Tableau 5 : Description des options de référence et du design de l'infrastructure verte pour un parc de stationnement public, sud de l'Ontario

	ROUTES EN ASPHALTE/PAVÉ, TROTTOIRS DE BÉTON ET CONDUITES D'EAUX	AMÉNAGEMENT PAYSAGER ET RIGOLES DE DRAINAGE	RÉSERVOIRS SOUTERRAINS
Scénario de référence	23 700 m ² , 600 espaces de stationnement	Aucun	Aucun
Design de l'infrastructure verte	23 700 m ² , nombre d'espaces de stationnement inconnu	3 800 m ²	220 m ² entreposage*

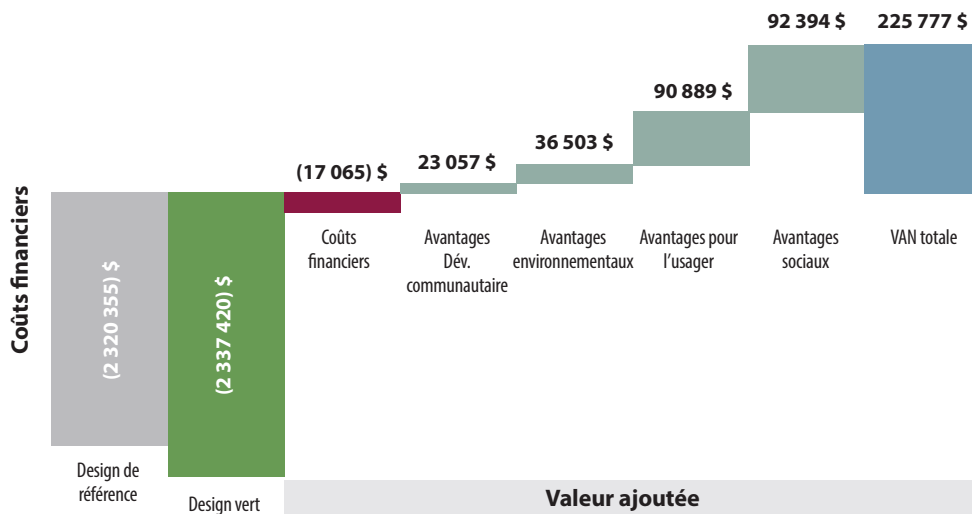
*Cette zone n'est pas comprise dans la superficie totale, car elle est souterraine.

Les coûts et bénéfices annuels associés avec chaque option de projet ont été évalués pour une période de 60 ans et transformés ensuite à une VAN en utilisant un taux d'actualisation de 3,5 %. L'analyse coûts-bénéfices comprend les considérations financières au niveau du site et les répercussions environnementales et sociales plus larges. L'Annexe A souligne les coûts et bénéfices financiers, environnementaux et sociaux applicables à une approche VET pour l'infrastructure verte prise en considération par PwC.

En appliquant l'analyse de la VET au parc de stationnement, PwC a conclu que l'investissement dans l'infrastructure verte au parc de stationnement de la station GO de Mount Pleasant, créerait une VAN de 225 777 \$ sur une période de 60 ans, comparativement à l'option de référence sans caractéristiques vertes. L'indice de rentabilité était de 12,35, avec une VAN du ratio coût initial de 8,95. De même, l'argument économique total pour le design d'infrastructure verte était convaincant : les avantages financiers, environnementaux et sociaux du design vert du parc de stationnement étaient plus de 10 fois plus élevés que l'investissement financier supplémentaire exigé pour soutenir les coûts d'exploitation marginalement plus élevés des caractéristiques de l'infrastructure verte.⁸⁵

De plus, le projet pilote illustre qu'en appliquant la VET aux projets d'infrastructure, on peut changer la perspective des coûts et bénéfices de manière importante. En vertu d'une analyse d'infrastructure grise artificielle traditionnelle (c'est-à-dire, l'analyse de référence), si l'on ne tient compte que des coûts financiers, la VAN serait de 2 320 355 \$. En vertu d'une analyse d'infrastructure verte, si l'on ne tient compte que des coûts financiers, la VAN serait de 2 337 420 \$. En appliquant le cadre de VET pour comparer les arguments de l'infrastructure de référence et de l'infrastructure verte, une compréhension plus robuste et holistique des coûts et bénéfices a été réalisée, ce qui s'est traduit par une VAN globale marginale de 225 777 \$ (Illustration 5).⁸⁶

Illustration 5 : Comparaison du design de référence et de l'infrastructure verte : coûts financiers, et avantages environnementaux et sociaux pour le parc de stationnement de la station GO de Mount Pleasant, Metrolinx (VAN par catégorie d'impact; en dollars de 2017; taux actualisé de 3,5 %)



L'étude de cas du parc de stationnement de la station GO de Mount Pleasant, menée par PwC et Autocase pour Métrolinx, démontre l'utilité d'un design vert pour le parc de stationnement dans le sud de l'Ontario. La méthode de la VET pourrait être étendue pour intégrer la résilience aux changements climatiques dans la conception et la planification d'un actif, menant vraisemblablement à une VAN encore plus élevée pour le design vert du parc de stationnement. Les parcs de stationnement occupent une part importante du portefeuille d'actifs de Metrolinx (Metrolinx est un des plus grands exploitants de parcs de stationnement publics en Amérique du Nord) et une part importante de l'environnement urbain au Canada.⁸⁷ De même, l'étude de cas démontre qu'en ce qui concerne les projets de (re)construction d'un parc de stationnement, les options de design d'infrastructure verte peuvent être économiquement viables et devraient être évaluées et prises en considération.

ENCADRÉ 2 : En ce qui a trait à l'évaluation des avantages économiques et des coûts associés aux projets d'infrastructure naturelle, il convient de faire la distinction entre les fonctions écologiques que ces projets présentent et les valeurs de l'écosystème que la société peut leur accorder. Les fonctions écologiques des terres humides, par exemple, dans les projets de restauration des terres humides, sont des processus naturels (physiques, chimiques et biologiques) qui sont associés aux terres humides et indépendants des avantages que ces processus ont pour les humains. Les valeurs des terres humides tiennent compte des services écosystémiques que les terres humides fournissent aux humains et les valeurs sociétales placées sur ces services. Pour toute fonction écologique donnée des terres humides, la valeur des terres humides associées peut différer en fonction des préférences individuelles ou de la collectivité, les fonctions écologiques n'ont pas de prix courant. Afin d'établir toutefois l'étude de cas pour la mise en œuvre d'un projet d'infrastructure naturelle, la monétisation des avantages non fondés sur le marché (par ex., protection de l'habitat, modération climatique, atténuation des inondations et valeur esthétique) est nécessaire.

Source : Hanson A. L., Swanson D., Ewing G., et coll. 2008. Rapport technique du Service canadien de la faune. Aperçu des méthodes d'évaluation des fonctions écologiques des terres humides.

3.5.1 : Mesure des avantages – Considérations pour les projets d’infrastructure naturelle

La technique de transposition des valeurs est souvent utilisée pour estimer les avantages monétaires des fonctions écologiques (par ex., création de l’habitat, entreposage de l’eau). Cette technique repose sur l’emprunt des valeurs unitaires (ou fonctions d’avantages créées pour évaluer la valeur d’une ressource naturelle sur un site et l’application de cette valeur unitaire à un autre site d’intérêt. Il faut toutefois être prudent lorsqu’on utilise la technique de transposition des valeurs, parce qu’il n’y a pas deux sites écologiques identiques et les relations entre les superficies totales et les avantages produits ne sont pas de parfaits analogues. Des terres humides plus grandes, par exemple, ont habituellement une plus grande capacité de réduire le volume de ruissellement et autres charges de polluants. De plus, la taille des terres humides n’a pas de relation linéaire avec sa capacité de supprimer les polluants. (À un certain point, la capacité de supprimer les polluants commence à diminuer par unité de surface d’une terre humide).⁸⁸ La morphologie de la terre humide peut aussi influencer sur l’efficacité de sa capacité à supprimer les polluants.⁸⁹

Étant donné que les projets d’infrastructure naturelle sont toujours particuliers au site et que chaque collectivité ne valorise pas les services écosystémiques de la même manière, la technique de transposition des valeurs augmente la possibilité et la magnitude des erreurs d’évaluation. Par conséquent, cette technique devrait être utilisée uniquement pour estimer les bénéfices de l’infrastructure naturelle, et ces estimations devraient être subséquemment confirmées par une analyse plus approfondie. Les études de site, par exemple, pour examiner les conditions du site local et les sondages menés auprès de la collectivité confirment à quel point les résidents locaux valorisent les fonctions écologiques à évaluer.⁹⁰

3.5.2 : Mesure des coûts – Considérations pour les projets d’infrastructure naturelle

Une gamme de facteurs influencent les coûts des projets d’infrastructure naturelle ou grise, y compris les objectifs du projet, la taille du projet, le choix du site, les complexités de l’ingénierie et de la construction, les exigences concernant l’entretien et la surveillance. Contrairement aux projets d’infrastructure grise, pour lesquels les coûts ont été documentés avec le temps, les compagnies qui font les travaux de restauration de l’infrastructure naturelle communiquent rarement la ventilation des coûts réels engagés. Conformément, les promoteurs de projets d’infrastructure naturelle devraient songer à obtenir des conseils d’expert (par ex., sociétés de génie-conseil, ingénieurs municipaux et offices de protection de la nature) pour évaluer ces coûts avant de commencer le projet.

Au minimum, l’analyse des coûts devrait tenir compte des coûts de préconstruction, de construction et de post-construction (Tableau 6). Les experts recommandent de réserver 15 % du coût projeté total pour tout ajustement potentiel, qui pourrait inclure l’enlèvement des espèces envahissantes, la replantation des terres humides ou des zones riveraines, ou la protection contre les animaux nuisibles.⁹¹

Tableau 6 : Considérations de coûts associés à la mise en œuvre d'un projet d'infrastructure naturelle (par étape clé du projet)

ÉTAPE	CONSIDÉRATION DE COÛTS
Préconstruction	<ul style="list-style-type: none"> • Collecte de données de référence • Consultation des intervenants • Identification du site • Évaluation des possibilités conceptuelles • Plan technique détaillé du concept choisi • Acquisition du terrain • Évaluation environnementale • Frais d'obtention de permis et frais juridiques • Créations de devis de construction • Créations de programmes de surveillance et
Construction	<ul style="list-style-type: none"> • Préparation du site (par ex., terrassement et enlèvement de débris) • Chantier
Post-construction	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien du site • Surveillance à l'aide des indicateurs de rendement clé • Évaluation et production de rapport
Administration	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion de projet et surveillance

Un certain nombre de facteurs peuvent influencer grandement le coût de la mise en œuvre d'un projet d'infrastructure naturelle, notamment :

- Le coût et le temps nécessaires pour l'obtention de permis, d'approbations et d'autorisations des gouvernements fédéral, provincial et local et des peuples autochtones, si nécessaire, pour le projet.
- La propriété du terrain qui est optimal pour la mise en œuvre du projet d'infrastructure naturelle (la propriété du terrain peut être privée).
- La disponibilité et la qualité des données de référence, qui peuvent grandement influencer le coût de la conception du projet. Par exemple, si les données nécessaires sont disponibles pour un projet de restauration des terres humides, l'étape de préconstruction peut représenter de 20 % à 30 % du coût global projeté. Si la disponibilité des données est limitée, le coût de préconstruction peut se situer entre 50 % et 55 % du coût global projeté.⁹²
- La création et l'évaluation des designs de rechange pour réaliser les objectifs du projet, par exemple, principalement le contrôle des inondations, l'atténuation de la sécheresse ou l'amélioration de la qualité de l'eau, ou des objectifs multiples, exigent habituellement une expertise en ingénierie.
- Le coût de la surveillance, qui devrait être plus intense durant les cinq premières années de la mise en œuvre du projet, avec des coûts plus faibles pour la surveillance à mi-terme (de cinq à dix ans) et la surveillance à long terme (10 ans ou plus). Le coût variera selon (1) les exigences réglementaires et (2) la durée prévue pour que le système d'infrastructure naturelle devienne un système établi. Une terre humide restaurée, par exemple, peut prendre de 60 à 100 ans pour être complètement établie (c'est-à-dire, pour atteindre les niveaux de productivité de terres humides intactes), avec la possibilité que des espèces envahissantes retardent davantage ce processus.^{93,94}

En plus des coûts directs susmentionnés, tous les projets devraient tenir compte des « coûts d'opportunité » connexes. Par exemple, si un projet d'infrastructure remplace un projet domiciliaire, le coût d'opportunité est l'avantage économique sacrifié attribuable aux charges d'aménagement du terrain et les impôts fonciers. Si un projet d'infrastructure naturelle prend place sur une terre agricole, alors le coût d'opportunité est la renonciation du revenu provenant des zones de récoltes perdues. Dans le sud de l'Ontario, le coût d'opportunité de l'aménagement d'un terrain agricole était estimé à 385,82 \$ par hectare annuellement.⁹⁵ En termes simples, une estimation exacte des coûts d'acquisition des terres doit être prise en compte dans l'analyse globale de l'investissement dans l'infrastructure naturelle.

Un exemple de l'estimation du coût est fourni par Canards Illimités Canada qui envisageait un projet de restauration des terres humides de 3 647 hectares dans le sous-bassin versant de la Black River dans le sud de l'Ontario (100 kilomètres au nord de la Ville de Toronto) et a conclu que le coût total par hectare pour restaurer la terre humide était de 27 66 \$, soit 100 890 608 \$ pour les 3 647 hectares. Lorsqu'on inclut le coût d'opportunité de la renonciation à l'utilisation du terrain (4 335 459 \$), le coût de restauration total augmentait à 105 226 067 \$. Le Tableau 7 décrit la composition de cette estimation de coût.

Tableau 7 : Coûts des composantes de la restauration des terres humides en fonction du coût par hectare dans le sud de l'Ontario

COMPOSANTE DE RESTAURATION DES TERRES HUMIDES	COÛT PAR HECTARE POUR LA RESTAURATION DES TERRES HUMIDES
Coûts préconstruction	8 645 \$
Coûts de construction	13 832 \$
Coûts de gestion future	3 458 \$
Coûts administratifs	1 729 \$
Total	27 664 \$

Source : Canards Illimités Canada, 2011. Étude de cas pour la protection des terres humides : Le sous-bassin versant de la Black River.

Les caractéristiques particulières au site peuvent faire en sorte que des projets d'infrastructure naturelle semblables peuvent différer largement de coûts, d'un facteur de cinq à 10. Par conséquent, il est essentiel d'analyser, à partir des données de référence, les caractéristiques uniques du site et de confirmer la transférabilité des estimations de coûts entre sites.⁹⁶

3.5.3 : Calcul de la valeur actualisée nette (VAN)

Après que les coûts et bénéfices ont été quantifiés en termes monétaires, la VAN du projet peut être calculée pour choisir l'option d'investissement optimale. Si la VAN est de zéro ou moins, alors l'investissement pourrait ne pas être justifié. Les projets ayant la VAN la plus élevée, peu importe si les solutions sont d'infrastructure naturelle ou grise, devraient être pris en considération en premier aux fins de mise en œuvre.

Lorsqu'on calcule la VAN, il convient de se rappeler que les projets artificiels ont une durée de vie opérationnelle limitée; la durée de vie moyenne d'un barrage construit pour atténuer les inondations est de 50 ans avant que des mises à niveau et travaux d'entretien importants soient nécessaires.⁹⁷ Par contre, les projets d'infrastructure naturelle peuvent durer plus longtemps. De plus, les projets d'infrastructure naturelle ont tendance à avoir une distribution de coûts et bénéfices inégale avec le temps. Par exemple, un projet de restauration des terres humides peut avoir des coûts initiaux plus élevés associés aux étapes de préconstruction et de construction, période au cours de laquelle aucun avantage n'est réalisé (par exemple, il faut de cinq à dix ans pour obtenir des avantages hydrologiques pour une terre humide construite et encore plus de temps pour obtenir des avantages biochimiques).⁹⁸

Par conséquent, un élément essentiel du calcul de la VAN d'un projet est l'utilisation du taux actualisé dans les calculs. Au Canada, le taux de préférence pour le présent était estimé à 3 %, ce qui peut être imputé aux projets d'infrastructure naturelle.⁹⁹ À ce jour, l'utilisation de ce taux pour les actifs naturels demeure controversée parce que l'actualisation diminue l'importance des événements dans un avenir lointain de même que le bien-être des générations futures (qui n'est pas toujours conforme aux principes de développement durable d'équité intergénérationnelle).¹⁰⁰

La formule standard pour calculer la VAN est illustrée ci-dessous, dans laquelle B_t et C_t sont les bénéfices et les coûts, t est un moment arbitraire dans l'avenir, T est la durée de vie prévue du projet et r est le taux actualisé. Notez bien que les coûts et bénéfices sont actualisés au même taux.

$$NAV = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t}$$

3.5.4 : Tenir compte de l'incertitude dans les calculs

Divers facteurs peuvent avoir des répercussions sur l'exactitude des calculs des bénéfices nets pour les projets d'infrastructure naturelle et d'infrastructure grise. Ces facteurs comprennent les hypothèses au sujet des changements climatiques, de l'utilisation des terres et du rendement de l'écosystème.

Pour un projet de restauration des terres humides, les risques suivants peuvent représenter des coûts supplémentaires et avoir des répercussions sur les calculs de la VAN.

- **Pollution :** C'est le facteur dominant qui influence la capacité des terres humides à exécuter leurs fonctions d'écosystème. Par exemple, les processus associés à l'atténuation des inondations des terres humides interagissent avec les nutriments et la rétention des sédiments et améliorent habituellement la qualité de l'eau en aval. D'un autre côté, les dépôts d'excréments de la faune sauvage et des oiseaux dans un habitat nouvellement restauré peuvent pénétrer dans les eaux pluviales ou infiltrer l'eau souterraine, entraînant une dégradation de la qualité de l'eau, la pollution de l'eau souterraine et des préoccupations pour la santé.¹⁰¹

- **Changements climatiques :** Dans des conditions de climat sec, les fonctions des terres humides peuvent être affectées par les réductions de la nappe phréatique, ce qui entraîne une augmentation de la production de dioxyde de carbone.¹⁰²
- **Changements dans la végétation :** L'invasion d'espèces exotiques peut altérer la fonction de l'écosystème, lorsque des laiches envahissantes, de l'herbe ou des joncs remplacent les plantes indigènes des terres humides.

Pour parer à l'incertitude, une pratique exemplaire émergente est la simulation de la performance du système avec le plus de données climatiques synthétiques possible (par ex., données obtenues par des modèles climatiques, et non pas par des mesures directes) pour estimer la distribution de probabilité de la VAN (par ex., pour estimer la probabilité de réaliser divers niveaux de VAN). Les techniques de simulation probabiliste (simulations de Monte-Carlo) peuvent servir à traiter l'incertitude inhérente des calculs de la VAN. Les simulations de Monte-Carlo permettent aux utilisateurs d'effectuer une analyse de risque en substituant une gamme de valeurs (une distribution de probabilité) à toute variable qui a une incertitude inhérente, de sorte que plusieurs possibilités du projet puissent être modélisées. Une simulation de Monte-Carlo peut être exécutée dans Excel et plusieurs autres programmes. Ces programmes génèrent aléatoirement des valeurs possibles pour chaque variable, selon les intervalles de confiance estimés et les types de distribution de probabilité. L'ordinateur calcule ensuite une distribution de probabilité pour le résultat (par ex., la VAN). L'Annexe C souligne certains programmes déjà offerts qui font le calcul des incertitudes pour les projets d'infrastructure naturelle.

3.6 : Design, construction et entretien

Après que le projet d'infrastructure naturelle ou d'infrastructure grise a reçu l'autorisation de procéder, un plan technique détaillé du concept choisi prend place. Selon la complexité du design, l'étape de construction peut s'échelonner de quelques semaines à plusieurs années.¹⁰³ Il convient de noter que tout comme les projets d'infrastructure grise, les projets d'infrastructure naturelle sont également sensibles aux saisons et à la température. Par conséquent, les échéanciers de constructions et les plans doivent tenir compte de ces réalités pour s'assurer que l'exécution du projet soit dans les délais et le budget prévus. Après la construction du projet, sa réussite à plus long terme dépend souvent de l'exploitation et de l'entretien réguliers. Les activités d'exploitation et d'entretien et les coûts connexes doivent être pris en compte pour la durée de vie du projet, peu importe s'il s'agit d'une solution d'infrastructure naturelle ou grise.

Les projets de restauration des terres humides ont trait à l'infrastructure naturelle. Voici les étapes clés de la construction :

- mobilisation (les entrepreneurs amènent l'équipement et les matériaux);
- démolition des structures et déménagement des services publics (par ex., lignes de transmission et câbles);
- déboisement et essouchement des arbres et broussailles;
- excavation du terrassement et nivellement (enlèvement jusqu'à six pouces du sol);
- préparation du sol; et
- plantation et irrigation.¹⁰⁴

Les activités d'entretien régulier pour un projet de restauration des terres humides pourraient typiquement inclure :

- ajustement annuel des déversoirs, de la végétation et des structures de contrôles des eaux, et lutte contre les prédateurs et les moustiques;

- fauchage de la végétation et réparation des structures de contrôle des eaux (par ex., digues, levées, bermes) au besoin; et
- entretien des structures de contrôle des eaux qui servent à obtenir le niveau de l'eau et les conditions de débit en aval souhaités.¹⁰⁵

Des bénévoles de la collectivité fournissent parfois des services d'entretien au projet d'infrastructure naturelle. Bien que cette approche soit rentable, il y a un risque que les bénévoles de la collectivité ne soient pas en mesure d'effectuer l'entretien nécessaire à long terme. De plus, certaines activités d'entretien exigent une expertise professionnelle qui devrait être obtenue contractuellement. Par exemple, des entrepreneurs spécialisés devraient exécuter l'enlèvement et la disposition réguliers des sédiments contaminés des projets de restauration des terres humides qui nécessitent une décontamination.

3.7 : Surveillance et production de rapport

3.7.1 : Surveillance de la performance

Un programme robuste de surveillance s'étend à toutes les étapes clés du projet, de la préconstruction à la construction et la post-construction. Pour suivre la performance du projet par rapport aux objectifs du concept, les étapes clés du projet sont sélectionnées au début du projet. Les documents publiés sur les méthodes de sélection des étapes clés du projet mettent l'accent sur l'importance de choisir des indicateurs qui sont pertinents, analytiquement solides et mesurables (Tableau 8).¹⁰⁶

Tableau 8 : L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) – Critères pour la sélection d'indicateurs environnementaux

Pertinence politique et utilité pour les utilisateurs	<p>Un indicateur environnemental devrait :</p> <ul style="list-style-type: none"> • dresser un portrait des conditions environnementales et des pressions sur l'environnement ou les réponses de la société; • être simple, facile à interpréter et capable d'illustrer les tendances avec le temps; • être en mesure de réagir aux changements de l'environnement et aux activités humaines connexes; • fournir de base pour les comparaisons internationales; • être d'envergure nationale ou applicable à des questions environnementales régionales d'importance nationale; et • être doté d'un seuil ou d'une valeur de référence à laquelle il peut être comparé, de sorte que les utilisateurs puissent accéder aux valeurs importantes qui y sont associées.
Solidité analytique	<p>Un indicateur environnemental devrait :</p> <ul style="list-style-type: none"> • être théoriquement bien fondé en termes techniques et scientifiques; • se fonder sur des normes internationales et le consensus international quant à sa validité; et • se prêter aux modèles économiques, et aux systèmes de prévisions et d'information.
Mesurabilité	<p>Les données nécessaires au soutien de l'indicateur devraient être :</p> <ul style="list-style-type: none"> • déjà disponibles ou être offertes à un rapport coûts-bénéfices raisonnable; • adéquatement documentées et de qualité, et • mises à jour à intervalles réguliers conformément aux procédures fiables.

Remarque : Alors que les indicateurs sont utilisés à diverses fins, il convient de définir les critères généraux pour la sélection d'indicateurs et la validation des choix. Trois critères de base sont utilisés dans les travaux de l'OCDE : pertinence politique et utilité pour les utilisateurs, solidité analytique et mesurabilité. Ces indicateurs décrivent l'indicateur idéal; ce ne sont pas tous les critères qui sont satisfaits dans la pratique. Adapté de : OCDE. 2003. Environmental Indicators. Development, Measurement and Use.

Étant donné que les projets d'infrastructure naturelle ont une longue durée de vie avant de devenir durables (par ex., de 50 à 70 ans pour les terres humides, de 75 à 150 ans pour les forêts), il est important de tenir compte de la rentabilité des coûts de la collecte des données et des programmes de surveillance à court, à moyen et à long terme, et de choisir les indicateurs appropriés.

Lors de la création d'un programme de surveillance, les promoteurs de projet d'infrastructure naturelle devraient décrire les indicateurs à mesurer (par ex., à quel endroit, à quel moment et pendant combien de temps). Par exemple, pour suivre l'efficacité des terres humides restaurées à l'égard des nutriments cycliques et l'amélioration de la qualité de l'eau, les programmes de surveillance devraient indiquer l'endroit où ont été prélevés les échantillons et le programme d'échantillonnage. Les indicateurs peuvent comprendre :

- la demande biochimique en oxygène ultime (mg/L);
- la demande biochimique en oxygène après cinq jours (mg/L) ;
- la concentration d'oxygène dissous (mg/L);
- la température en eau libre des terres humides (°C);
- le total des solides en suspension (mg/L); et
- le total des solides dissous (mg/L).

La participation des bailleurs de fonds du projet, des partenaires et des intervenants clés est souvent utile dans la sélection des indicateurs pertinents. De plus, lorsque les promoteurs du projet doivent fournir des permis réglementaires ou une évaluation environnementale, il peut être nécessaire d'obtenir une expertise externe pour surveiller les indicateurs de performance en fonction du permis prescrit et des paramètres de l'évaluation environnementale.¹⁰⁷

3.7.2 : Surveillance du risque

Du début à la fin, chaque projet, qu'il s'agisse d'une infrastructure naturelle ou grise, est exposé au risque. Certains risques peuvent être anticipés et évalués du point de vue de leurs répercussions et probabilité de survenance.

Par exemple :

- les projets qui nécessitent une évaluation environnementale et des permis courent le risque de retards dans le processus d'approbation;
- des événements météorologiques extrêmes peuvent affecter l'échéancier de construction; et
- un environnement économique changeant peut affecter la disponibilité ou la continuité du financement du projet.

Les promoteurs du projet devraient surveiller et gérer les risques pertinents. Un registre des risques peut suivre les nouveaux risques et les risques émergents, de même que documenter les mesures d'atténuation des risques et les parties responsables. Le Tableau 9 est un exemple de registre des risques.

Tableau 9 : Exemple de registre des risques

DESCRIPTION DU RISQUE	PROBABILITÉ (FAIBLE, MOYENNE, ÉLEVÉE)	RÉPERCUSSIONS (FAIBLE, MOYENNE, ÉLEVÉE)	GLOBAL	STATUT (DATE)	ATTÉNUATION	ASSIGNÉ ACTIONS	ASSIGNÉ À
entrez la date ici	entrez la date ici	entrez la date ici	entrez la date ici	entrez la date ici	entrez la date ici	entrez la date ici	entrez la date ici

3.7.3 : Évaluation des résultats et production de rapport

Le recours consciencieux et délibéré à l'infrastructure naturelle pour l'adaptation aux changements climatiques est toujours une nouvelle approche. À cet égard, il est essentiel de documenter les bénéfices par rapport aux coûts dégagés des projets de protection de l'infrastructure naturelle et des projets de restauration. Ces renseignements constituent la base d'une évaluation de l'optimisation des ressources des solutions de l'infrastructure naturelle par rapport à l'infrastructure grise et sont essentiels à l'étude de case de chaque solution.

Chapitre 4 : Mécanismes supplémentaires pour promouvoir l'infrastructure naturelle

Pour faire progresser la perception et la prise en charge de l'infrastructure naturelle comme un moyen rentable et pratique de limiter les dommages causés par une inondation au Canada, songez aux étapes suivantes.

- **Évaluation de la VET de l'infrastructure naturelle dans le cadre de la planification de l'utilisation des terres et des décisions d'investissement dans l'infrastructure.** L'utilisation de la VET peut changer grandement la perception des coûts et bénéfices. En ne tenant compte que des coûts financiers de ces projets, vous risquez de sous-estimer la valeur de la protection ou de la restauration des actifs de l'infrastructure naturelle. L'application du cadre de la VET permet une compréhension plus solide et holistique des coûts d'investissement et des bénéfices. Cela comprend une évaluation des répercussions sociales environnementales plus large. Vous trouverez l'évaluation de la VET dans le Guide d'analyse coûts-avantages pour le Canada mis au point par le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada et dans le cadre de travail de l'évaluation de l'infrastructure naturelle contenue dans le présent rapport.¹⁰⁸
- **Établissement de modèles de financement durable pour la protection et la restauration de l'infrastructure naturelle.** Les exemptions d'impôt pour la protection des terres peuvent être un moyen d'inciter les propriétaires de terrains privés à protéger leur terre et à conserver son état sain et naturel. Par exemple, l'Ontario a mis en place le Programme d'encouragement fiscal pour les terres protégées (PEFTP) pour soutenir l'intendance privée à long terme des zones naturelles importantes de la province de l'Ontario.^{109 110} En vertu du PEFTP, des parties des terres du propriétaire qui ont des caractéristiques d'héritage naturel admissibles peuvent obtenir une exemption d'impôt foncier de 100 %. Les leçons retenues de la mise en œuvre du PEFTP devraient être explorées plus à fond pour comprendre l'utilité du programme aux fins d'un déploiement au Canada. D'autres programmes comme les Services d'utilisation plus rationnelle des terres (« alternative Land Use Services » dont l'acronyme est « ALUS ») ne reconnaissent pas seulement l'infrastructure naturelle comme un actif municipal intégré aux décisions de gestion des actifs municipaux, ils ont en fait encouragé les propriétaires de biens-fonds à restaurer, rehausser et construire des zones naturelles sur les terres agricoles. ALUS Canada offre un soutien financier et programmatique aux fermiers et grands éleveurs qui restaurent et entretiennent les terres humides, les prairies et les zones riveraines. Ses projets sont conçus conformément aux meilleures données scientifiques disponibles et sont vérifiés par des tiers.¹¹¹ Il est important de quantifier les liens économiques entre la mise en œuvre de telles mesures et les épargnes connexes dont bénéficient les municipalités environnantes. Sans une telle quantification, ces programmes peuvent être difficiles à soutenir politiquement.
- **Établissement de mécanismes et de critères qui reconnaissent explicitement les besoins programmatiques uniques de la mise en œuvre efficace de solutions d'infrastructure naturelle dans des cadres de travail élargis du financement de l'infrastructure.** La nature à plus petite échelle et distribution de l'infrastructure naturelle la rend difficile à inclure dans la structure des programmes de financement d'infrastructure traditionnelle. Les critères, notamment l'admissibilité, les échéanciers, les seuils d'investissement et les exigences de congruence, peuvent être créés précisément pour soutenir les propositions d'infrastructure naturelle des municipalités, des provinces et des ONG. Par contre, des programmes totalement distincts constitueraient une réponse efficace à la réalité, à savoir que les municipalités continueront de favoriser la création de projets d'infrastructure grise à forte intensité en capital et

de plus grande envergure par rapport aux plans d'infrastructure naturelle à budget plus modeste lorsqu'ils se feront concurrence dans les mêmes régimes de financement. Le programme de résilience et de remise en état des bassins versants de l'Alberta, créé à la suite des inondations dévastatrices à Calgary en 2013, est un modèle exemplaire de financement d'infrastructure naturelle qui soutient la planification des lignes de partage des eaux, la conception et la mise en œuvre de projet sur des terres publiques et privées qui occupent une priorité élevée en matière d'atténuation des inondations et de la sécheresse.

- **Collaboration avec les municipalités, la nouvelle Banque de l'infrastructure du Canada et le secteur financier pour créer et mettre en place de nouveaux instruments financiers pour accélérer l'investissement et la mise en œuvre de l'infrastructure naturelle.** La nouvelle Banque de l'infrastructure du Canada a été expressément créée pour aider les municipalités à financer le développement de l'infrastructure en utilisant un horizon de financement à plus long terme et pour donner aux investisseurs des occasions de financement d'une telle infrastructure de manières novatrices. Étant donné la structure coûts-bénéfices à plus long terme de l'infrastructure naturelle et le rendement à long terme plus élevé sur les investissements qu'elle procure, la Banque de l'infrastructure du Canada devrait songer à des programmes novateurs dans ce secteur. De plus, le G7 a commencé à examiner les mécanismes d'assurance qui fournissent des incitatifs de prime explicites en reconnaissance de la réduction du risque que procure l'infrastructure naturelle dans les régions côtières. Les récifs de corail, les îles-barrières et les mangroves fournissent une protection efficace contre les tempêtes tropicales et les ouragans, et les réassureurs ont examiné des moyens d'inciter la protection de cette infrastructure côtière naturelle afin de réduire les sinistres côtiers. Les obligations-catastrophes sont des titres reliés aux risques qui transfèrent le risque aux investisseurs en échange d'un rendement sur l'investissement. Le prix de ces obligations pourrait être tel qu'il servirait d'incitatif à la protection l'infrastructure naturelle, diminuant ainsi le risque.
- **Création de forums pour rassembler les groupes qui sont traditionnellement responsables de la protection de l'infrastructure naturelle (par ex., les offices de protection de la nature et les ONG environnementales), les municipalités, les investisseurs institutionnels et les assureurs pour fournir les solutions fondées sur le marché.** À l'heure actuelle, l'expertise en ce qui concerne la valeur de l'infrastructure naturelle est isolée de la communauté des placements et des professionnels de la finance qui sont en mesure de mettre au point de nouveaux instruments fondés sur le marché. Sous l'égide du Programme des Nations Unies pour l'environnement, la Convention pour la biodiversité biologique et des travaux internes sur les Finances durables, ces barrières commencent à être abolies. Par contre, des forums spécifiques plus nettement enracinés dans le secteur des finances sont nécessaires pour attirer les innovateurs financiers dont on a besoin pour surmonter les défis qui ont empêché de traiter l'infrastructure naturelle comme autre chose qu'une externalité. Les investisseurs institutionnels peuvent jouer un rôle crucial en finançant la prise en charge de solutions d'infrastructure naturelle au Canada. Par exemple, les principales banques du Canada offrent déjà des produits financiers (par ex., obligations vertes et résilience au climat) qui aident à financer les projets de protection et de restauration au Canada. Les études sur la façon dont ces groupes ont été traditionnellement responsables de la protection de l'infrastructure naturelle peuvent interagir avec les investisseurs institutionnels pour offrir des solutions fondées sur le marché constituent une prochaine étape valable.

Chapitre 5 : Conclusion

Les initiatives du gouvernement pour limiter les risques d'inondation sont conformes à la responsabilité fiduciaire de bonne gouvernance et la réitérent. Alors que cette responsabilité va probablement augmenter avec les changements climatiques et les événements météorologiques extrêmes qui empirent, les gouvernements devraient songer à l'utilité de l'infrastructure naturelle, de même qu'aux solutions d'infrastructure grise, pour limiter les risques d'inondation dans tous les territoires de compétence.

Au Canada, plusieurs facteurs limitent l'adoption plus large des solutions d'infrastructure naturelle pour la réduction du risque de catastrophe et l'adaptation au climat. Ces facteurs comprennent le manque de directives détaillées pour l'évaluation des études de cas des projets d'infrastructure naturelle, le manque de données comparables relativement aux coûts et bénéfices actuels associés à la mise en œuvre et à l'entretien des projets d'infrastructure naturelle et le manque de mécanismes de financement durable et de programmes pour pondérer l'adoption d'une infrastructure naturelle. En démontrant que les collectivités peuvent évaluer les options d'infrastructure grise et d'infrastructure naturelle par rapport à une norme commune, nous espérons favoriser l'utilisation plus étendue de l'infrastructure naturelle dans les circonstances où c'est la meilleure solution.

Ce rapport a présenté un cadre de travail pour la mise en œuvre de l'infrastructure naturelle qui améliore l'analyse d'optimisation des ressources des projets d'infrastructure naturelle au Canada. Le cadre de travail bénéficie aux promoteurs de projets d'infrastructure naturelle qui visent à communiquer l'étude de cas pour leurs projets de protection ou de restauration, de même qu'aux investisseurs potentiels qui doivent faire preuve de diligence et démontrer l'impact de leurs investissements dans l'infrastructure naturelle. Infrastructure Canada pourrait aussi utiliser le cadre de travail proposé pour ordonner les dépenses d'infrastructure verte, comme le pourraient les fonds de dotation et les fondations de sociétés qui cherchent à financer des projets d'infrastructure naturelle.

Malgré la gamme d'avantages qu'offre l'infrastructure naturelle pour atténuer le risque de catastrophe et l'adaptation au climat, le Canada continue de subir la perte de terres humides, de forêts et de végétation. Cette perte est particulièrement marquée dans les régions du sud où la croissance de la population, l'expansion agricole et le développement urbain sont plus prononcés.

De même, les investissements dans des projets d'infrastructure naturelle ne sont pas faits à une échelle et à un taux qui pourraient remédier et compenser la perte d'infrastructure naturelle. Il s'agit là d'une omission importante au moment où le Canada s'est engagé à lutter contre les répercussions des changements climatiques en vertu de l'Accord de Paris, du Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe des Nations Unies, du Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques, chacun soulignant la nécessité de protéger l'infrastructure naturelle.

Le présent rapport présente un moyen pour le Canada de remplir ses engagements à l'égard du climat tant au niveau international qu'au niveau national, par l'entremise de la protection et de la restauration de l'infrastructure naturelle qui est omniprésente par sa nature, rentable par chance, et sous-utilisée jusqu'à présent.

Annexe A : Infrastructure verte - Une approche de VET par PwC Canada

En 2017, Metrolinx, une agence du gouvernement de l'Ontario créée pour améliorer la coordination et l'intégration de tous les modes de transport dans les régions du Grand Toronto et de Hamilton, a retenu les services de PwC Canada pour créer une méthodologie de VET pour tenir compte du capital environnemental et social dans l'analyse coûts-bénéfices des investissements dans l'infrastructure verte. Le tableau ci-dessous souligne les coûts financiers, environnementaux et sociaux et les bénéfices associés à l'approche de VET pour l'infrastructure verte qui a été imputée à cette analyse.

CATÉGORIE D'IMPACT	IMPACT	DESCRIPTION
Financier (interne)	Coût du capital	Différence de coût de capital entre les options vertes et le design de référence.
Financier (interne)	Frais d'exploitation et d'entretien	Différence de frais d'exploitation entre les options d'infrastructure verte et le design de référence pour la période complète d'évaluation.
Financier (interne)	Coût de remplacement	Différence de coût pour remplacer les actifs lorsqu'ils atteignent leur durée de vie utile durant la période d'évaluation entre les options d'infrastructure verte et le design de référence.
Financier (interne)	Valeur résiduelle de l'actif	Différence dans la durée de vie utile des actifs qui reste à la fin de la période d'évaluation entre les options vertes et le design de référence.
Financier (interne)	Coût des services publics	Différence de coût de l'électricité et du gaz naturel entre les options d'infrastructure verte et le design de référence en raison de l'ombrage et des charges réduites de chaleur et de refroidissement des édifices situés à proximité.
Utilisateur (interne)	Valeur de l'ambiance	Valeur inhérente des améliorations à l'ambiance en raison des caractéristiques vertes monétisées comme une fonction du temps que l'utilisateur passe sur le site.
Environnementale (externe)	Séquestration de carbone	Les avantages de la séquestration de carbone sur la végétation du site et les émissions plus faibles de gaz à effet de serre qui résultent de la réduction de l'utilisation d'énergie sur le site et une énergie intrinsèque plus faible des matériaux de construction de l'option verte, monétisée en utilisant le coût social du carbone.
Environnemental (externe)	Pollution de l'air	Réduction des critères d'émissions de contaminants de l'air dans l'option verte en raison de l'utilisation de la végétation et de l'utilisation énergétique plus faible, monétisée en utilisant le coût social des différents polluants de l'air.
Environnemental (externe)	Qualité de l'eau	Les améliorations à la qualité de l'eau en raison de la réduction des déversements d'égout attribuables à une capacité accrue de conservation et d'infiltration du site/de l'édifice, monétisées par l'évitement des coûts de traitement des eaux pluviales ou les estimations concernant la volonté de payer pour les améliorations à la qualité de l'eau.
Social (externe)	Risque d'inondation	Réduction du risque d'inondation des crues en remplaçant les surfaces imperméables (par ex., l'asphalte, le béton et paroi d'étanchéité) par des surfaces perméables comme la végétation, le gazon, des arbres, des matières poreuses ou des toits verts, monétisés par l'estimation du pourcentage d'atténuation des volumes d'inondation et des dommages.
Social (externe)	Réduction de l'îlot thermique urbain	Le refroidissement des températures ambiantes résultant de l'augmentation de la végétation et du remplacement de l'asphalte ou autres matériaux de surface réfléchissants, par des matériaux blancs/ou non-réfléchissants; cela entraîne des répercussions positives sur la morbidité reliée à la chaleur et une réduction des coûts de santé.
Aménagement communautaire (externe)	Valeur des propriétés	Valeur ascendante des propriétés dans les zones environnantes en raison des améliorations à la valeur esthétique associée à l'infrastructure verte.
Aménagement communautaire (externe)	Avantages de l'usage communautaire	Valeur inhérente des services communautaires associés aux caractéristiques vertes (par ex., espaces récréatifs).
Aménagement communautaire (externe)	Salaires virtuels	Réduction du niveau de pauvreté local attribuable à une augmentation des emplois en raison de la construction, de l'exploitation et de l'entretien associés à l'ajout des caractéristiques vertes.

Source : PricewaterhouseCoopers Canada LLP, 2017. *Assessing Green Infrastructure Benefits for Mount Pleasant GO Station Parking Lot Infrastructure Project*. Préparé pour Metrolinx.

Annexe B : Approches d'évaluation du marché direct, de l'évaluation du marché indirect et d'évaluation fondée sur des enquêtes¹¹²

Approches fondées sur le prix courant

MÉTHODE D'ÉVALUATION	DESCRIPTIONS	AVANTAGES	DÉSAVANTAGES
Prix courant	La méthode du prix courant estime la valeur économique des produits ou services écosystémiques qui sont achetés et vendus dans des marchés commerciaux.	Les données concernant le prix, la quantité et le coût sont relativement faciles à obtenir pour les marchés établis.	La valeur économique réelle des biens ou services peut ne pas entièrement tenir compte des transactions du marché en raison des imperfections du marché ou de l'échec des politiques.
Fondée sur le coût	Cette méthode évalue les avantages économiques des biens ou services écosystémiques donnés en utilisant la valeur du marché d'un substitut négocié sur le marché, ou le coût des mesures nécessaires pour éviter les dommages environnementaux.	Les données du marché sont disponibles et robustes.	Ce n'est pas une mesure réelle du bien-être économique.
Fonction de production	L'approche de la fonction de production est une technique économique courante qui concerne les résultats des différents niveaux de saisie des données des soi-disant coefficients de production (terrain, main-d'œuvre, capital, matières premières).	Cette approche est intuitive et pratique et elle est donc populaire auprès des décideurs.	Préciser une relation biophysique peut être complexe ou consommer un grand volume de données.

Approches de préférence révélée

MÉTHODE D'ÉVALUATION	DESCRIPTIONS	AVANTAGES	DÉSAVANTAGES
Coût du trajet	La méthode du coût du trajet sert surtout à estimer les valeurs de l'usage direct associées à des sites récréatifs. Le temps des visiteurs et les frais pour visiter un site particulier sont utilisés pour représenter la valeur de ce site.	Utile pour l'observation des comportements actuels ou potentiels. Peut servir à comprendre l'impact de la restauration sur les usagers récréatifs. Peut faire la différence entre les divers types d'usagers.	Biais potentiel dans le choix des variables dépendantes dans les trajets à usages multiples, avec un enregistrement erroné des préférences et techniques statistiques.
Prix hédonistes	La méthode hédoniste sert à évaluer les installations environnementales qui affectent le prix des propriétés résidentielles. Il est particulièrement approprié pour évaluer les projets dans un cadre urbain.	Utile pour l'observation des comportements actuels des consommateurs. Peut servir à évaluer les répercussions potentielles sur les valeurs des propriétés, les préférences par propriétaires pour la durée et le niveau de restauration.	Consomme un grand volume de données et est limité principalement aux données touchant la propriété.
Comportement d'évitement	Cette méthode est similaire à la méthode du prix du trajet, mais diffère en ce sens qu'elle suppose des valeurs obtenues de l'observation sur la façon dont les particuliers modifient leur comportement en réponse aux changements dans la qualité de l'environnement, de la santé ou de la sécurité.	Se fonde sur le comportement et les dépenses. Relativement facile à estimer.	N'est pas une mesure réelle du bien-être économique. L'évitement des dépenses et la qualité environnementale sont rarement de parfaits substituts.

Approches de préférence exprimée

MÉTHODE D'ÉVALUATION	DESCRIPTIONS	AVANTAGES	DÉSAVANTAGES
Méthode d'évaluation des contingences	Cette méthode vise à demander directement aux gens combien ils seraient prêts à payer pour des services environnementaux spécifiques ou à leur demander quel montant de compensation ils seraient prêts à accepter pour abandonner des services environnementaux particuliers.	Extrêmement souple, permet de créer une valeur monétaire pour à peu près tout. A été largement utilisée, et bon nombre d'études sont menées pour améliorer la méthodologie, ce qui rendra les résultats plus valides et fiables.	Les réponses pourraient être biaisées, marché hypothétique (non fondé sur le comportement observé).
Classement contingent	On demande aux répondants de classer les différentes combinaisons de qualité environnementale et les coûts par ordre décroissant de préférence.	Il est plus facile pour les répondants de définir le plan conceptuel lorsqu'ils font face à la situation d'accorder une valeur monétaire sur un bien non marchand, relativement à la procédure d'évaluation des contingences.	Exige un échantillon plus grand que pour la méthode d'évaluation des contingences et il est plus difficile de créer une mesure du bien-être économique.
Modélisation sélective	On demande aux participants de faire un choix parmi un certain nombre de choix caractérisés par leurs attributs bénéfiques principaux.	Permet à l'analyste de mieux cerner la complexité du comportement du choix du consommateur. L'approche de questions répétées peut fournir des renseignements supplémentaires sur l'uniformité des réponses.	Exige une expertise spécialisée qui fait en sorte que la modélisation sélective crée des mesures du bien-être économique.

Exemple d'approche fondée sur la préférence déclarée dans l'estimation des avantages de la rétention et la restauration des terres humides dans le sud du Manitoba

En 2009, des chercheurs de l'université de l'Alberta et Canards Illimités Canada estimaient les bénéfices de la restauration des terres humides au Manitoba.¹¹³ Les terres humides du bassin-versant de Broughton's Creek, la municipalité rurale de Blanshard dans le sud-ouest du Manitoba, étaient présumées représenter adéquatement l'état des terres humides de toute la Région des Marmites torrentielles des Prairies de la province.

En premier lieu, les chercheurs ont utilisé l'imagerie satellite et l'analyse du système d'information géographique (SIG) pour estimer le taux de perte de terres humides au Manitoba et ont établi qu'environ 7 406 acres de terres humides non perturbées existaient dans le bassin-versant de Broughton's Creek en 1968, comparativement à 5 874 acres en 2005. La perte globale de terres humides de 1 532 acres (77 % du niveau de 1968) indiquait un taux moyen de perte de 0,57 % par année au sein du bassin-versant. En extrapolant à toute la région des Marmites torrentielles des Prairies (1 044 102 acres en 2005), Canards Illimités Canada estimait que 1 355 977 acres de terres humides en 1998 allaient décliner à environ 7 700 acres par année.¹¹⁴

Deuxièmement, en utilisant les données de surveillance des terres humides, les chercheurs ont établi que dans le bassin-versant de Broughton's Creek, les terres humides pourraient fournir les avantages suivants (par acre, par année) :

- filtrer environ 0,043 kg d'azote et 0,009 kg de phosphore;
- entreposer 4 tonnes d'équivalents de dioxyde de carbone;
- maîtriser 6,5 tonnes d'érosion du sol; et
- conserver 1 200 m³ d'eaux pluviales.

Troisièmement, ces avantages ont été documentés et communiqués à un groupe de 1 900 participants à un sondage à qui on a demandé d'évaluer leur volonté de payer (VDP) pour recevoir les avantages respectifs des terres humides selon cinq scénarios différents de rétention et de restauration à l'égard du design de référence de 1968 :

1. rétention complète des terres humides à 77 %;
2. restauration à 80 %;
3. restauration à 83 %;
4. restauration à 89 %; et
5. restauration à 100 %.

Les participants au sondage ont été choisis comme un échantillon représentatif de la population de la province en termes de revenu, de répartition hommes-femmes, de taille du ménage et de l'état matrimonial.

À titre approximatif de leur VDP, les chercheurs ont utilisé une augmentation des impôts sur le revenu sur une période de cinq ans. Par conséquent, les répondants au sondage ont pris une décision éclairée au sujet des compromis entre les augmentations de l'impôt sur le revenu des particuliers et les avantages de la protection des terres humides.

Le tableau ci-dessous souligne les résultats du sondage, dans lequel les participants ont indiqué leur volonté d'accepter une augmentation des impôts sur le revenu pour divers scénarios de restauration des terres humides (en 2009) pour toute la région des Marmites torrentielles des Prairies au Manitoba.

Volonté d'accepter une augmentation d'impôt sur le revenu pour divers scénarios de restauration des terres humides (Bassin-versant de Broughton's Creek, municipalité rurale de Blanshard, sud-ouest du Manitoba)

	77 % CONSERVATION	80 % RESTAURATION	83 % RESTAURATION	83 % RESTAURATION	89 % RESTAURATION
Moyenne annuelle de la VDP par ménage	294,02 \$	304,36 \$	313,16 \$	329,84 \$	357,75 \$

La série de paiements pour la restauration (niveau i) a été actualisée en utilisant la formule VAN :

$$VAN = \sum_{t=1}^5 \frac{VDP_i^t}{(1+r)^t}$$

où VDP_i^t est la VAN estimée pour le programme des terres humides i pour la période t , et r est le taux actualisé.

La VAN pour la conservation et la restauration des terres humides dans toute la région des Marmites torrentielles des Prairies dans la province a été estimée en multipliant la VDP actualisée du ménage par le nombre total de ménages au Manitoba, actualisé à 5 % pendant cinq ans. Les estimations qui en résultent vont de 602 millions \$ pour la conservation à 729 millions \$ pour la restauration à 100 % aux niveaux de 1968.¹¹⁵

Source : Boxall, P. C., Pattison, J. K. et Shane Gabor, S. T. 2009. Estimates of Passive Use Values of Wetland Restoration and Retention in Southern Manitoba. Compte rendu d'une rencontre technique sur les produits et services écologiques, Hôtel Lord Elgin Ottawa, Canada.

Annexe C : Outils de soutien décisionnel pour tenir compte des risques et de l'incertitude dans l'évaluation du rapport coûts-bénéfices des projets d'infrastructure naturelle¹¹⁶

Une vaste gamme d'outils de soutien décisionnel qui intègrent les données écologiques, économiques et géographiques est offerte, allant des modèles d'une simple feuille de calcul à des logiciels complexes. Les outils diffèrent quant à leur approche de l'évaluation économique, de la représentation spatiale et temporelle des services, et de l'intégration des modèles biophysiques existants. Bon nombre d'entre eux sont conçus pour être transférables à de nouveaux contextes géographiques et décisionnels.

L'Institut international du développement durable (IIDD) est en train de créer une approche pour le design des systèmes d'infrastructure naturelle. Le modèle d'entreposage distribué multifonctionnel de l'IIDD intègre la modélisation des changements climatiques à la simulation des étangs de rétention naturalisés et des terres humides artificielles pour estimer l'étude de cas d'investissement dans l'infrastructure naturelle concernant l'adaptation au climat.

Le modèle d'entreposage distribué multifonctionnel repose sur des données topographiques et climatiques modernes, à haute résolution et des principes de modélisation de simulation. Essentiellement, les méthodes d'entreposage multifonctionnel sont étroitement liées à la performance de la planification des placements des ressources d'eaux classiques artificielles basée sur la simulation des systèmes d'entreposage (réservoirs) avec l'hydrologie synthétisée ou historique.¹¹⁷ Le concept d'entreposage multifonctionnel pour l'adaptation au climat, par contre, exige trois modifications importantes aux méthodes d'ingénierie traditionnelle :

- données de modélisation du climat mondial à échelle réduite pour l'évaluation quantitative du risque climatique en utilisant les techniques de simulation de Monte-Carlo;
- données terrestres à haute résolution pour identifier les sites ayant un potentiel élevé d'entreposage multifonctionnel; et
- des méthodes d'économie environnementale fondées sur l'évaluation du service écosystémique pour monter une étude de cas exhaustive des investissements de ce style d'infrastructure.

En premier lieu, le concept d'entreposage multifonctionnel pour l'adaptation au climat devrait faire une utilisation explicite des projections d'un ensemble des données climatiques pour créer l'hydrologie synthétique, influencée par les changements climatiques nécessaire à l'analyse du risque climatique. atlasclimatique.ca est un référentiel de données de modélisation du climat à échelle réduite qui peuvent servir à créer l'hydrologie synthétique nécessaire.

Deuxièmement, le concept d'entreposage multifonctionnel repose sur des données topographiques à haute résolution dérivées de LiDAR pour identifier les sites d'infrastructure naturelle candidats. La philosophie sous-jacente est qu'un nombre élevé de caractéristiques de petits aménagements paysagers de type terres humides peuvent offrir des services précieux comme l'atténuation des inondations et de la sécheresse, qui seraient autrement fournis par un seul gros projet d'infrastructure traditionnelle. Les sites d'entreposage multifonctionnel peuvent donc être construits en bassins-versants et aménagements paysagers, et exploiter les processus écosystémiques naturels. Plusieurs objectifs peuvent être accomplis par la sélection de sites multiples et de conception de réseaux. LiDAR est la source de données sous-jacentes qui permet d'identifier et de sélectionner les sites.

Troisièmement, le concept d'entreposage multifonctionnel comprend habituellement, dans la mesure du possible, la quantification et la monétisation des avantages en termes de services écosystémiques. La quantification du service écosystémique est une pratique en évolution et une critique typique est que les outils normaux pour la cartographie et l'évaluation des services écosystémiques, comme InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) manquent de détails hydrologiques pour être utiles.¹¹⁸ L'analyse spatiale à haute résolution évite largement cet écueil en utilisant les renseignements hydrologiques localisés pour obtenir la quantification et le processus de monétisation du service écosystémique.

Plusieurs des innovations analytiques clés nécessaires à la conception de systèmes d'infrastructure naturelle fondées sur le risque climatique et à la planification des investissements sont décrites ci-dessous :

Intégration de l'hydrologie synthétique aux événements de précipitations extrêmes influencés par le climat

La série temporelle produite par la haute résolution (à échelle réduite) des projections du climat pour la modélisation continue afin d'enquêter sur la performance de l'infrastructure naturelle à long terme (jusqu'à l'année 2100). Les modèles climatiques toutefois ont des limites quand il s'agit de prédire les événements extrêmes ils sous-estiment habituellement la magnitude des événements extrêmes quotidiens.^{119 120} À cette fin, les courbes d'intensité, de durée et de fréquence (IDF), qui fournissent des renseignements sur les périodes de rendement (fréquence) des divers événements de tempêtes fondés sur le bilan historique, servent à modéliser les événements extrêmes quotidiens dans le concept hydraulique des différentes infrastructures reliées à l'eau.¹²¹

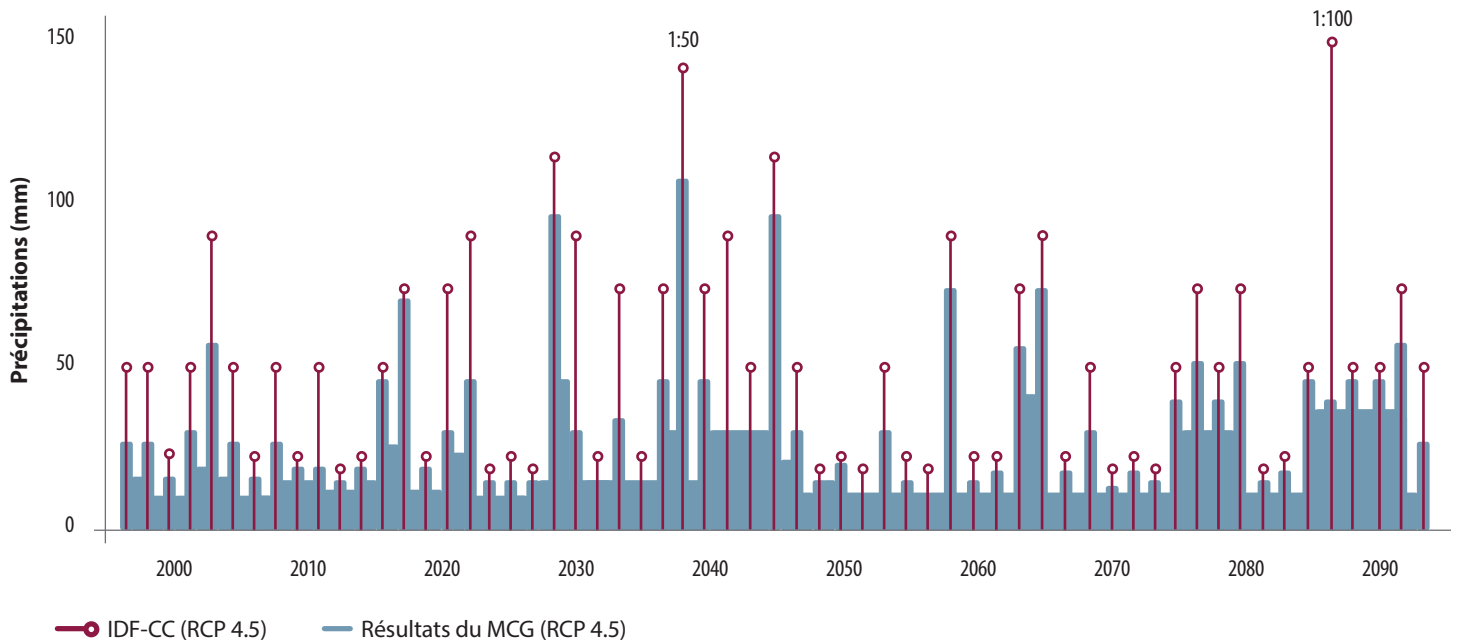
Pour intégrer les projections de précipitations des modèles de circulation générale à échelle réduite statistiquement (MCG) et les courbes d'IDF modifiées par le climat, l'IIDD intègre l'outil de l'université Western en Ontario pour créer des courbes d'IDF ajustée en fonction du climat^{vii} avec la série temporelle des précipitations dérivée des MCG à échelle réduite. La logique fondamentale est que l'exposition aux événements extrêmes à fréquence plus élevée est une considération clé pour l'adaptation au climat et le concept d'infrastructure naturelle. Ces événements extrêmes, par contre, ne devraient pas fausser le budget de précipitations annuelles obtenu des MCG à échelle réduite, car cela pourrait entraîner une surestimation des précipitations disponibles. Voici les étapes clés de cette méthode :

^{vii} L'outil informatique pour la création des courbes d'intensité, de durée et de fréquence à l'égard des changements climatiques (IDF-CC) est offert au site : <http://www.idf-cc-uwo.ca/>

- a) Identifiez statistiquement les points temporels d'événements extrêmes pour les périodes de retour différentes à partir d'un intervalle de 100 ans :
- i) $M_5 = 1:5$ (20 événements)
 - ii) $M_{10} = 1:10$ (10 événements)
 - iii) $M_{20} = 1:20$ (5 événements)
 - iv) $M_{50} = 1:50$ (2 événements)
 - v) $M_{100} = 1:100$ (1 événement)
- b) La magnitude des événements susmentionnés sera définie grâce à l'outil d'IDF-CC créé par l'université Western.
- c) Calculez le montant cumulé des précipitations projetées (pour 100) :
- i) $Total P = \sum_{i=1}^{100} P_i$
- d) Calculez le montant total des événements extrêmes identifiés dans les étapes ci-dessus :
- i) $M = 20 * M_5 + 10 * M_{10} + 5 * M_{20} + 2 * M_{50} + M_{100}$
- e) Calculez le facteur de correction :
- i) $K = Total P / (Total P + M)$
- f) Précipitation annuelle corrigée :
- i) $P_{totale corrigée} = P * K$
 - ii) Insérez les événements extrêmes (obtenus à l'étape a) dans la nouvelle série temporelle corrigée (étapes f à i)

Cette approche permet d'obtenir des simulations de Monte-Carlo simultanées de la performance hydrologique de l'infrastructure naturelle à long terme, et pour les événements extrêmes, sans compromettre les propriétés de la série temporelle créée par le modèle climatique qui sous-tend les données MCG à échelle réduite. L'illustration ci-dessous (Illustration C.1) démontre la superposition des événements extrêmes dérivés de la courbe d'IDF-CC et une série temporelle des précipitations représentative dérivée des MCG.

Illustration C.1 : Événements de précipitations extrêmes superposés sur les données MCG (exemple)



Remarque : Cette illustration est un exemple (Virden, Man.) qui démontre comment les événements extrêmes de l'IDF-CC peuvent être intégrés aux résultats de la série temporelle (du MCG RCP 4.5). Selon cette illustration, les événements extrêmes projetés peuvent être beaucoup plus importants que ceux générés directement des résultats du MCG à échelle réduite. La superposition des événements extrêmes sur les résultats du MCG et l'approche de simulation-optimisation continue saisissent le risque futur d'oscillation à haute fréquence entre les conditions d'inondations et de sécheresse et l'effet de modulation sur l'infrastructure naturelle.

Les designs de projet d'infrastructure naturelle proposée peuvent ensuite être évalués en utilisant les méthodes fondées sur la méthode de Monte-Carlo qui simulent la performance du système en utilisant un ensemble de données hydrologiques dérivées du MCG à échelle réduite. Les illustrations C.2 et C.3 donnent des exemples de tracés multiples du comportement simulé quotidiennement du site d'entreposage multifonctionnel de 12 MCG différents pour deux scénarios de changements climatiques de référence différents (RCP4.5 et RCP8.5).

Illustration C.2 : Simulation de Monte-Carlo d'un site hypothétique multifonctionnel à Virден, Manitoba (volume d'entreposage en millions de mètres cubes) en utilisant les résultats de 12 MCG (RCP4.5).

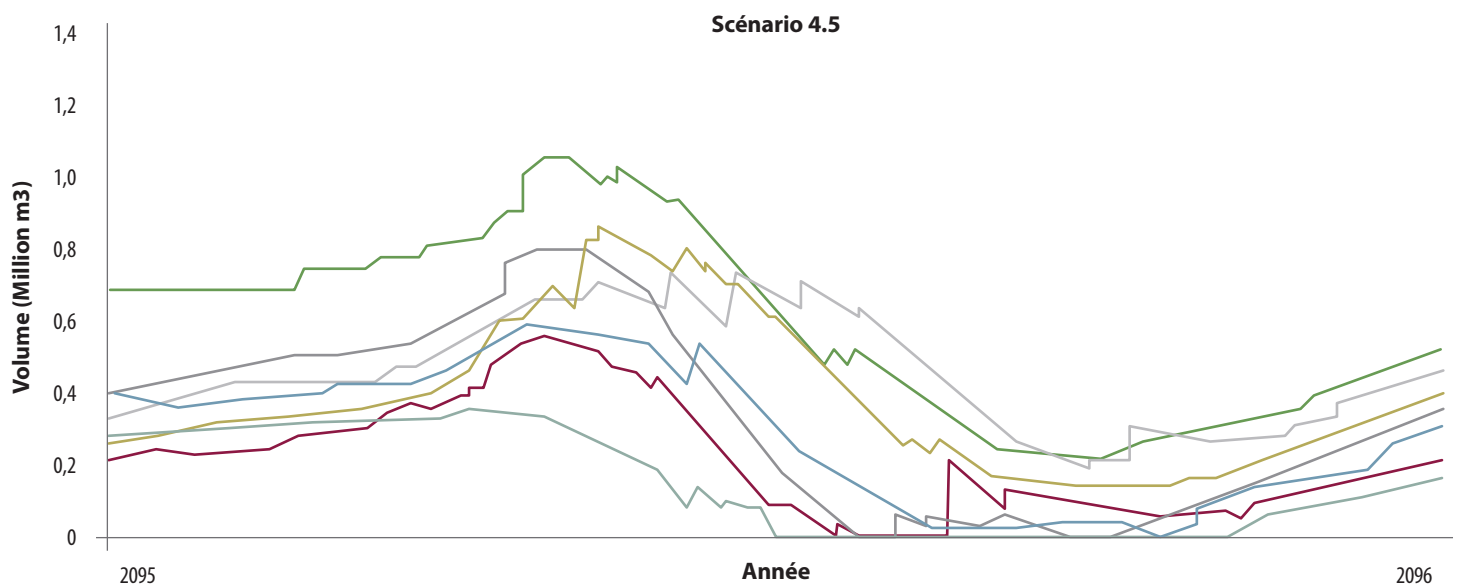
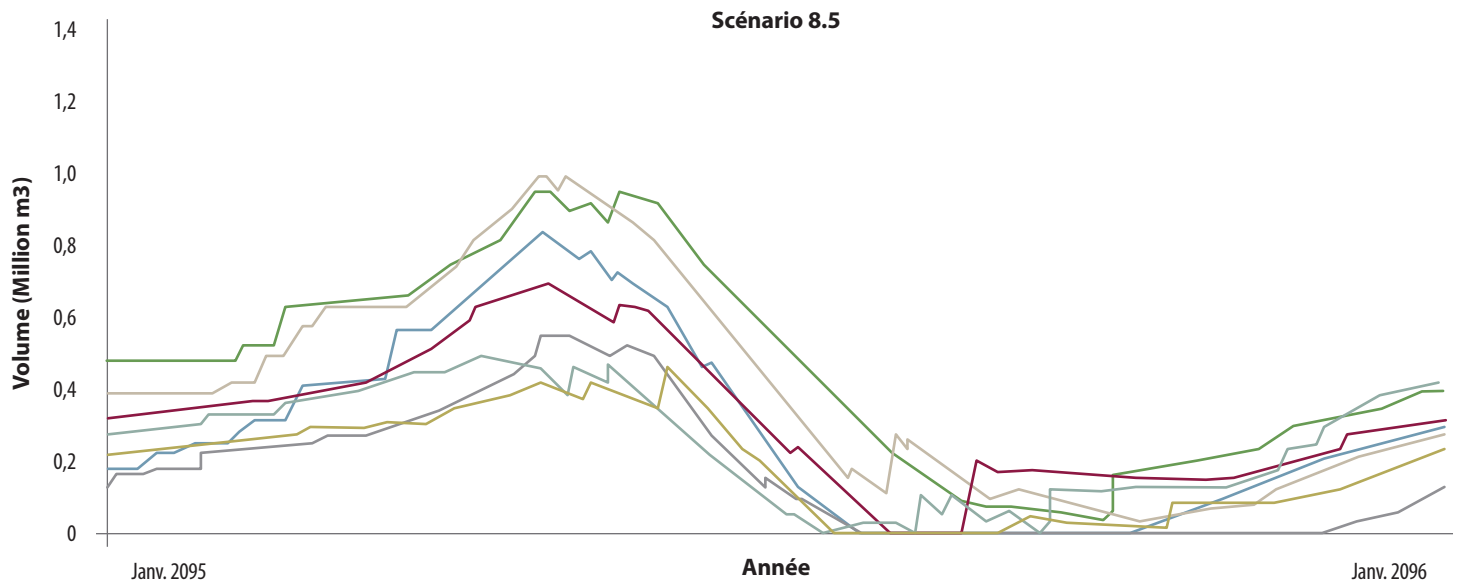


Illustration C.3 : Simulation de Monte-Carlo d'un site hypothétique multifonctionnel à Virden, Manitoba (volume d'entreposage en millions de mètres cubes) en utilisant les résultats de 12 MCG (RCP8.5).



Notez bien que le scénario RCP8.5 représente un climat plus chaud que celui du RCP4.5. Le site d'entreposage multifonctionnel opère donc à un niveau d'approvisionnement plus faible ou est vide plus souvent que dans le scénario RCP4.5, principalement en raison de l'évaporation accrue.

L'approche de Monte-Carlo évalue essentiellement plusieurs années de simulation pour estimer la probabilité de distribution des avantages futurs, ce qui est essentiel à l'estimation fondée sur le risque climatique de la proposition de valeur ajoutée de l'investissement dans l'infrastructure naturelle.

Autres outils

Le modèle d'entreposage multifonctionnel IIDD utilise un modèle tridimensionnel de réservoir d'entreposage basé sur la topographie dérivée de LiDAR pour la modélisation spatiale à haute résolution qui permet la modélisation des services écosystémiques cruciaux comme l'interception de nutriments, la récolte de biomasse et la séquestration de carbone.

InVEST et ARIES (ARtificial Intelligence for Ecosystem Services) sont d'autres outils publics pour modéliser les services écosystémiques, dont les caractéristiques clés pourraient être intégrées aux méthodes de design d'infrastructure naturelle. Les deux utilisent une gamme de données spatiales comme données modèles et codifient les fonctions de production écologique dans les modèles déterministiques (InVEST et ARIES) et dans les modèles probabilistes (ARIES).

EcoServ est un outil Web en voie de développement aux États-Unis et dans la région des Marmites torrentielles des Prairies au Canada, avec l'intention de développer éventuellement des études de cas additionnelles, et ensuite des modèles à l'échelle nationale ou mondiale.¹²² EcoServ relie les modèles de processus écosystémique externe à des données spatiales et les rendra accessibles au public par l'entremise d'un outil Web. EcoServ représente la variabilité temporelle du climat et peut fournir des cartes de prestation de services en fonction des scénarios de changements climatiques et de modification de l'utilisation des terres.

ARIES est une plateforme logicielle qui fournit une plateforme de modélisation intelligente capable de composer des modèles de service écosystémique complexes à partir d'une collection de modèles précisés par l'utilisateur. Ces modèles composants peuvent être définis dans ARIES en utilisant son langage de modélisation naturel ou créé indépendamment d'un autre langage ou d'une autre architecture et être utilisés par ARIES par l'entremise de son mécanisme de conditionnement de modèle. Une fois proprement conditionné, ARIES est en mesure de négocier automatiquement les différences dans les données entrées, les unités, les paradigmes de modélisation et les échelles applicables entre les modèles composants.

Analyse hydraulique : une analyse technique des scénarios d'inondation menée pour fournir des estimations d'élévations des eaux de surface et de la rapidité des intervalles de récurrence choisis.

Analyse hydrologique : estimation de la magnitude des inondations comme fonction de précipitation.

Atténuation des inondations : une action soutenue entreprise pour réduire ou éliminer le risque à long terme des dangers d'inondations et de leurs répercussions pour les gens et leurs biens. L'atténuation distingue les actions qui ont un impact à long terme de celles qui sont plus étroitement associées à la préparation, à l'intervention immédiate et à la récupération à court terme d'événements précis.

Bandes riveraines : zones végétatives adjacentes à des plans d'eau (par ex., lacs, rivières, fleuves, ruisseaux) qui peuvent réduire la pollution des eaux de ruissellement et procurer la stabilisation des berges et un habitat aquatique et faunique.

Bassin-versant : territoire qui draine dans une rivière, un fleuve, un lac ou autre plan d'eau.

Biodiversité : la variabilité parmi les organismes vivants de toutes sources, y compris les organismes terrestres, maritimes et autres écosystèmes aquatiques, et les complexes écologiques auxquels ils appartiennent; cela comprend la diversité parmi les espèces, entre les espèces et des écosystèmes.

Courbe d'intensité, de durée et de fréquence (IDF) : une représentation graphique de la probabilité qu'une quantité de pluie donnée survienne, illustrée en termes d'intensité (par ex., en millimètres par heure) à l'égard de la durée de pluie (par ex., heure).

Ensemble de terres humides : un groupe de terres humides qui sont reliées entre elles de manière fonctionnelle et qui ne sont pas éloignées par plus de 750 mètres entre elles.

Espèces envahissantes : les espèces qui ne sont pas indigènes dans une région et dont l'introduction ou la propagation menace l'environnement, l'économie ou la société, y compris la santé humaine.

Fonction hydrologique : l'occurrence, la circulation, la distribution et les propriétés chimiques et physiques de l'eau dans l'atmosphère, sur la surface de la terre, dans le sol et dans les roches sous-jacentes; et l'interaction de l'eau avec l'environnement, y compris sa relation aux créatures vivantes.

Habitat : une zone sur laquelle une espèce dépend, directement ou indirectement, pour exécuter ses processus de vie comme la reproduction, la croissance, la migration ou l'alimentation.

Infrastructure grise (ressources en eau) : infrastructure créée par l'humain pour les ressources en eau comme l'eau dans les usines de traitement des eaux usées, les pipelines et les réservoirs.

Infrastructure naturelle : un réseau stratégiquement planifié et géré de terres naturelles, comme les forêts, les terres humides et autres espaces ouverts qui protège ou rehausse les valeurs et les fonctions écosystémiques et procure des avantages connexes aux sociétés humaines.

Inondation des eaux de surface : inondation qui survient lorsque les eaux de ruissellement excèdent la capacité des égouts pluviaux (système mineur) et coule le long des rues et des circonstances défavorables dans les propriétés privées causant des dommages attribuables à l'inondation. Cela peut survenir n'importe où dans la collectivité, indépendamment du débordement d'un plan d'eau.

Inondation fluviale : excédent de débit dans un cours d'eau, de sorte que le terrain à l'extérieur des berges normales est submergé ou inondé. Peut être causée par une pluie ou fonte de neige extrême, ou des conditions physiques (comme les embâcles et les ouvrages de franchissement de cours d'eau trop petits) associées à un cours d'eau.

Plaine inondable : une région adjacente à un lac, un fleuve, une rivière ou la côte, qui peut être régulièrement inondée ou recouverte d'eau. Elle comprend habituellement deux zones :

- **Canal d'évacuation des crues** : le canal de la rivière ou du ruisseau et le terrain adjacent qui doit demeurer libre de toute obstruction pour que l'inondation réglementaire soit acheminée en aval.
- **Zone périphérique** : la partie restante de la plaine inondable, où la profondeur des inondations, la rapidité du débit ou l'énergie de l'onde sont relativement faibles et un certain aménagement peut être permis, si les niveaux adéquats de protection contre les inondations sont en place.

Risque d'inondation : une combinaison de la probabilité qu'un événement d'inondation (fréquence des inondations) survienne et les conséquences économiques ou sociales de cet événement lorsqu'il survient (par l'exposition au risque d'inondation).

Ruissellement : la quantité d'eau dérivée des précipitations/de la fonte des neiges, non autrement évapotranspirée ou entreposée, qui s'écoule à la surface des terres.

Sécheresse : occurrence soutenue et d'envergure régionale d'une disponibilité en eau naturelle sous la normale sous forme de précipitation, de débit de vapeur ou de l'eau souterraine.

Séquestration de carbone : l'enlèvement et l'entreposage de carbone de l'atmosphère dans des puits de carbone (comme les terres humides, les océans, les forêts ou les sols) par des procédés physiques ou biologiques, comme la photosynthèse.

Terres humides : terrains qui sont couverts, de manière saisonnière ou permanente, par des petits fonds, de même que les terres où la nappe d'eau est à la surface ou près de la surface. Dans les deux cas, l'abondance de l'eau a causé la formation de sols hydriques et a favorisé la dominance de plantes aquatiques ou hydrophiles. Les quatre principaux types de terres humides sont les étangs, les marais et les tourbières.

Acronymes

AAFCC - Accords d'aide financière en cas de catastrophe SIG - Système d'information géographique
ALUS - Services d'utilisation plus rationnelle des terres (acronyme anglais de « Alternative Land Use Services »)
BAC - Bureau d'assurance du Canada
CapEx - budgétisation (acronyme anglais de « capital expense »)
Centre Intact - Centre Intact d'adaptation au climat
E et M - exploitation et entretien
GIEC - Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat
IDF - Intensité, durée, fréquence
IFC- Intact Corporation financière
IRC - indicateur de rendement clé
IRn - indice de rentabilité net
LiDAR - système de laser de détection (acronyme anglais de « light detection and ranging »)
MCG - Modèle de circulation générale
MNAI - initiative de protection des actifs municipaux naturels (acronyme anglais de « Municipal Natural Assets Initiative »)
OCDE - Organisation de coopération et de développement économiques
OpEx - frais d'exploitation (acronyme anglais de « operating expense »)
PEFTP - Programme d'encouragement fiscal pour les terres protégées
PIB - produit intérieur brut
PwC - PricewaterhouseCoopers Canada
TRI - taux de rendement interne
VAN - valeur actualisée nette
VDP - volonté de payer
VET - valeur économique totale
VfM - optimisation des ressources (acronyme anglais de « value for money »)

- ¹ Bureau d'assurance du Canada. 2017. Assurances de dommages au Canada 2017. Consulté sur : http://assets.abc.ca/Documents/Facts%20Book/Facts_Book/2017/Fact-Book-2017-FR.pdf
- ² Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Consulté sur : www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf
- ³ Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat. 2013. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Consulté sur : www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5_WGI-12Doc2b_FinalDraft_Chapter14.pdf
- ⁴ Environnement et changement climatique Canada 2017. Données et scénarios climatiques : Synthèse des observations et des résultats récents de modélisation Chapitre 3.3 : Extrêmes. Consulté sur : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/publications/donnees-scenarios-synthese-observations-recents/chapitre-3-3.html>
- ⁵ Sécurité publique Canada Évaluation des Accords d'aide financière en cas de catastrophe, 2016-2017. Consulté sur : <https://www.publicsafety.gc.ca/cnt/rsrscs/pblctns/vltn-dsstr-fnncl-ssstnc-2016-17/vltn-dsstr-fnncl-ssstnc-2016-17-fr.pdf>
- ⁶ Bureau du vérificateur général du Canada 2016. Printemps 2016 — Rapports de la commissaire à l'environnement et au développement durable. Rapport 2 : L'atténuation des effets du temps violent. Consulté sur : www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl_cesd_201605_02_f_41381.html
- ⁷ Bureau du directeur du budget parlementaire. 2016. Estimation du coût annuel moyen des Accords d'aide financière en cas de catastrophe causée par un événement météorologique. Consulté sur : http://www.pbo-dpb.gc.ca/web/default/files/Documents/Reports/2016/DFAA/DFAA_FR.pdf
- ⁸ Bureau d'assurance du Canada. 2017. Assurances de dommages au Canada 2017. Consulté sur : http://assets.abc.ca/Documents/Facts%20Book/Facts_Book/2017/Fact-Book-2017-FR.pdf
- ⁹ Forbes. 2012. Flood Insurance: Protection Against Storm Surge. Consulté sur : www.forbes.com/sites/realtorcom/2012/07/10/flood-insurance-protection-against-storm-surge/
- ¹⁰ Business News Network. 2017. Half of Working Canadians "Overwhelmed" by Debt and Living Paycheque to Paycheque: Survey. Consulté sur : www.bnnbloomberg.ca/half-of-working-canadians-overwhelmed-by-debt-and-living-paycheque-to-paycheque-survey-1.562284
- ¹¹ Moody's Investors Service. 2017. Environmental Risks – Evaluating the Impact of Climate Change. Consulté sur : www.southeastfloridaclimatecompact.org/wp-content/uploads/2017/12/Evaluating-the-impact-of-climate-change-on-US-state-and-local-issuers-11-28-17.pdf
- Standards & Poor's Ratings Services. 2015. How Environmental and Climate Risks Factor into Global Corporate Ratings. Consulté sur : [www.environmental-finance.com/assets/files/How%20Environmental%20And%20Climate%20Risks%20Factor%20Into%20Global%20Corporate%20Ratings%20Oct%2021%202015%20\(2\).pdf](http://www.environmental-finance.com/assets/files/How%20Environmental%20And%20Climate%20Risks%20Factor%20Into%20Global%20Corporate%20Ratings%20Oct%2021%202015%20(2).pdf)

- ¹² Climate Disclosure Project (CDP). 2015. How CDP Data Can Inform Investors About Risk and Opportunities in U.S. Municipal Bonds. Consulté sur : b8f65cb373b1b7b15feb-c70d8ead6ced550b4d987d7c03fcdd1d.ssl.cf3.rackcdn.com/cms/reports/documents/000/001/613/original/White-paper-muni-bonds.pdf?1486720635
- ¹³ Moody's Investors Service. 2017. Environmental Risks – Evaluating the Impact of Climate Change. Consulté sur : www.southeastfloridaclimatecompact.org/wp-content/uploads/2017/12/Evaluating-the-impact-of-climate-change-on-US-state-and-local-issuers-11-28-17.pdf
- ¹⁴ Ibid.
- ¹⁵ Globe and Mail. 2015. Leaky Basement Lawsuit Drags on in Maple Ridge. Consulté sur : www.theglobeandmail.com/news/british-columbia/leaky-basement-lawsuit-drags-on-in-maple-ridge/article25051951/
- ¹⁶ Hutton, D. 2004. Psychosocial Effects of a Natural Disaster: A Post-Flood Assessment in Red River Valley. *Environments*, 32(2), 27–43.
- ¹⁷ Santé Montréal. 2017. Le Directeur de santé publique de Montréal présente les principaux constats de l'enquête santé réalisée auprès des victimes des inondations. <https://santemontreal.qc.ca/population/inondations-printanieres-2017/>
- ¹⁸ Hutton, D. 2004. Psychosocial Effects of a Natural Disaster: A Post-Flood Assessment in Red River Valley. *Environments*, 32(2), 27–43.
- ¹⁹ Sahni, V., Scott, A. N., Beliveau, M., Varughese, M., Dover, D. C., et Talbot, J. 2016. Public Health Surveillance Response Following the Southern Alberta floods, 2013. *Can J Public Health*, 107(2), 142–148.
- ²⁰ Santé Montréal. 2017. Le Directeur de santé publique de Montréal présente les principaux constats de l'enquête santé réalisée auprès des victimes des inondations. <https://santemontreal.qc.ca/population/inondations-printanieres-2017/>
- ²¹ Centre Intact - Centre Intact d'adaptation au climat 2018. After the Flood: The Impact of Climate on Mental Health and Lost Time From Work. Consulté sur : www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2018/06/After-The-Flood.pdf
- ²² Gouvernement du Canada. 2016. Canada's Way Forward on Climate Change: The Paris Agreement. Consulté sur : www.climatechange.gc.ca/default.asp?lang=En&n=24700154-1
- ²³ Gouvernement du Canada. 2017. Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe (RRC) 2015-2030 Consulté sur : <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/dsstr-prvntn-mtgtn/pltfm-dsstr-rsk-rdctn/snd-frmwrk-fr.aspx>
- ²⁴ Nations Unies. 2015. Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030 Consulté sur : www.unisdr.org/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf
- ²⁵ Gouvernement du Canada. 2017. Cadre de travail pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques Adaptation et résilience au climat. Consulté sur : <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/meteo/changementsclimatiques/cadre-pancanadien/adaptation-resilience-climat.html>
- ²⁶ Goodale, R. 2017. Composer avec les conséquences des changements climatiques. Consulté sur : <http://ralphgoodale.ca/fr/news-nouvelles/composer-avec-les-consequences-des-changements-climatiques/>

- ²⁷ Benedict, M., et McMahon, E. 2006. *Green Infrastructure : Linking Landscapes and Communities*. 2e édition. Washington, D.C. : Island Press.
- ²⁸ Gartner, T., Mulligan, J., Schmidt, R., et Gunn, J., éditeurs. 2013. *Natural Infrastructure: Investing in Forested Landscapes for Source Water Protection*. World Resources Institute. Consulté sur : www.wri.org/publication/natural-infrastructure
- ²⁹ Canards Illimités Canada. 2012. *Water Quantity and Quality Benefits from Wetland Conservation and Restoration in the Broughton's Creek Watershed*. Consulté sur : www.ducks.ca/assets/2012/06/broughtons.pdf
- ³⁰ Canards Illimités Canada. 2013. *A Business Case for Wetland Conservation and Restoration in the Settled Areas of Alberta Vermilion River Subwatershed Case Study*. Consulté sur : www.ducks.ca/assets/2012/06/DUC-AB-Business-Case_Final.pdf
- ³¹ Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., et Raskin, R. G. 1997. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, 387(6630), 253–260.
- ³² Wilson, M. A., et Browning, C. J. 2012. Investing in Natural Infrastructure: Restoring Watershed Resilience and Capacity in the Face of a Changing Climate. *Ecological Restoration*, 309(2), 96–98. Projet MUSE.
- ³³ Pattison-Williams, J. K., Pomeroy, J. W., Badiou, P., et Gabor, S. 2018. *Wetlands, Flood Control and Ecosystem Services in the Smith Creek Drainage Basin: A Case Study in Saskatchewan, Canada*. Consulté à : www.usask.ca/hydrology/papers/Pattison-Williams_et_al_2018.pdf
- ³⁴ Green, T. L. 2002. *Accounting for Old Forests: A Methodology for Assessing the Economic Benefits of Retaining Old Forests in B.C.* Report to Biodiversity Branch Ministry of Water, Land and Air Protection (Volume 1). Province de la Colombie-Britannique. Consulté sur : www.env.gov.bc.ca/wld/documents/techpub/Green_Valuation_Old_Forest_BC_Vol_I.pdf
- ³⁵ Bennett, G., Cassin, J., et Carroll, N. 2015. Natural Infrastructure Investment and Implications for the Nexus: A Global Overview. *Ecosystem Services*, 17: 293-97.
- ³⁶ Benedict, J. M., et McMahon, E. 2017. Ecosystems as Infrastructure. *Perspectives. Ecology and Conservation*. 15 : 32-35.
- ³⁷ Ozment, S., DiFrancesco, K., et Gartner, T. 2015. *The Role of Natural Infrastructure in the Water, Energy and Food Nexus*. Nexus Dialogue Synthesis Papers. Gland, Suisse : IUCN. Consulté sur : www.iwa-network.org/wp-content/uploads/2015/12/1438066960-Natural-Infrastructure-in-the-Nexus_Final-Dialogue-Synthesis-Paper-2015.pdf
- ³⁸ Baker, J. M., Griffis, T. J., et Ochsner, T. E. 2012. Coupling Landscape Water Storage and Supplemental Irrigation to Increase Productivity and Improve Environmental Stewardship in the U.S. Midwest. *Water Resources Research*, 48(5).
- ³⁹ Swystun, K., Chen, X., et Venema, H. 2013. *Feasibility of Integrated Surface Water Management on Agricultural Land in Manitoba*. 21st Canadian Hydrotechnical Conference. Banff, Alberta.
- ⁴⁰ Grooshans, R. E. 2014. *Cattail (Typha spp.) Biomass Harvesting for Nutrient Capture and Sustainable Bioenergy for Integrated Watershed Management*. Thèse de doctorat. Université du Manitoba Consulté sur : mspace.lib.umanitoba.ca/xmlui/handle/1993/23564
- ⁴¹ Berry, P., Yassin, F., Belcher, K., et Lindenschmidt, K.E. 2017. An Economic Assessment of Local Farm Multi-Purpose Surface Water Retention Systems in a Canadian Prairie Setting. *Applied Water Science*, 7(8), 4461–4478.
- ⁴² Statistique Canada. *L'activité humaine et l'environnement : Le paysage changeant des régions métropolitaines du Canada*. Consulté sur : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/16-201-x/16-201-x2016000-fra.htm>

Notes de fin

- ⁴³ Conseil de la biodiversité de l'Ontario (CBO). 2015. L'État de la biodiversité de l'Ontario 2015. Un rapport du Conseil de la biodiversité de l'Ontario, Peterborough, Ontario.
- ⁴⁴ Wetlands Alberta. Wetlands Loss. Consulté sur : www.wetlandsalberta.ca/wetland-loss/
- ⁴⁵ Ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique. Wetlands in BC. Consulté sur : www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/water/water-planning-strategies/wetlands-in-bc
- ⁴⁶ Le conseil Nord-Américain de conservation des terres humides (Canada) 1999. Document de réflexion. Terres Humides et le Gouvernement: Politique et législation concernant la conservation des terres humides au Canada. Consulté sur: www.publications.gc.ca/site/archivee-archived.html?url=http://www.publications.gc.ca/collections/Collection/CW69-10-1999-1F.pdf
- ⁴⁷ Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario. 2017. Plan d'action en matière de conservation des terres humides 2017– 2030. Consulté sur : <https://www.ontario.ca/fr/page/plan-daction-en-matiere-de-conservation-des-terres-humides>
- ⁴⁸ Parcs et Environnement Alberta. 2013. Alberta Wetland Policy. Consulté sur : aep.alberta.ca/
- ⁴⁹ Brooke, R., Cairns, S., Machado, E., Molnar, M., et O'Neill, S. J. 2017. Municipal Natural Asset Management as a Sustainable Infrastructure Strategy: The Emerging Evidence.
- ⁵⁰ Ville de Gibsons. 2014. Towards an Eco-Asset Strategy. Consulté sur : gibsons.ca/eco-assets
- ⁵¹ Ibid.
- ⁵² Ibid.
- ⁵³ Ibid.
- ⁵⁴ Moudrak, N., Hutter, A. M., Feltmate, B. 2017. When the Big Storms Hit: The Role of Wetlands to Limit Urban and Rural Flood Damage. Préparé pour le ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario. Centre Intact d'adaptation au climat, Université de Waterloo Consulté sur : www.intactcentre.ca/wp-content/uploads/2017/07/When-the-Big-Storms-Hit.pdf
- ⁵⁵ Environmental Systems Research Institute. 2008. ArcGIS 9.2 Desktop Help: What is Raster Data? Consulté sur : webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=welcome
- ⁵⁶ Environmental Systems Research Institute. 1998. ESRI Shapefile Technical Description. Consulté sur : www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf
- ⁵⁷ IBI Group. 2015. Alberta's Provincial Flood Damage Assessment Study. Prepared for Government of Alberta ESRD – Resilience and Mitigation. Consulté sur : <http://aep.alberta.ca>
- ⁵⁸ Ibid.
- ⁵⁹ Ibid.
- ⁶⁰ Grooshans, R. E. 2014. Cattail (Typha spp.) Biomass Harvesting for Nutrient Capture and Sustainable Bioenergy for Integrated Watershed Management. Thèse de doctorat. Université du Manitoba. Consulté sur : <http://hdl.handle.net/1993/23564>
- ⁶¹ Berry, P., Yassin, F., Belcher, K., et Lindenschmidt, K.E. 2017. An Economic Assessment of Local Farm Multi-Purpose Surface Water Retention Systems Under Future Climate Uncertainty. Sustainability, 9(3), 456.

- ⁶² Berry, P., Yassin, F., Belcher, K., et Lindenschmidt, K.E. 2017. An Economic Assessment of Local Farm Multi-Purpose Surface Water Retention Systems in a Canadian Prairie Setting. *Applied Water Science*, 7(8), 4461–4478.s
- ⁶³ Berry, P., Yassin, F., Belcher, K., et Lindenschmidt, K.E. (2017). Surface Water Retention Systems for Cattail Production as a Biofuel. *Journal of Environmental Management*, 203, 500–509.
- ⁶⁴ Le Trésor de Sa Majesté, gouvernement du R.-U. Value for Money Assessment for Using Private Finance. Consulté sur : http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20130102211853/http://www.hm-treasury.gov.uk/infrastructure_ppp_vfm.htm
- ⁶⁵ Department for Transport, UK Government.65 Ministère des Transports, Gouvernement du R.-U. 2013. Value for Money Assessment: Advice Note for Local Transport Decision Makers. Consulté sur : https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/267296/vfm-advice-local-decision-makers.pdf
- ⁶⁶ Schuyt, K., & Brander, L. 2004. *The Economic Values of the World's Wetlands*. Gland, Suisse : WWF.
- ⁶⁷ Brander, L., Brouwer, R., et Wagtendonk, A. 2013. Economic Valuation of Regulating Services Provided by Wetlands in Agricultural Landscapes: A Meta-Analysis. *Ecological Engineering*, 56, 89–96.
- ⁶⁸ Wood Pellet Association of Canada. Global Pellet Market Outlook in 2017. Consulté sur : <https://www.pellet.org/wpac-news/global-pellet-market-outlook-in-2017>
- ⁶⁹ XCG Consultants Ltd. 2010. Review of Phosphorus Removal at Municipal Sewage Treatment Plants Discharging to the Lake Simcoe Watershed. Kingston, Ontario : Water Environment Association of Ontario. Consulté sur : <https://weao.memberclicks.net/assets/docs/resources-links/reports/review-of-phosphorus-removal-to-lake-simcoe.pdf>
- ⁷⁰ Walter, M. 2018. Lake Simcoe Phosphorus Offset Program. Présenté au National Nutrient Recovery and Reuse Forum, Toronto, Ontario, 8 mars 2018.
- ⁷¹ Statistique Canada. 2017. Série « Perspective géographique », Recensement de 2016 Consulté sur : <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/as-sa/fogs-spg/Index-fra.cfm>
- ⁷² Amec Foster Wheeler a été acquis et fusionné avec le Wood Group.
- ⁷³ Ozment, S., DiFrancesco, K., et Gartner, T. 2015. The Role of Natural Infrastructure in the Water, Energy and Food Nexus. Documents de synthèse de Nexus. Consulté sur : www.iwa-network.org/wp-content/
- ⁷⁴ Moreno-Mateos, D., Power, M. E., Comin, F. A., et Yockteng, R. 2012. Structural and Functional Loss in Restored Wetland Ecosystems. *PLoS Biol* 10(1): e1001247. Consulté sur : journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1001247
- ⁷⁵ Pinno, B. D., et Hawkes, V. C. 2015. Forests. Temporal Trends of Ecosystem Development on Different Site Types in Reclaimed Boreal Forests. Consulté sur : cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/36120.pdf
- ⁷⁶ Outil IDF_CC, Version 3.0. (outil informatique pour la création des courbes d'intensité, de durée et de fréquence à l'égard du changement climatique). Consulté sur : www.idf-cc-uwo.ca
- ⁷⁷ Williams, L., Harrison, S., et O'Hagan, A. M. 2012. The Use of Wetlands for Flood Attenuation. Rapport préparé pour An Taisce. Consulté sur : www.antaisce.org/sites/antaisce.org/files/final_wetland_flood_attenuation_report_2012.pdf

- ⁷⁸ Global Reporting Initiative (GRI). Defining What Matters: Do Companies and Investors Agree on What Is Material? Consulté sur : www.globalreporting.org/resourcelibrary/GRI-DefiningMateriality2016.pdf
- ICLEI – Local Governments for Sustainability. 2000. Changing Climate, Changing Communities: Guide and Workbook for Municipal Climate Adaptation. Consulté sur : www.icleicanada.org/images/icleicanada/pdfs/GuideWorkbookInfoAnnexes_WebsiteCombo.pdf
- ⁷⁹ Talberth, J., Gray, E., Yonavjak, L., et Gartner, T. 2013. Green Versus Gray: Nature's Solutions to Infrastructure Demands. *Solutions for a Sustainable and Desirable Future*, 4(1), 40–47. Consulté sur : www.thesolutionsjournal.com/article/green-versus-gray-natures-solutions-to-infrastructure-demands
- ⁸⁰ Gouvernement du Canada. 2017. Cadre fédéral de la cartographie des plaines inondables. Consulté sur : http://ftp.maps.canada.ca/pub/nrcan_rncan/publications/ess_sst/299/299807/gip_112_f.pdf
- ⁸¹ Li, S., MacMillan, R. A., Lobb, D. A., McConkey, B. G., Moulin, A., et Fraser, W. R. 2011. Lidar DEM Error Analyses and Topographic Depression Identification in a Hummocky Landscape in the Prairie Region of Canada. *Geomorphology*, 129(3), 263–275.
- ⁸² Green, T. L. 2002. Accounting for Old Forests: A Methodology for Assessing the Economic Benefits of Retaining Old Forests in B.C. Report to Biodiversity Branch Ministry of Water, Land and Air Protection (Volume 1). Province de la Colombie-Britannique. Consulté sur : www.env.gov.bc.ca/wld/documents/techpub/Green_Valuation_Old_Forest_BC_Vol_I.pdf
- ⁸³ United States Environment Protection Agency. 2009. Valuing the Protection of Ecological Systems and Services: A Report of the EPA Science Advisory Board. Consulté sur : <https://yosemite.epa.gov/sab/5CSABPRODUCT.NSF/F3DB1F5C6EF90EE1852575C500589157/%24File/EPA-SAB-09-012-unsigned.pdf>
- ⁸⁴ PricewaterhouseCoopers. 2017. Assessing the Business Case for Green Infrastructure through a Total Economic Valuation Approach. Préparé pour Metrolinx.
- ⁸⁵ Ibid.
- ⁸⁶ Ibid.
- ⁸⁷ Ibid.
- ⁸⁸ National Research Council. 2001. Compensating for Wetland Losses Under the Clean Water Act. Washington, D.C. : The National Academies. Consulté sur : www.nap.edu/read/10134/chapter/1
- ⁸⁹ Ibid.
- ⁹⁰ Johnston, R. J., Rolfe, J., Rosenberger, R. S., et Brouwer, R. 2015. The Economics of Non-Market Goods and Resources. Volume 14. Chapitre 2 : Introduction to Benefit Transfer Methods. *Benefit Transfer of Environmental and Resource Values*. Springer Science+Business Media. Dordrecht. Consulté sur : www.springer.com/gp/book/9789401799294
- ⁹¹ Wetland Ways. 2009. Interim Guide for Wetland Protection and Conservation. Chapitre 11 : Wetland Enhancement and Restoration. Consulté sur : www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/natural-resource-stewardship/standards-guidelines/best-management-practices/wetland_ways_ch_11_enhancement.pdf

- ⁹² Steere, J. Estimating Wetland Restoration Costs at an Urban and Regional Scale: The San Francisco Bay Estuary Example. Consulté sur : www.st.nmfs.noaa.gov/st5/Salmon_Workshop/23_Steere.pdf
- ⁹³ Kentula, M. E., U.S. Environmental Protection Agency. Restoration, Creation, and Recovery of Wetlands: Wetland Restoration and Creation. United States Geological Survey Water Supply Paper 2425. Consulté sur : water.usgs.gov/nwsum/WSP2425/restoration.html
- ⁹⁴ Larratt Aquatic. 2014. Logan Lake Inflow Wetland Phase I and II Interim Report. Préparé pour Logan Lake Enhancement Working Group and BC Habitat Conservation Trust Fund. Consulté sur : www.loganlake.ca/files/documents/218/II-wetland-ii-report-june-11-2014.pdf
- ⁹⁵ Canards Illimités Canada. 2011. Étude de cas pour la protection des terres humides : Le sous-bassin versant de la Black River. Consulté sur : www.ducks.ca/assets/2012/06/duc_blackriver_case.pdf
- ⁹⁶ King, D., et Bohlem, C. 1994. Making Sense of Wetland Restoration Costs. Université du Maryland. Préparé pour le U.S. EPA, Office of Policy Analysis, et the U.S. Department of Energy, CEES Contribution # UMCEES-CBL- 94-045.
- ⁹⁷ Alberta Water Portal Society. 2017. Flood Mitigation: Dams. Consulté sur : albertawater.com/flood-mitigation/dams
- ⁹⁸ Moreno-Mateos, D., Power, M. E., Comín, F. A., et Yockteng, R. 2012. Structural and Functional Loss in Restored Wetland Ecosystems. PLoS Biol 10(1): e1001247. Consulté sur : journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1001247
- ⁹⁹ Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada. 2007. Guide d'analyse coûts-avantages pour le Canada : propositions de réglementation. Consulté sur : <https://www.tbs-sct.gc.ca/rtrap-parfa/analys/analys-fra.pdf>
- ¹⁰⁰ Green, T. L. 2002. Accounting for Old Forests: A Methodology for Assessing the Economic Benefits of Retaining Old Forests in B.C. Report to Biodiversity Branch Ministry of Water, Land and Air Protection (Volume 1). Province de la Colombie-Britannique. Consulté sur : www.env.gov.bc.ca/wld/documents/techpub/Green_Valuation_Old_Forest_BC_Vol_1.pdf
- ¹⁰¹ Schijven, J., Derx, J., de Roda Husman, A. M., Blaschke, A. P., et Farnleitner, A. H. 2015. QMRAcatch: Microbial Quality Simulation of Water Resources Including Infection Risk Assessment. Journal of Environmental Quality, 44(5), 1491–1502. Consulté sur : www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4884445/
- ¹⁰² Hotte, N., Kennedy, M., et Lantz, V. 2009. Valuing Wetland Ecosystem Services in the Credit River Watershed, Ontario: Phase 1. Pembina Institute et Credit Valley Conservation. Consulté sur : cvc.ca/wp-content/uploads/2011/01/ValuingWetlandsPhase1-final.pdf
- ¹⁰³ Larratt Aquatic. 2014. Logan Lake Inflow Wetland Phase I and II Interim Report. Préparé pour Logan Lake Enhancement Working Group and BC Habitat Conservation Trust Fund. Consulté sur : www.loganlake.ca/files/documents/218/II-wetland-ii-report-june-11-2014.pdf
- ¹⁰⁴ Steere, J. Estimating Wetland Restoration Costs at an Urban and Regional Scale: The San Francisco Bay Estuary Example. Consulté sur : www.st.nmfs.noaa.gov/st5/Salmon_Workshop/23_Steere.pdf
- ¹⁰⁵ Ibid.
- ¹⁰⁶ Organisation de coopération et de développements économiques (OCDE) 2003. Environmental Indicators. Development, Measurement and Use. Consulté sur : www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf

- ¹⁰⁷ Ministère de l'Environnement de la BC. 2007. Compliance Management Framework: The Ministry of Environment's Approach to Ensuring Compliance. Consulté sur : www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/research-monitoring-and-reporting/reporting/reporting-documents/environmental-enforcement-docs/compliance_mgmt_framework.pdf
- ¹⁰⁸ Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada. 2007. Guide d'analyse coûts-avantages pour le Canada. Consulté sur : <https://www.tbs-sct.gc.ca/rtrap-parfa/analys/analys-fra.pdf>
- ¹⁰⁹ Gouvernement du Ontario. 2018. Programme d'encouragement fiscal pour les terres protégées.. Consulté sur : <https://www.ontario.ca/fr/page/programme-dencouragement-fiscal-pour-les-terres-protgees>
- ¹¹⁰ Ministère des Richesses naturelles et des Forêts. 2010. Programme d'encouragement fiscal pour les terres protégées : Guide des terres communautaires protégées. Consulté sur : <https://dr6j45jk9xcmk.cloudfront.net/documents/3128/stdprod-068545.pdf>
- ¹¹¹ ALUS Canada. 2018. Consulté sur : alus.ca
- ¹¹² Robbins, A. S. T., et Daniels, J. M. 2012. Restoration and Economics: A Union Waiting to Happen? *Restoration Ecology*, 20(1) 10–17. Consulté sur : www.missioncreek.ca/wp-content/uploads/2014/05/2012-Restoration-and-Economics.pdf
- Green, T. L. 2002. Accounting for Old Forests: A Methodology for Assessing the Economic Benefits of Retaining Old Forests in B.C. Report to Biodiversity Branch Ministry of Water, Land and Air Protection (Volume 1). Province de la Colombie-Britannique. Consulté sur : www.env.gov.bc.ca/wld/documents/techpub/Green_Valuation_Old_Forest_BC_Vol_I.pdf
- ¹¹³ Boxall, P. C., Pattison, J. K. et Shane Gabor, S. T. 2009. Estimates of Passive Use Values of Wetland Restoration and Retention in Southern Manitoba. Compte rendu d'une rencontre technique sur les produits et services écologiques, Hôtel Lord Elgin Ottawa, Canada.
- ¹¹⁴ Ibid
- ¹¹⁵ Ibid.
- ¹¹⁶ Bagstad, K. J., Semmens, D. J., Waage, S., et Winthrop, R. 2013. A Comparative Assessment of Decision-Support Tools for Ecosystem Services Quantification and Valuation. *Ecosystem Services*, 5, 27–39. Consulté sur : anth.umd.edu/sites/anth.umd.edu/files/Bagstad%20et%20al.%20-%20A%20comparative%20assessment%20of%20decision-support%20tools%20-%202013.pdf
- ¹¹⁷ Yeh, W. W. G. 1985. Reservoir Management and Operations Models: A State-of-the-Art Review. *Water Resources Research*, 21(12), 1797 -1818.
- ¹¹⁸ Baveye, P. 2017. Quantification of Ecosystem Services: Beyond All the "Guesstimates," How Do We Get Real Data? *Ecosystem Services*, 24, 47-49. ISSN 2212-0416.
- ¹¹⁹ Mladjic, B., Sushama, L., Khaliq, M. N., Laprise, R., Caya, D., et Roy, R. 2011. Canadian RCM Projected Changes to Extreme Precipitation Characteristics over Canada. *Journal of Climate*, 24(10), 2565–2584.
- ¹²⁰ Tabari, H., Troch, R. D., Giot, O., Hamdi, R., Termonia, P., Saeed, S., et Willems, P. 2016. Local Impact Analysis of Climate Change on Precipitation Extremes: Are High-Resolution Climate Models Needed for Realistic Simulations? *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(9), 3843–3857.

Notes de fin

¹²¹ Mailhot, A., Duchesne, S., Caya, D., et Talbot, G. 2007. Assessment of Future Change in Intensity–Duration– Frequency (IDF) Curves for Southern Quebec Using the Canadian Regional Climate Model (CRCM). *Journal of Hydrology*, 347(1), 197–210.

¹²² Feng, M., Liu, S., Euliss N. H., Young, C., et Mushet, D. M. 2011. Prototyping an Online Wetland Ecosystem Services Model Using Open Model Sharing Standards. *Environmental Modelling & Software*, 26, 458–468.

¹²³ Benedict, M., et McMahon, E. 2006. *Green Infrastructure : Linking Landscapes and Communities*. 2e édition. Washington, D.C. : Island Press. Consulté sur : islandpress.org/book/green-infrastructure

Ressources naturelles Canada et Sécurité publique Canada. 2017. *Cadre fédéral de la cartographie des plaines inondables*. Consulté sur : <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/dsstr-prvntn-mtgtn/pltfm-dsstr-rsk-rdctn/snd-frmwrk-fr.aspx>

Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario. 2017. *Plan d'action en matière de conservation des terres humides 2017 -2030*. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario. Toronto, Ontario. 52 pp. Consulté sur : [Consulté sur : https://www.ontario.ca/fr/page/plan-daction-en-matiere-de-conservation-des-terres-humides](https://www.ontario.ca/fr/page/plan-daction-en-matiere-de-conservation-des-terres-humides)





[@InsuranceBureau](https://www.instagram.com/InsuranceBureau)



[@InsuranceBureau](https://twitter.com/InsuranceBureau)



[Facebook.com/insurancebureau](https://www.facebook.com/insurancebureau)



[Youtube.com/insurancebureau](https://www.youtube.com/insurancebureau)

ibc.ca

1-844-227-5422