

Pratiques exemplaires et ressources relatives à l'infrastructure naturelle résistante au climat



pour Conseil canadien des ministres de l'environnement

Juin 2018

PN 1582

Le présent rapport contient de l'information qui a été préparée pour le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME), mais qui n'a pas reçu son approbation. Bien que le CCME s'engage à respecter les normes de recherche et d'analyse les plus élevées qui soient dans ses publications, il n'est pas responsable de l'exactitude des données présentées dans ce rapport ni ne se porte garant de l'information qu'il contient. Le CCME et ses gouvernements membres ne partagent ni ne soutiennent nécessairement les opinions exprimées dans ces pages.

Résumé

Les pratiques relatives à l'infrastructure naturelle peuvent potentiellement jouer un rôle important pour rendre les collectivités côtières, riveraines, rurales et urbaines plus résistantes au climat. L'objectif du présent rapport de recherche consiste à résumer l'état actuel des pratiques, notamment les projets existants, les programmes, les stratégies, les avantages communs, les pratiques exemplaires, les ressources clés, les lacunes de connaissances, les difficultés liées à la mise en œuvre et les leçons apprises. La recherche a été effectuée à partir d'un examen de la documentation et d'une série d'entrevues avec des experts du domaine de l'infrastructure naturelle, notamment des architectes paysagistes, des ingénieurs et des urbanistes. Le rapport a pour but d'aider les décideurs locaux, provinciaux, territoriaux et fédéraux en ce qui a trait à la conception et à la mise en œuvre de solutions d'infrastructure naturelle, ou aux investissements dans celles-ci.

Dans le contexte du présent rapport, on met l'accent sur quatre principaux dangers climatiques :¹

- les tempêtes et les inondations côtières;
- les inondations fluviales;
- les eaux de ruissellement urbaines et rurales (inondations des terres);
- les îlots de chaleur urbains.

Les options d'infrastructure naturelle peuvent être expressément conçues pour traiter de ces types de danger. Comme les options d'infrastructure naturelle évoluent habituellement de façon naturelle au fil du temps, on peut alors envisager de concevoir l'infrastructure naturelle pour les conditions extrêmes et dangereuses prévues en fonction de scénarios climatiques futurs plutôt qu'en fonction des conditions climatiques actuelles.

Les solutions d'infrastructure naturelle ou l'approche hybride sont habituellement plus rentables que les approches d'infrastructure grise. Cette situation est en partie attribuable à la variété d'avantages communs économiques, environnementaux et sociaux qu'elles procurent, comme améliorer, purifier et décontaminer l'eau, l'air et les sols; créer des espaces verts récréatifs, améliorer la qualité de la santé humaine et du bien-être; et améliorer la biodiversité et les services écosystémiques.

Dans le contexte du présent rapport, l'**infrastructure naturelle** se rapporte aux combinaisons de végétation existante, restaurée ou améliorée et aux composantes biologiques, terrestres et hydriques connexes, et leurs processus écologiques naturels qui génèrent des résultats en matière d'infrastructure comme la prévention et l'atténuation des inondations, de l'érosion et des glissements de terrain, l'atténuation des chaleurs extrêmes et la purification des eaux souterraines.

Ce concept est différent de l'**infrastructure verte**, qui se rapporte à l'infrastructure fondée sur l'environnement.

¹ Veuillez noter que bien que ce rapport mette l'accent sur l'atténuation des dangers climatiques comme principal objectif à la mise en œuvre de l'infrastructure naturelle, cette dernière peut aussi être employée pour obtenir une gamme d'avantages, comme l'approvisionnement en eau douce, l'amélioration des possibilités récréatives et l'accroissement de la biodiversité. Ces avantages et d'autres sont traités au chapitre 3 : Analyse de rentabilisation pour les investissements dans l'infrastructure naturelle.

Toutefois, plusieurs lacunes de connaissances et difficultés liées à la mise en œuvre ont limité l'adoption et la mise en œuvre de l'infrastructure naturelle jusqu'à maintenant. Celles-ci comprennent :

- une capacité institutionnelle limitée, particulièrement à l'échelle locale, pour former le personnel aux pratiques et aux processus qui sont inconnus ou peu familiers;
- un nombre limité d'experts qualifiés possédant les connaissances et les compétences techniques requises pour concevoir, mettre en œuvre et entretenir l'infrastructure naturelle;
- une sensibilisation limitée des intervenants à l'égard de l'infrastructure naturelle et de ses avantages;
- un nombre limité de données propres à un emplacement particulier aux fins de la conception et de l'évaluation de l'infrastructure naturelle;
- une sensibilisation limitée des décideurs à l'égard des possibilités aux échelles fédérales, provinciales, territoriales et locales;
- des obstacles politiques et réglementaires qui tendent à favoriser l'infrastructure grise;
- l'embourgeoisement des quartiers qui bénéficient des investissements dans l'infrastructure naturelle;
- les limites institutionnelles et techniques liées à l'entretien de l'infrastructure naturelle;
- le manque de capacité au sein des entités décisionnelles municipales pour évaluer les options d'infrastructure naturelle;
- l'absence de lignes de communication entre les écologistes et les ingénieurs.

On a tiré plusieurs leçons des projets de mise en œuvre de l'infrastructure naturelle au Canada et ailleurs. Les mesures et les considérations suivantes peuvent aider à surmonter les obstacles décrits précédemment et à créer des projets et des initiatives d'infrastructure naturelle réussis :

- nommer un champion qui sera chargé de diriger et de promouvoir les efforts relatifs à l'infrastructure naturelle;
- créer une équipe interdisciplinaire pour concevoir et mettre en œuvre les projets d'infrastructure naturelle;
- former et renseigner les professionnels et les membres de la collectivité afin d'accroître la sensibilisation et les compétences techniques;
- mettre l'accent sur le leadership, les objectifs et les valeurs communautaires, y compris ceux des peuples autochtones, pour assurer une vision et une conception participatives des projets;
- mettre en place des incitatifs réglementaires et financiers qui soutiendront les options d'infrastructure naturelle;
- utiliser des critères en faveur de l'infrastructure naturelle dans les possibilités de financement, comme les ententes bilatérales intégrées en vertu du Plan investir dans le Canada;
- tenir compte des changements climatiques à long terme.

Définitions des applications d'infrastructure naturelle

Arbres urbains : Les arbres procurent une filtration naturelle de l'eau. En outre, pendant de fortes précipitations, les arbres peuvent réduire et ralentir les eaux de ruissellement en interceptant les précipitations avec leurs racines, feuilles et branches, réduisant et ralentissant ainsi les eaux de ruissellement et contribuant à limiter l'érosion en stabilisant le sol. Le couvert forestier procure également de l'ombre, atténuant les effets des îlots de chaleur urbains (EPA, 2014a).

Bassins de biorétention : Les bassins de biorétention sont conçus pour recueillir et retenir l'eau excédentaire et permettent un retour de l'eau dans le sol par filtration lente, réalimentant les réserves d'eaux souterraines (American Society of Landscape Architects, 2018).

Canaux à deux niveaux : Un canal supérieur évacue les eaux de crue et un canal inférieur procure des habitats et offre un transport amélioré des sédiments (FEMA, 2017).

Canaux d'évacuation des crues : La construction de canaux additionnels pour accroître la capacité d'évacuation des eaux de crue tout en améliorant les habitats (FEMA, 2017).

Collecte d'eau de pluie : Un système de toiture qui recueille et stocke l'eau de pluie qui serait autrement perdue dans le ruissellement et détournée vers des collecteurs d'eaux pluviales et des ruisseaux (EPA, 2014a).

Conservation des plaines inondables : La stratégie de protection la plus efficace contre les inondations fluviales est la conservation des plaines inondables. Cette option implique la préservation des écosystèmes naturels existants qui servent déjà à absorber et à autrement atténuer les inondations (Sabine Dietz, communication personnelle, 18 mai 2018).

Dunes : Les dunes de sable offrent des avantages protecteurs pendant les événements pluviohydrologiques en éliminant ou en réduisant les inondations causées par les ondes de tempête et l'action des vagues derrière elles (Webb, 2018).

Forêts maritimes : Les forêts maritimes se rapportent aux forêts côtières d'arbres et d'arbustes des hautes terres, et non aux mangroves et aux marais. Les forêts maritimes sont efficaces pour réduire la hauteur des vagues et la portée des inondations des terres (Webb, 2018).

Jardins de pluie : Les jardins de pluie (c.-à-d. des cellules de biorétention et de biofiltration) sont des bassins végétalisés peu profonds qui recueillent et absorbent les ruissellements des toits, des trottoirs et des rues. Ils imitent l'hydrologie naturelle en absorbant et en retenant l'eau. Les jardins de pluie sont polyvalents et peuvent être installés dans presque tous les endroits non pavés (EPA, 2014a).

Marais salés : Les marais salés procurent de nombreux avantages pendant les orages ainsi que lorsqu'il n'y a pas d'orage. Selon le niveau d'eau, la végétation des marais peut efficacement dissiper l'énergie des vagues, réduire la vitesse de l'eau, réduire la profondeur des inondations dans le marais, réduire la hauteur des vagues, réduire la portée des inondations et minimiser les pertes nettes de sédiments (Webb, 2018).

Plages : En cas d'événement pluviohydrologique, les plages (notamment le sable fin, le sable grossier et les cailloux) agissent initialement comme un volume de matériel érodable. Puis, une fois la plage submergée pendant un orage, les plages dissipent l'énergie des vagues. Les plages plus vastes et les plages ayant une dénivellation de berme plus élevée offrent une plus grande protection de l'infrastructure terrestre (Webb, 2018).

Récifs : Les récifs ont la capacité de réduire l'énergie des vagues. Leur contribution à la réduction des ondes de tempête n'est pas substantielle, mais ils peuvent contribuer aux changements des niveaux d'eau moyens en brisant les vagues (Webb, 2018).

Restauration des terres humides intérieures : Importante stratégie d'atténuation des inondations fluviales grâce à la capacité des terres humides de recueillir et de retenir les eaux de crue, puis de les relâcher progressivement. Les terres humides peuvent absorber les inondations et réguler les débits d'eau (Kumar, 2017). Les terres humides intérieures peuvent aussi être créées dans des régions nécessitant des protections contre les inondations, en tenant compte des considérations et du contexte écologiques appropriés.

Rigoles de drainage : Les rigoles de drainage sont des dépressions ou des canaux étroits composés de sols ou d'autres substrats absorbants, et plantés de végétation à racines profondes. Ces rigoles permettent de filtrer et de retenir les eaux de ruissellement excédentaires et de les éloigner des endroits où elles ne sont pas désirables. Les rigoles de drainage sont particulièrement indiquées en bordure des routes et des stationnements (EPA, 2014a).

Rives vivantes : Cette approche utilise des écosystèmes côtiers pour fournir des services écosystémiques stabilisants (Ecology Action Centre, Undated). Il convient de noter que le terme général « rives vivantes » peut inclure d'autres stratégies portant sur la conservation, la restauration ou la création d'écosystèmes côtiers.

Solutions hybrides : Les caractéristiques naturelles sont les plus efficaces pour atténuer les dangers en cas d'événements d'intensité faible à moyenne. La combinaison d'approches naturelles et d'infrastructure grise peut permettre d'accroître la résilience de l'infrastructure et de l'écosystème face aux événements à intensité plus élevée (Webb, 2018).

Structures en cours d'eau : Les bancs, les terrasses de rochers, les pales, les seuils aménagés et les autres structures en cours d'eau peuvent détourner le débit pour prévenir l'érosion (FEMA, 2017).

Toits verts : Les toits couverts de milieu de culture et de végétation captent les précipitations, et celles-ci sont absorbées par les systèmes racinaires ou retenues à des fins ultérieures d'évapotranspiration. Les recherches de l'U.S. EPA montrent que ces systèmes de toiture sont économiquement rentables dans les zones urbaines où les coûts fonciers et les coûts de gestion des eaux de ruissellement sont élevés (EPA, 2014a).

Végétation et ensemencement des rives : Stabilisation du sol et des berges afin de prévenir l'érosion tout en améliorant les habitats et la qualité esthétique de la zone (FEMA, 2017).



Zones de recul : Les zones de recul servent à protéger les aménagements contre les expositions aux dangers. Les normes en matière de recul établissent les distances minimales auxquelles les structures doivent se trouver des chenaux fluviaux et des côtes. (FEMA, 2017).

Table des matières

Résumé	1
Définitions des applications d'infrastructure naturelle	3
Chapitre 1 : Introduction.....	8
Termes-clés.....	9
Chapitre 2 : Possibilités de solutions d'infrastructure naturelle	10
Tempêtes et inondations côtières	11
Possibilités d'atténuation des risques climatiques	12
Pratiques exemplaires relatives à la conception et aux applications.....	15
Inondations fluviales	16
Possibilités d'atténuation des risques climatiques	16
Pratiques exemplaires relatives à la conception et aux applications.....	19
Eaux de ruissellement urbaines et rurales	20
Possibilités d'atténuation des risques climatiques	21
Pratiques exemplaires relatives à la conception et aux applications.....	23
Îlots de chaleur urbains	25
Possibilités d'atténuation des risques climatiques	26
Pratiques exemplaires relatives à la conception et aux applications.....	28
Chapitre 3 : Analyse de rentabilisation pour les investissements dans l'infrastructure naturelle	30
Avantages communs : environnementaux, sociaux	30
Avantages communs liés aux services écosystémiques	30
Avantages communs sociaux et économiques.....	31
Effets cumulatifs.....	34
Ressources pour les analyses coûts-avantages de l'infrastructure naturelle.....	35
Outils d'analyse coûts-avantages.....	35
Analyse coûts-avantages en pratique	37
Chapitre 4 : Lacunes de connaissances et difficultés liées à la mise en œuvre	39
Capacité institutionnelle.....	39
Connaissances et compétences techniques	41
Sensibilisation aux avantages dans le cadre de l'élaboration de l'analyse de rentabilisation	42
Besoins et lacunes en matière de données	43
Environnement politique	45
Obstacles politiques et réglementaires	46
Pratiques exemplaires et ressources relatives à l'infrastructure naturelle résistante au climat 2018	6



Incidences sur la société	48
Défis liés à l'entretien	48
Chapitre 5 : Leçons apprises et possibilités	48
Nommer un champion	49
Créer une équipe interdisciplinaire	49
Former et renseigner les professionnels et les membres de la collectivité	50
Mettre l'accent sur les objectifs et les valeurs communautaires	52
Cogestion autochtone	53
Mettre en place des incitatifs réglementaires et financiers	53
Utiliser les possibilités de financement offertes.....	55
Tenir compte des changements climatiques à long terme	55
Annexes.....	56
A. Méthode de recherche pour l'examen de la documentation et des entrevues	56
B. Liste des entrevues	56
Références	58

Chapitre 1 : Introduction

Il y a un intérêt croissant au Canada, ainsi que partout dans le monde, à l'égard de l'utilisation de l'infrastructure naturelle pour aider les collectivités à devenir plus résistantes aux événements extrêmes et à réduire les risques de dangers climatiques. L'infrastructure naturelle utilise les écosystèmes naturels et d'autres solutions naturalisées qui fournissent collectivement à la société une multitude d'avantages économiques, environnementaux et sociaux (Green Infrastructure Ontario Coalition, 2016a). L'infrastructure naturelle offre des solutions souples pour améliorer la résilience face à un climat changeant dans différents milieux (p. ex., côtiers, riverains et urbains) et différentes applications (The Chicago Metropolitan Agency for Planning, 2016).

Malgré ces avantages potentiels et la hausse récente de popularité, la mise en œuvre de l'infrastructure naturelle a été limitée au Canada et ailleurs. Bien qu'il existe plusieurs exemples de réussites à l'échelle locale (p. ex., la stratégie de gestion des actifs adoptée par la Ville de Gibsons, en Colombie-Britannique), l'incertitude concernant la performance et la rentabilité, et l'absence de soutien politique demeurent les principaux obstacles à sa mise en œuvre généralisée (Canadian Institute for Environmental Law and Policy, 2011).

Le changement climatique touche les collectivités et les régions de nombreuses façons, allant de l'effet cumulatif des îlots de chaleur urbains à l'accroissement des risques d'inondations terrestres et côtières (EPA, 2018a). De la même façon, la hausse du niveau de la mer et les fortes tempêtes peuvent entraîner de l'érosion et l'inondation d'écosystèmes sensibles, menaçant les habitats naturels existants.

L'infrastructure naturelle peut jouer un rôle clé dans l'accroissement de la résilience face aux répercussions du changement climatique et des événements extrêmes. Beaucoup de stratégies d'infrastructure naturelle ont la capacité de stabiliser physiquement les paysages, fournissent des tampons contre les dangers, absorbent l'eau et créent des températures ambiantes plus fraîches. Par exemple, les racines d'arbre maintiennent le sol en place, prévenant l'érosion (FEMA, 2017). Les dunes, les récifs et les murs d'arbres protègent les paysages contre les forts vents et les ondes de tempête (Webb, 2018). Les surfaces et les plantes perméables ont une capacité élevée d'absorption, de rétention et de libération graduelle de l'eau, prévenant les inondations (EPA, 2018b). Les toits verts et les couverts forestiers refroidissent l'environnement immédiat, atténuant les effets des événements de chaleur extrême (EPA, 2008). En plus de ces avantages issus de l'adaptation des écosystèmes, l'infrastructure naturelle peut offrir des avantages environnementaux et sociaux, comme la réduction de la pollution atmosphérique et l'élargissement des zones récréatives (Terton, 2017).

Le présent rapport fournit aux décideurs et aux intervenants en matière d'infrastructure une compilation des pratiques exemplaires relatives à la conception et à l'application de l'infrastructure naturelle, de l'information sur les avantages sociaux et économiques et des solutions prometteuses pour surmonter les obstacles à la mise en œuvre. La recherche sur laquelle est fondé le rapport comportait des examens de la documentation existante ainsi que des entrevues avec des experts dans le domaine de l'infrastructure naturelle.

Termes-clés

Dans le rapport, « infrastructure naturelle » est le terme prévalant utilisé pour décrire les combinaisons de végétation existante, restaurée ou améliorée et les composantes biologiques, terrestres et hydriques connexes, ainsi que les processus écologiques naturels qui génèrent des résultats en matière d'infrastructure comme la prévention et l'atténuation des inondations, de l'érosion et des glissements de terrain, l'atténuation des chaleurs extrêmes et la purification des eaux souterraines. L'infrastructure naturelle utilise des écosystèmes et des matériaux naturels (comme les arbres, le sable et les pierres) pour obtenir des résultats de services écosystémiques et contribuer à la résilience climatique. Ces écosystèmes et matériaux peuvent être des caractéristiques naturelles existantes, ou mises en place ou construites par l'homme.

Le domaine de l'infrastructure naturelle en général utilise plusieurs termes pour décrire cette pratique : les termes « infrastructure naturelle », « infrastructure verte » et « développement à faible incidence » sont souvent utilisés de manière interchangeable et ne sont pas universellement définis.

- Le terme « **infrastructure verte** » est parfois utilisé pour désigner l'infrastructure naturelle, bien qu'il soit aussi utilisé plus largement pour représenter des éléments comme des jardins de pluie ou même des compteurs d'eau et de l'équipement à haute efficacité énergétique (Allen, 2014).
- Le terme « **développement à faible incidence** » est également associé à l'infrastructure naturelle, souvent en référence aux paysages fonctionnels du point de vue écologique ou hydrologique qui imitent les fonctions hydrologiques naturelles (Coffman, 2000).
- Le terme « **solutions hybrides** » résulte d'approches naturelles combinées à l'infrastructure grise pour accroître la résilience de l'infrastructure et de l'écosystème environnant face aux événements à intensité plus élevée.

L'infrastructure naturelle se fonde davantage sur les composantes de paysage existantes ou pouvant être restaurées comme les plaines inondables, les terres humides et les forêts naturelles afin de fournir une vaste gamme d'avantages économiques, sociaux et environnementaux (Association of State Wetland Managers, 2018). L'infrastructure verte et le développement à faible incidence sont plus souvent utilisés dans les zones urbaines et aménagées et comportent une solution d'ingénierie plus poussée, par exemple, les rigoles de drainage, le pavé perméable et les toits verts. Au Canada, il existe des variations additionnelles : le gouvernement du Canada a inclus l'énergie propre dans sa définition d'infrastructure verte et utilise le terme « infrastructure verte vivante » dans la définition plus courante d'infrastructure naturelle (Municipal Natural Assets Initiative, 2017).

En revanche, l'infrastructure construite, soit l'« infrastructure grise » se rapporte à l'infrastructure traditionnelle (ou traditionnellement construite), comme les usines d'épuration des eaux usées, les digues, les conduites et les levées. L'infrastructure grise est traditionnellement l'option la plus courante dans la lutte contre les dangers climatiques dont il est question dans le présent rapport. Bien qu'une grande expertise existe quant à la façon de concevoir, de construire et d'entretenir l'infrastructure grise, cette dernière s'adapte moins bien aux conditions changeantes comme l'accroissement du nombre de précipitations extrêmes, et a



une durée de vie limitée (Sutton-Grier, 2015). En outre, il est de plus en plus reconnu que les solutions hybrides, qui incorporent l'infrastructure naturelle et grise, seront requises pour traiter des conditions climatiques futures.

Chapitre 2 : Possibilités de solutions d'infrastructure naturelle

Le présent chapitre présente des renseignements généraux, des pratiques exemplaires et des exemples relatifs à la conception et aux applications d'infrastructure naturelle pour traiter de quatre dangers climatiques majeurs :

1. les tempêtes et les inondations côtières;
2. les inondations fluviales;
3. les eaux de ruissellement urbaines et rurales (inondations des terres);
4. les îlots de chaleur urbains.

La figure 1 du *Green Infrastructure Guide for Water Management* du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) offre un résumé de bon nombre de solutions d'infrastructure verte et naturelle pour les situations de tempêtes côtières, d'inondations fluviales et d'eaux de ruissellement en milieu urbain et rural décrites dans le présent chapitre (United Nations Environment Programme, 2014).

Enjeu de gestion des eaux (service principal à offrir)	Solution d'infrastructure verte	Emplacement				Solution d'infrastructure grise correspondante (au niveau du service principal)
		Bassin hydrographique	Plaine inondable	Milieu urbain	Côte	
Régulation de l'approvisionnement en eau (y compris l'atténuation de la sécheresse)	Re/boisement et conservation des forêts					Barrages et systèmes de pompage des eaux souterraines et de distribution de l'eau
	Reconnexion des rivières aux plaines inondables					
	Restauration/conservation des terres humides					
	Construction de terres humides					
	Collecte d'eau*					
	Espaces verts (biorétention et infiltration)					
	Pavés perméables*					
Régulation de la qualité des eaux	Épuration des eaux	Re/boisement et conservation des forêts				Usine d'épuration des eaux
		Tampons riverains				
		Reconnexion des rivières aux plaines inondables				
		Restauration/conservation des terres humides				
		Construction de terres humides				
		Espaces verts (biorétention et infiltration)				
	Contrôle de l'érosion	Re/boisement et conservation des forêts				Renforcement des pentes
		Tampons riverains				
		Reconnexion des rivières aux plaines inondables				
	Contrôle biologique	Re/boisement et conservation des forêts				Usine d'épuration des eaux
		Tampons riverains				
		Reconnexion des rivières aux plaines inondables				
		Restauration/conservation des terres humides				
	Contrôle de la température des eaux	Construction de terres humides				Barrages
		Re/boisement et conservation des forêts				
		Tampons riverains				
		Reconnexion des rivières aux plaines inondables				
Restauration/conservation des terres humides						
Modération des événements extrêmes (inondations)	Contrôle des inondations fluviales	Construction de terres humides				Barrages et levées
		Espaces verts (ombrage des cours d'eau)				
		Re/boisement et conservation des forêts				
		Tampons riverains				
		Reconnexion des rivières aux plaines inondables				
	Eaux de ruissellement urbaines	Restauration/conservation des terres humides				Infrastructure d'eaux de ruissellement en milieu urbain
		Construction de terres humides				
		Mise en place de détournements des eaux de crue				
	Contrôle des inondations côtières (tempêtes)	Toits verts				Digues
		Espaces verts (biorétention et infiltration)				
	Collecte d'eau*					
	Pavés perméables*					
	Protection/restauration des mangroves, des marais côtiers et des dunes					
	Protection/restauration des récifs (coraux/huîtres)					

Figure 1. Tableau récapitulatif des solutions d'infrastructure verte et naturelle figurant dans le *Green Infrastructure Guide for Water Management* (United Nations Environment Programme, 2014)

Tempêtes et inondations côtières

Les températures mondiales plus élevées entraînent une hausse du niveau de la mer et de la fréquence et de l'intensité des tempêtes côtières. Comme le Canada a un immense littoral doté de nombreuses petites collectivités et de quelques grandes collectivités, où se trouvent les activités économiques et les ressources culturellement appropriées, les tempêtes côtières et les inondations sont très préoccupantes. Les incidences sur les côtes varieront à l'échelle du pays

selon la géographie et la densité démographique (Government of Canada, 2016). Le Canada compte trois régions côtières distinctes : la côte est, la côte nord et la côte ouest. Certaines régions côtières seront assujetties à des taux d'inondation et d'érosion temporaires et permanentes plus élevés, alors que d'autres connaîtront peu de répercussions attribuables à la hausse du niveau de la mer en raison de l'élévation croissante du terrain, attribuable à l'ajustement isostatique glaciaire (Government of Canada, 2016).

Par exemple, sur la côte ouest de la Colombie-Britannique, le mouvement terrestre vertical réduira l'effet de la hausse du niveau de la mer mondial. Toutefois, les ondes de tempête et les inondations posent toujours un risque important pour les régions côtières de la C.-B. La côte nord a connu certains des taux de changement climatique les plus rapides au Canada jusqu'à maintenant, aggravant certaines vulnérabilités existantes (comme l'érosion côtière) des petites populations autochtones éloignées qui y résident principalement (McClern, 2018). En outre, la fonte de la glace de mer et ses conséquences constituent une grave préoccupation pour cette région. Sur la côte est, l'acidification des océans, les répercussions de la hausse du niveau de la mer sur l'érosion côtière et les ondes de tempête, et la couverture de glace de mer sont les principales préoccupations (Government of Canada, 2016). Les solutions d'infrastructure naturelle appropriées varieront ainsi selon les régions côtières et les conditions locales.

Une gamme de stratégies d'infrastructure naturelle peuvent être appliquées dans plusieurs emplacements et contextes afin d'atténuer les risques climatiques côtiers. Ces stratégies peuvent améliorer la résilience communautaire face aux dangers et aux risques climatiques (p. ex., en stabilisant les sols et en atténuant les vagues) tout en fournissant des avantages communs comme l'agrandissement des habitats et l'embellissement. L'infrastructure naturelle peut également soutenir l'adaptation côtière locale face à la hausse du niveau de la mer (DG Blair, communication personnelle, 1^{er} mai 2018, faisant référence à (Lamont, Readshaw, Robinson, & St-Germain, 2014)).

Les sections suivantes fournissent plus de détails et des exemples d'études de cas sur les pratiques relatives à l'infrastructure naturelle afin de réduire les risques associés aux tempêtes côtières et aux inondations.

Possibilités d'atténuation des risques climatiques

Les approches visant l'amélioration de la résilience côtière au moyen de l'infrastructure naturelle comprennent, entre autres, la restauration des écosystèmes (p. ex., les rives vivantes), les approches hybrides (p. ex., les dunes solidifiées) et les approches localisées (p. ex., les retraits et les remplacements gérés). Les types de stratégies de résilience côtières fondées sur la nature les plus courantes comprennent (Webb, 2018) :

- **Marais salés** : Les marais salés procurent de nombreux avantages pendant les orages ainsi que lorsqu'il n'y a pas d'orage. Selon le niveau d'eau, la végétation des marais peut efficacement dissiper l'énergie des vagues, réduire la vitesse de l'eau, réduire la profondeur des inondations dans le marais, réduire la hauteur des vagues, réduire la portée des inondations et minimiser les pertes nettes de sédiments.
- **Forêts maritimes** : Les forêts maritimes se rapportent aux forêts côtières d'arbres et d'arbustes des hautes terres, par opposition aux mangroves et aux marais. Les forêts

maritimes sont efficaces pour réduire la hauteur des vagues et la portée des inondations des terres.

- **Récifs** : Les récifs ont la capacité de réduire l'énergie des vagues. Leur contribution à la réduction des ondes de tempête n'est pas substantielle, mais ils peuvent contribuer aux changements des niveaux d'eau moyens en brisant les vagues.
- **Plages** : En cas d'événement pluviohydrologique, les plages (notamment le sable fin, le sable grossier et les cailloux) agissent initialement comme un volume de matériel érodable. Puis, une fois la plage submergée pendant un orage, les plages dissipent l'énergie des vagues. Les plages plus vastes et les plages ayant une dénivellation de berme plus élevée offrent une plus grande protection de l'infrastructure terrestre.
- **Dunes** : Les dunes de sable offrent des avantages protecteurs pendant les événements pluviohydrologiques en éliminant ou en réduisant les inondations causées par les ondes de tempête et l'action des vagues derrière elles.
- **Combinaisons de solutions** : Des combinaisons appropriées de solutions fondées sur la nature peuvent donner lieu à des avantages supérieurs à ceux atteints individuellement. Par exemple, la combinaison d'une huître restaurée à la végétation de marais peut avoir une plus grande répercussion sur la réduction de l'énergie des vagues que chacune des approches utilisées individuellement.
- **Solutions hybrides** : Les caractéristiques naturelles sont les plus efficaces pour atténuer les dangers en cas d'événements d'intensité faible à moyenne. La combinaison d'approches naturelle et d'infrastructure grise peut permettre d'accroître la résilience de l'infrastructure et de l'écosystème face aux événements à intensité plus élevée.

Rives vivantes

L'approche de rives vivantes recrée les écosystèmes côtiers pour fournir des services écosystémiques stabilisants. Les pratiques courantes comprennent la réduction de la pente, l'ajout de biomasse dans les berges et l'établissement de couvert végétal. Ces stratégies stabilisent le sol, favorisent la croissance des plantes, atténuent les vagues et créent et améliorent l'habitat. Selon les particularités des sites, comme la région géographique, le climat local et les principales préoccupations relatives aux dangers, les écosystèmes de rives vivantes peuvent prendre différentes formes, notamment de récifs d'huîtres, de marais salant et de pentes végétalisées (Ecology Action Centre, Undated).

En Nouvelle-Écosse, l'Ecology Action Centre a appliqué l'approche de rives vivantes à quatre emplacements le long de la côte. Un de ces emplacements était l'île Caribou, où le principal risque lié au climat était l'érosion. L'Ecology Action Centre a planté des végétaux (des boutures d'espèces d'arbres tolérant le sel et contrôlant l'érosion), a placé du foin sur le sol exposé et a fabriqué et mis en place des tapis d'aulne sur le foin. Ces stratégies ont immédiatement réduit l'érosion tout en améliorant les conditions pour la croissance future de plantes et le contrôle subséquent de l'érosion (Ecology Action Centre, 2014).

Dans la région de la baie de Fundy, la restauration des marais salés a commencé en 2010 alors qu'une vieille digue a dû être détruite, permettant aux marées de revenir. Le projet de restauration a été lancé à la suite de préoccupations concernant l'atténuation de l'érosion et de la hausse du niveau de la mer ainsi que la disparition et la dégradation des marais salés dans la

région. Le projet a fait l'objet de surveillance afin que les futurs efforts de restauration puissent tirer des leçons de son exemple (New Brunswick, 2010; Calnan, 2015).

Une étude réalisée en Colombie-Britannique en 2014 a comparé le coût de l'infrastructure grise à celui des approches naturelles visant l'amélioration de la résilience face à la hausse du niveau de la mer, et a conclu que les approches naturelles coûtent environ 30 à 50 % de moins à construire (Lamont, Readshaw, Robinson, & St-Germain, Greening Shorelines to Enhance Resilience, An Evaluation of Approaches for Adaptation to Sea Level Rise, 2014)

Terres humides

Kumar et coll. (2017) ont constaté que les terres humides en général constituent une option efficace pour réduire les risques de catastrophe dans les environnements riverains et côtiers. Les terres humides côtières, comme les marais salants, peuvent agir comme des zones tampons contre les ondes de tempête, réduire l'énergie des vagues, accroître la sédimentation et réduire l'érosion et les déplacements de sédiments (Spalding, 2014; Kumar, 2017). D'autres écosystèmes côtiers, comme les récifs de corail, les plages, les dunes, les îles-barrières, les herbiers marins et les récifs de crustacés et de coquillages peuvent avoir des effets semblables à ceux des terres humides. Ces options d'infrastructure naturelle se sont avérées efficaces pour dissiper l'énergie des vagues, favoriser le dépôt et la capture de sédiments, et atténuer les courants. Un autre avantage important lié aux écosystèmes côtiers est la capacité de certaines de ces options à croître afin de demeurer fonctionnelles au moment de faire face à la hausse du niveau de la mer (Spalding, 2014).

Le Nouveau-Brunswick a officiellement reconnu ces avantages et cherche à en bénéficier au moyen de ses politiques. En 2002, la Province a publié la Politique de conservation des terres humides du Nouveau-Brunswick, qui vise à prévenir la perte d'habitat de terres humides d'importance provinciale (THIP) et la moindre altération des fonctions de toutes les autres terres humides. Au Nouveau-Brunswick, tous les marais côtiers sont considérés comme des terres humides d'importance provinciale en vertu de cette politique et seules les activités visant à remettre en état, à restaurer ou à améliorer une THIP ou les activités jugées essentielles pour le bien public seraient autorisées à l'intérieur ou à moins de 30 mètres d'une THIP. La politique énonce l'importance des terres humides en raison de leur capacité à protéger la santé humaine et des écosystèmes, à améliorer les habitats et à soutenir la biodiversité, et à assurer une protection contre les inondations et les ondes de tempête tout en stabilisant les rives. Les terres humides sont également reconnues pour leur capacité à fournir des possibilités récréatives, scientifiques, esthétiques, spirituelles, culturelles et d'approvisionnement. La Politique présente aussi une analyse de rentabilisation pour la conservation des terres humides, énonçant que les pertes antérieures de terres humides ont entraîné des dommages alimentaires importants ainsi que « d'importantes répercussions sur l'économie locale et provinciale » (New Brunswick Natural Resource and Energy, Environment and Local Government, 2002).

Dunes et plages

Les dunes peuvent servir – en tant que telles et en les modifiant – de solutions d'infrastructure naturelle pour atténuer les dangers comme l'érosion et les inondations. Par exemple, l'ajout de

dunes et d'Ammophile à ligule courte, la restauration par l'ajout de sable, ou la création de « dunes solidifiées » hybrides ayant de l'enrochement recouvert de sable et d'Ammophile à ligule courte sont toutes des stratégies viables (fonctionnaire, ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick). Cette approche hybride peut être particulièrement utile du point de vue opérationnel et politique : la roche procure de la protection et le sable et les herbes sont faciles à entretenir, alors que l'ajout de certaines composantes d'infrastructure grise permet d'accroître les chances d'obtenir le soutien de la communauté du génie. Il est particulièrement important d'accroître le taux d'adoption par les ingénieurs puisqu'ils sont les professionnels à qui on a recours pour mettre en œuvre toutes les sortes de solutions d'infrastructure. Trouver des moyens pour que les ingénieurs soutiennent l'infrastructure naturelle peut aider à hausser l'adoption dans les différents secteurs et projets (fonctionnaire, ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick).

Les plages sont aussi d'importantes formes d'infrastructure naturelle côtière. La Federal Highway Administration (FHWA) des États-Unis a examiné plusieurs exemples où on utilisait l'infrastructure naturelle pour protéger les routes côtières (Webb, 2018). Dans un exemple, à Yorktown, en Virginie, la création de petites plages stabilisées par des promontoires de roches a permis d'avoir un front résistant aux orages qui protège l'infrastructure côtière avoisinante contre les inondations et les dommages, et ce moyen s'est avéré efficace pour résister à l'ouragan Isabel en 2003 (avec certaines pertes de sable, mais aucun dommage aux brise-lames en enrochement), un événement pluviohydrologique à récurrence de 100 ans. Les avantages communs additionnels de ces petites plages comprennent l'amélioration du tourisme et la hausse du nombre d'habitats d'oiseaux de rivage et d'habitats en zone intertidale.

Approches à petite échelle

La protection côtière peut aussi prendre la forme de projets d'infrastructure naturelle à petite échelle. Par exemple, The Nature Conservancy (2014) a mis en œuvre plusieurs projets d'étude de cas d'infrastructure naturelle sur les côtes de la Californie. À un des emplacements faisant l'objet d'une étude de cas, Surfers Point, le retrait géré de l'infrastructure vulnérable (une piste cyclable et un stationnement) et le remplacement des actifs vieillissant par des dunes et des cailloux naturels ont permis de réduire l'érosion et d'entretenir la valeur esthétique. À un autre de ces emplacements, Aramburu Island, l'installation de gravier et de cailloux le long de la plage de l'île a permis d'améliorer la résistance à l'érosion à un coût inférieur à celui de l'installation d'enrochement.

Pratiques exemplaires relatives à la conception et aux applications

Les experts ont déterminé plusieurs pratiques exemplaires de promotion et de mise en œuvre de l'infrastructure naturelle pour réduire les répercussions des inondations et des tempêtes côtières. Spalding et coll. (2014) font valoir l'inclusion d'options écologiques dans les décisions en matière de résilience, puisque cette pratique permettra d'accroître l'adoption de l'infrastructure naturelle en vue de la protection côtière. Ils ont aussi recommandé des approches de gestion particulières pour la planification de l'infrastructure naturelle. Celles-ci comprennent le ciblage des aires marines protégées pour protéger les habitats sur place, la

restauration d'habitats, le remaniement géré pour réharmoniser les terres côtières au régime de marées et l'adoption de l'infrastructure hybride grise et verte (Spalding, 2014).

Dans ses études des petites plages et d'autres interventions, la FHWA a constaté que la surveillance était une stratégie importante pour assurer la réussite de l'infrastructure naturelle, puisque celle-ci permettait de réaliser des ajustements au fil du temps en se fondant sur les données de performance. En effet, le groupe de travail fédéral, provincial et territorial sur la biodiversité, Biodiversité Canada, considère la surveillance et la communication de la performance comme une étape fondamentale de son cadre adaptatif axé sur les résultats en matière de biodiversité (Environment and Climate Change Canada, 2016)

La FHWA a aussi constaté que l'incorporation des caractéristiques des écosystèmes locaux dans la conception des projets d'infrastructure naturelle pouvait permettre d'éviter des obstacles au moment de la mise en œuvre. En utilisant la végétation locale et en tenant compte des processus côtiers physiques propres aux sites, des besoins écologiques et des conceptions et des matériaux appropriés aux emplacements, les projets de protection côtière peuvent procurer les plus grands avantages tout en évitant les conséquences négatives indésirables comme la restriction des déplacements des espèces ou l'introduction d'espèces envahissantes (Webb, 2018).

Inondations fluviales

Les inondations fluviales sont habituellement causées par des facteurs comme des précipitations intenses, une fonte des neiges accélérée et des embâcles dans les rivières. Ces risques devraient s'accroître alors que le changement climatique apporte plus de précipitations variées et intenses et de variations des températures saisonnières au Canada. La plupart des régions au Canada devraient connaître des précipitations quotidiennes et extrêmes plus abondantes. Les inondations plus graves influenceront sur la santé et le bien-être humains ainsi que sur l'infrastructure (Public Health Agency of Canada, 2018).

Les sections suivantes fournissent de l'information et des pratiques exemplaires sur le recours à l'infrastructure naturelle pour réduire les risques associés aux inondations fluviales actuelles et futures.

Possibilités d'atténuation des risques climatiques

Les solutions d'infrastructure naturelle courantes pour contrer les inondations fluviales mettent l'accent sur la capacité de la plaine inondable naturelle à absorber l'eau et à autrement atténuer les inondations. Cela peut être réalisé en protégeant les plaines inondables naturelles existantes, en restaurant les plaines inondables en écosystème plus naturel et en créant de nouveaux écosystèmes dans les régions inondées. Il est également possible de faire des modifications au niveau écosystémique pour détourner, bloquer et atténuer les eaux de crue. Parmi les approches courantes fondées sur la nature visant à atténuer les inondations fluviales, notons :

- **La conservation des plaines inondables** : La stratégie de protection la plus efficace contre les inondations fluviales est la conservation des plaines inondables. Cette option

implique la préservation des écosystèmes naturels existants qui servent déjà à absorber et à autrement atténuer les inondations (Sabine Dietz, communication personnelle, 18 mai 2018).

- **La restauration des terres humides intérieures** : Les terres humides intérieures constituent une importante ressource d'atténuation des inondations fluviales grâce à leur capacité de recueillir et de retenir les eaux de crue, puis de les relâcher progressivement. Elles absorbent efficacement les inondations et aident à réguler les débits d'eau (Kumar, 2017). Les terres humides intérieures peuvent être créées dans des régions nécessitant des protections contre les inondations, en tenant compte des considérations et du contexte écologiques appropriés.
- **Les zones de recul** : Cette stratégie garde l'infrastructure à l'écart des plaines inondables et restaure les canaux à leur configuration historique (FEMA, 2017).
- **Les canaux à deux niveaux** : Un canal supérieur évacue les eaux de crue et un canal inférieur offre un habitat et un transport amélioré des sédiments (FEMA, 2017).
- **Les canaux d'évacuation des crues** : Cette approche comprend la construction de canaux additionnels pour accroître la capacité d'évacuation des eaux de crue tout en améliorant les habitats (FEMA, 2017).
- **L'ajout de structures en cours d'eau** : Ces structures (comme des terrasses de rochers et des bancs aménagés) peuvent détourner le débit pour prévenir l'érosion (FEMA, 2017).
- **La végétation et l'ensemencement des rives** : La végétation peut stabiliser le sol et les berges afin de prévenir l'érosion et d'atténuer les inondations tout en améliorant les habitats et la qualité esthétique de la zone (FEMA, 2017; Native Plant Solutions, 2016).

Conservation

La reconnaissance des avantages liés aux plaines inondables existantes et leur préservation grâce à des efforts de conservation constitue une stratégie passive qui évite l'aménagement de zones naturelles. Par exemple, The Nature Conservancy a acquis des servitudes sur des terres agricoles dans la plaine inondable de la rivière Santa Clara, en Californie, à des fins de préservation. Cela a permis de laisser les inondations naturelles survenir dans la plaine inondable non aménagée, atténuant ainsi les risques et les potentiels coûts et dommages (The Nature Conservancy, 2014). La conservation est souvent moins coûteuse que les mesures correctives comme la restauration ou la création d'écosystèmes, puisque la restauration implique souvent d'importants coûts initiaux découlant de l'élimination des obstacles pour la régénération des écosystèmes; de plus, les activités de restauration ne sont souvent pas initialement fructueuses et peuvent nécessiter plusieurs interventions (Florence Daviet, communication personnelle, 8 mai 2018).

La conservation est souvent beaucoup moins coûteuse que les solutions d'infrastructure grise. Par exemple, la Ville de Gibsons, en Colombie-Britannique, envisageait une option d'ingénierie pour gérer les eaux de ruissellement. Lorsque la Ville a comparé les coûts du projet proposé à ceux associés à une solution naturelle se fondant sur la restauration et l'agrandissement d'une aire de parc locale, elle a conclu que la solution naturelle fournissait le même niveau de service, ou un niveau supérieur, à des coûts d'immobilisations et d'entretien inférieurs (Emanuel Machado, communication personnelle, 4 mai 2018).

Restauration des plaines inondables et des terres humides intérieures

La restauration des plaines inondables et des terres humides intérieures peut être une stratégie très efficace pour réduire les inondations fluviales tout en procurant une vaste gamme d'autres avantages. Les exemples ci-dessous décrivent la façon dont plusieurs provinces et territoires ont appliqué cette approche.

Le Watershed Resiliency and Restoration Program de l'Alberta a déterminé que les inondations et les sécheresses constituaient d'importants enjeux liés aux bassins hydrographiques, et s'emploie à atténuer ces dangers grâce à des « approches d'atténuation relatives aux bassins hydrographiques », qui « mettent l'accent sur la création ou l'amélioration des systèmes naturels comme les terres humides et les zones riveraines pour améliorer le fonctionnement des bassins hydrographiques » [traduction] (Alberta Government, 2017). Il s'agit d'un exemple d'une province qui recourt à des solutions d'infrastructure naturelle pour atténuer les dangers liés au climat.

En Ontario, l'Office de protection de la nature de Toronto et de la région (TRCA) s'est concentré sur la restauration et la préservation des terres humides et des plaines inondables dans ses efforts de restauration des anciennes décharges Brock North et South. Le TRCA a acquis les sites des décharges dans le but de créer des systèmes naturels autonomes qui contribuent à la santé du bassin hydrographique du ruisseau Duffins. Il a élaboré un plan de restauration qui énonçait clairement le contexte de planification, y compris les conditions existantes et planifiées au site et à la zone adjacente (p. ex., patrimoine naturel, habitat écologique, patrimoine culturel et ressources archéologiques, vocations et conditions socioéconomiques des terrains adjacents, réseaux routiers et vocations de terrain potentielles sur place), et les cibles des stratégies et des plans régionaux et locaux appropriés (p. ex., la Terrestrial Natural Heritage System Strategy, le Duffins Creek and Carruthers Creek Watershed Management Plan, le plan officiel de la Ville de Pickering et la Loi sur l'eau saine de l'Ontario).

Le plan de restauration énonce les objectifs du projet, la méthodologie, la sélection du site et les zones de restauration (réparties selon la restauration terrestre ou aquatique), et le plan de mise en œuvre. L'équipe a utilisé le système d'information géographique et réalisé des travaux sur place pour cerner les possibilités de restauration, et en a ensuite déterminé l'ordre de priorité afin de concentrer ses efforts sur les sites étant grandement modifiés et détériorés, manifestant une incapacité majeure à fonctionner naturellement de façon appropriée, ou sur les endroits où la restauration entraînerait d'importants avantages.

Les stratégies mêmes portaient sur la restauration terrestre, hydrologique, fluviale, riveraine et des terres humides, ainsi que sur l'installation d'habitats essentiels pour la faune. Le drainage dans les zones riveraines devait être accru en plantant des espèces d'arbres et d'arbustes indigènes et convenant au sol humide. Les autres méthodes de restauration comprenaient le reprofilage de la topographie, des applications de sol additionnelles, et le retrait de l'infrastructure pour améliorer le drainage naturel. Les anciens drains agricoles en tuyaux devaient être retirés pour permettre aux sols de se saturer et de redevenir des terres humides (Toronto and Region Conservation for the Living City, 2011).

Alberta Environment and Parks est doté d'un Watershed Resiliency and Restoration Program conçu pour faire face aux inondations et aux sécheresses au moyen de la conservation, de la

restauration, de l'amélioration, de l'éducation, de la gestion, de la recherche et des données. En établissant ce programme, l'Alberta a fait de la résilience des bassins hydrographiques une priorité provinciale et a déterminé les régions de bassins hydrographiques prioritaires (Alberta Government, 2016). Le programme a jusqu'à maintenant réalisé cinq tours d'approbations de subventions. Parmi les projets bénéficiant de ces subventions, notons les projets de restauration des rives dans le sous-bassin hydrographique du ruisseau Modeste (bassin de la rivière North Saskatchewan), du bassin de la rivière Bow, du bassin de la rivière Red Deer et d'autres endroits (Alberta Government Environment and Parks, 2018).

Les travaux de restauration peuvent également être réalisés à plus petite échelle. Par exemple, à Saint-Adolphe, au Manitoba, Infrastructure et Transports Manitoba a supervisé le reverdissement d'un segment de 100 mètres de la rivière Rouge qui était vulnérable à l'érosion. Des boutures de saules ont été installées, ainsi que des plantations d'arbres et des herbes indigènes, dans le but de stabiliser la berge vulnérable (Native Plant Solutions).

Création de nouvelles zones naturelles

Un autre projet important entrepris par le TRCA et des partenaires était le Lower Don River West Remedial Flood Protection Project, qui a donné lieu à la construction d'une forme de relief pour la protection contre les inondations afin d'atténuer celles-ci dans une zone à haut risque pour les biens et les intervenants. Waterfront Toronto a construit une grande berme le long de la rivière qui constitue un obstacle physique aux eaux de crue. Cette berme a été construite par-dessus un ancien terrain industriel, tirant son sol propre de chantiers de construction régionaux pour transformer cette ancienne zone industrielle en parc attrayant doté de commodités et d'habitats naturels (TRCA, 2015). À ce projet s'est ajouté un projet d'infrastructure grise à proximité, dans le cadre duquel un pont traversant la rivière a été élargi afin de permettre un débit d'eau plus important et de réduire encore davantage les risques de dommages causés par des inondations. De manière semblable, Toronto a naturalisé l'embouchure de la rivière Don pour retransformer le site pollué et industrialisé en un habitat naturel prospère offrant une protection accrue contre les inondations (TRCA, 2018).

Pratiques exemplaires relatives à la conception et aux applications

La présente section indique des pratiques exemplaires et des leçons tirées de l'utilisation d'infrastructure naturelle pour réduire les inondations fluviales, se fondant sur des projets mis en œuvre par les gouvernements et les collectivités.

Le maintien de l'infrastructure naturelle et des écosystèmes existants est généralement la méthode la plus efficace et la plus rentable afin de bénéficier des avantages de l'infrastructure naturelle pour limiter les inondations fluviales, et pour préserver ces avantages (Emanuel Machado, communication personnelle, 4 mai 2018). Cette approche atténue la nécessité de créer une nouvelle infrastructure naturelle sur place et procure des résultats immédiats dans la réduction des risques d'inondation.

Au moment de concevoir de nouvelles zones naturelles, les intervenants ont constaté qu'il est préférable de garder à l'esprit les besoins plus vastes des habitats. Dans son plan de restauration, le TRCA recommandait qu'au moment de restaurer les anciennes décharges

Brock, l'habitat naturel résultant devait créer de plus vastes habitats et accroître la connectivité des habitats tout en gérant les espèces envahissantes. L'incorporation de ces types de considérations dans la conception de projet peut mener à un écosystème plus sain qui est plus résilient face aux pressions des utilisateurs et à l'aménagement local des terres (Toronto and Region Conservation for the Living City, 2011).

L'inclusion de composantes infrastructurelles permettant l'accès aux zones naturelles le long des cours d'eau peut faire accroître la participation des parties prenantes et des collectivités. Par exemple, la berme construite le long du cours inférieur de la rivière Don à Toronto a été transformée en parc local avec commodités pour les résidents locaux (TRCA, 2015). Dans un autre cas où il était question d'un projet d'atténuation des inondations le long de la rivière Napa, en Californie, la collectivité locale et les autorités de réglementation de la qualité de l'eau ont choisi une approche de « rivière vivante » plutôt que des options d'infrastructure grise. La restauration de cet habitat a permis de créer une promenade sur les berges et d'améliorer l'esthétique sociale de la rivière. Même si les coûts d'immobilisations de ce projet étaient plus élevés que ceux des options d'infrastructure grise, les intervenants locaux ont fortement appuyé l'option d'infrastructure naturelle, illustrant la valeur des avantages communs liés à l'infrastructure naturelle (The Nature Conservancy, 2014).

Eaux de ruissellement urbaines et rurales

Alors que les populations urbaines et rurales continuent de croître et de se développer, la superficie de surfaces dures et imperméables à l'eau de pluie s'agrandit et les schémas de débit d'eau changent, ce qui a des répercussions sur l'hydrologie des bassins hydrographiques (Water Canada, 2017). Les surfaces perméables, comme les espaces ouverts et les forêts, sont remplacées par des surfaces imperméables de fabrication humaine, comme des stationnements et des routes. Une hausse des surfaces imperméables entraîne une augmentation du ruissellement, puisque la quantité de pluie qui pénètre le sol ou qui est absorbée par la végétation est moindre (City of Vancouver, 2018b).

En raison de l'urbanisation, les débits de pointe au Canada ont augmenté de façon continue au Canada de 1969 à 2010 et sont aussi devenus plus variables (Water Canada, 2017). Ces ruissellements remplis de polluants se déversent dans les collecteurs d'eaux pluviales pour aboutir dans les cours d'eau, et peuvent entraîner des inondations, des accumulations des eaux et des risques en matière de santé et de sécurité (City of Vancouver, 2018b). Des quantités excessives de ruissellement peuvent éroder les rives des cours d'eau, entraîner des inondations localisées, contribuer aux débordements des égouts et faciliter la transmission de maladies propagées par les moustiques ou causer des fuites ou des dommages aux édifices ou à l'infrastructure (p. ex., dans le cas d'une accumulation excessive des eaux sur un toit vert (American Rivers, Water Environment Federation, American Society of Landscape Architects & ECONorthwest, 2012; Credit Valley Conservation and Toronto and Region Conservation Authority, 2010). Ces effets sont aggravés par le changement climatique, qui contribue aussi à un accroissement des inondations, à des débits d'eau plus variables et à une prévalence accrue des maladies à transmission vectorielle.

L'infrastructure naturelle atténue la pollution et les eaux de ruissellement excédentaires en recourant à l'évapotranspiration, à la filtration et à l'infiltration, et en prévenant les ruissellements excessifs des surfaces imperméables qui peuvent avoir des incidences négatives sur les cours d'eau locaux, les immeubles, les terrains et les océans. Pour accroître la fonction de l'infrastructure naturelle qui atténue les inondations des terres, des mesures devraient être prises pour aider à retirer les polluants comme les produits pétroliers de l'eau avant qu'ils soient filtrés dans l'infrastructure naturelle (fonctionnaire, ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick).

Il est aussi important de noter que les pratiques appropriées relatives à l'infrastructure naturelle varieront selon les emplacements et les besoins locaux. Par exemple, une collectivité qui connaît des inondations causées par les eaux de ruissellement excédentaires pourrait être intéressée par les approches ciblant le captage et l'évaporation de l'humidité excessive, alors qu'une autre collectivité dont l'eau potable est alimentée par les réserves d'eaux souterraines pourrait être intéressée par les approches soutenant l'infiltration pour remplir les aquifères (Jenny Hill, communication personnelle, 9 mai 2018).

Les sections suivantes fournissent des exemples d'études de cas et plus de détails sur les pratiques relatives à l'infrastructure naturelle pour la gestion des eaux de ruissellement.

Possibilités d'atténuation des risques climatiques

Parmi les solutions d'infrastructure naturelle pour la gestion des eaux de ruissellement, notons (EPA, 2018b) :

- les toits verts;
- les rigoles de drainage;
- les bassins de biorétention;
- les jardins de pluie;
- les arbres urbains;
- les dépressions végétatives.

Les pratiques relatives à l'infrastructure naturelle peuvent aussi être complétées par les pratiques relatives à l'infrastructure verte, comme les chaussées perméables qui aident à contrôler les eaux de ruissellement par des moyens physiques.

Toits verts

Les toits verts consistent en des espaces contenus de végétation sur les toits des immeubles, servant à recueillir l'eau de pluie, à réduire le ruissellement et à contrer l'effet des îlots de chaleur urbains (Green Infrastructure Ontario Coalition, 2016b; City of Vancouver, 2016). Les toits verts sont aussi avantageux pour aider à réduire l'utilisation d'énergie et à améliorer la qualité de l'air, et ne nécessitent pas l'espace de terrain additionnel requis par les autres stratégies de gestion des eaux de ruissellement (EPA, 2008; City of Vancouver, 2016). Les toits verts peuvent aussi offrir des espaces naturels pour les interactions communautaires, l'agriculture et la biodiversité dans un milieu urbain (Green Infrastructure Ontario Coalition, 2016b). Les toits verts nécessitent de l'entretien régulier, comme le désherbage, et peuvent

aussi nécessiter des réparations au fil du temps, bien que l'U.S. EPA estime que la vie prévue d'un toit vert est environ deux fois celle d'un toit traditionnel (EPA, 2008).

Le Green Roof Innovation Testing Laboratory (GRIT Lab) à la University of Toronto mène des recherches sur les dernières technologies de toits verts. Ces recherches portent notamment sur la quantification du degré de gestion des eaux de ruissellement et de refroidissement par évaporation des toits verts, qui varient selon le matériel de croissance, la profondeur, la végétation et l'irrigation (University of Toronto, Undated).

Rigoles de drainage

Les rigoles de drainage utilisent de l'herbe, d'autres végétations, des roches et une surface en pente pour capter et rediriger les eaux de ruissellement excédentaire vers le sol (American Society of Landscape Architects, 2018; Green Infrastructure Ontario Coalition, 2016d). Les rigoles de drainage sont souvent mises en œuvre le long des rues pour garder les eaux de ruissellement loin de l'infrastructure sensible, et sont souvent utilisées conjointement avec des bassins de biorétention (American Society of Landscape Architects, 2018; Georgetown Climate Center, 2018). En plus de leurs avantages liés aux eaux de ruissellement, elles peuvent réduire les polluants, réduire les températures, réapprovisionner les eaux souterraines et améliorer la qualité de l'air et de l'eau (American Society of Landscape Architects, 2018; Georgetown Climate Center, 2018; Green Infrastructure Ontario Coalition, 2016d). Finalement, les rigoles de drainage sont souvent agréables au plan esthétique et font potentiellement accroître la valeur des terrains (Georgetown Climate Center, 2018).

Bassins de biorétention

Les bassins de biorétention sont conçus pour recueillir et retenir l'eau excédentaire et permettent un retour de l'eau dans le sol par filtration lente, réalimentant l'approvisionnement en eau souterraine. Le processus d'évapotranspiration intervient également, éliminant certaines des eaux de ruissellement recueillies, et la végétation aide à retirer les polluants des eaux de ruissellement (American Society of Landscape Architects, 2018). Les bassins de biorétention sont habituellement conçus pour retenir l'eau pendant 24 à 48 heures afin d'éviter son accumulation et de faciliter son retour dans le sol par filtration lente (Credit Valley Conservation and Toronto and Region Conservation Authority, 2010). La taille et la profondeur du bassin de biorétention dépendront des conditions hydrologiques locales.

Jardins de pluie

Les jardins de pluie peuvent aider à retenir les eaux de ruissellement grâce à l'infiltration (Green Infrastructure Ontario Coalition, 2016d; City of Vancouver, 2016). Les jardins devraient être placés à des endroits où les eaux de ruissellement dépassent la capacité de drainage, et peuvent capturer et filtrer les eaux de ruissellement avec la végétation et les sols et sous-sols construits dans un espace limité (Georgetown Climate Center, 2018; City of Vancouver, 2016). Les jardins de pluie peuvent être facilement mis en œuvre par les collectivités de toute taille et constituent souvent la première étape d'un engagement à long terme pour atténuer les eaux de ruissellement (fonctionnaire, ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick). Les jardins de pluie sont aussi appropriés pour les terrains privés et peuvent susciter de l'intérêt à l'égard

des pratiques exemplaires de gestion, tout en faisant accroître la sensibilisation du public à l'infrastructure naturelle (fonctionnaire, ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick).

Collecte d'eau de pluie

Les systèmes de collecte d'eau de pluie captent et stockent le ruissellement des surfaces de toit, et cette eau peut être utilisée pour des applications non potables comme l'aménagement paysager (City of Vancouver, 2016). Les systèmes de collecte d'eau de pluie peuvent être particulièrement utiles dans les régions arides et exposées à la sécheresse, où ils peuvent réduire les demandes d'approvisionnement en eau (Adham, Riksen, Ouessar, & Ritsema, 2016). Les programmes d'incitation comme le New York City Rain Barrel Giveaway Program se sont avérés efficaces pour réduire les débordements d'égouts en capturant et en stockant les eaux de ruissellement qui tombent sur les toits (New York City, Department of Environmental Protection, 2018).

Arbres urbains

L'effet cumulatif des arbres urbains offre une multitude d'avantages en matière de gestion des eaux de ruissellement aux municipalités (Green Infrastructure Ontario Coalition, 2016e). Les racines d'arbres sont essentielles pour atténuer les inondations des terres en rassemblant et en retenant l'eau excédentaire et en stabilisant le sol. Les projets d'infrastructure naturelle liés aux arbres urbains mettent l'accent sur la rétention, la restauration ou la création d'espaces boisés, comme des parcs, et sur la plantation et l'entretien d'arbres le long des rues. La réussite des arbres urbains à titre de stratégie d'atténuation des eaux de ruissellement repose sur la sélection des espèces, les conditions d'ensemencement et l'entretien, ces facteurs dépendant tous des conditions locales et des ressources de la municipalité.

Pratiques exemplaires relatives à la conception et aux applications

Un nombre croissant de municipalités canadiennes mettent en œuvre des programmes d'infrastructure naturelle pour réduire la pollution d'eau locale et mieux contrôler les eaux de ruissellement. La présente section indique des leçons tirées des programmes et des projets mis en œuvre par les gouvernements et les collectivités.

Études de cas : Toronto, Ontario

Selon une étude réalisée par le Michigan Urban Land Institute en 2017, Toronto est dorénavant reconnue comme chef de file dans le domaine de l'infrastructure naturelle pour son programme de toits verts. Jusqu'à maintenant, ce programme a donné lieu à 11,2 nouveaux ha (1,2 million de pieds carrés) de végétation; à une réduction de 12 318 m³ (435 000 pieds cubes) d'eaux de ruissellement annuellement; à des économies d'énergie annuelles de 1,5 kWh pour les propriétaires d'immeubles; à la création de plus de 100 emplois liés à la fabrication, à la conception, à l'installation et à l'entretien de toits verts; et à une réduction des débordements d'égouts polluants (Carlson & White, 2017).

La Ville a aussi mis en œuvre plusieurs Green Streets Pilot Projects, y compris les projets des rues Fairford Parkette et South Station qui sont tous deux axés sur l'atténuation des eaux de ruissellement au moyen d'améliorations relevant du domaine public (Office de protection de la nature de Toronto et de la région, 2017; Park People, 2017; Sheila Boudreau, communication

personnelle, 3 mai 2018). Fairford Parkette utilise des zones de biorétention pour capturer les eaux de ruissellement excédentaires. La Ville a aussi conçu une série de critères d'évaluation pour évaluer l'ampleur de la réduction du ruissellement, la santé de la végétation et le niveau de sensibilisation du public. La proposition de projet pilote de Raindrop Plaza utilisera une combinaison de pavés perméables, de jardins de pluie, d'arbres et de tranchées d'infiltration pour atténuer les eaux de ruissellement. Le projet pilote est aussi unique du fait que la création d'avantages sociaux constituait un de ses principaux objectifs : des élèves de huitième année d'une école locale et un artiste torontois ont créé une image d'arbre pour le pavé perméable dans la zone centrale de places assises; et les élèves du secondaire de la First Nations School of Toronto ont créé un travail de perlage autochtone inspiré par l'« eau sacrée », qui sera photographié et transposé sur de larges panneaux artistiques pour l'entrée ouest de la plaza (Sheila Boudreau, communication personnelle, 3 mai 2018). Maintenant architecte paysagiste principale à l'Office de protection de la nature de Toronto et de la région, Sheila Boudreau, qui a organisé les projets pilotes de Raindrop Plaza, continue à chercher des moyens de faire participer les Premières nations à titre de partenaires dans des programmes d'infrastructure naturelle et verte, et des initiatives de planification et de conception, en vue de mettre en œuvre les appels à l'action de la Commission de vérité et réconciliation (Sheila Boudreau, communication personnelle, 3 mai 2018).

Études de cas : Vancouver, Colombie-Britannique

Le plan de gestion de l'eau de pluie de la Ville de Vancouver offre une stratégie à long terme relative à l'infrastructure naturelle pour protéger et améliorer la qualité de l'eau dans les plans d'eau autour de la ville. Le programme vise à capturer et à traiter 90 % des précipitations annuelles moyennes de Vancouver grâce à l'infrastructure naturelle et à des directives de conception modifiées, notamment la collecte d'eau de pluie, les rigoles d'infiltration, les tranchées d'infiltration, les jardins de pluie, les renflements d'infiltration, les toits verts, les ruisseaux remis à l'air libre, et les structures de tour d'arbres (City of Vancouver, 2018a).

À la University of British Columbia à Vancouver, l'immeuble du Centre for Interactive Research on Sustainability (CIRS) sert de modèle et de source de recherche pour la conception durable. L'immeuble a été terminé en 2011 et continue de servir de laboratoire vivant pour les conceptions novatrices. Il comprend des caractéristiques d'infrastructure naturelle comme un « toit vivant » de plantes indigènes, un « mur vivant » de végétation pour fournir de l'ombre, un système de traitement d'eau récupérée et un système de collecte d'eau de pluie. L'immeuble est aussi adjacent à un projet d'infrastructure naturelle qui comprend des plantes indigènes, la rétention d'eaux de ruissellement, la biofiltration et la réalimentation des eaux souterraines (Centre for Interactive Research on Sustainability, Undated).

Étude de cas : Ville de Gibsons, Colombie-Britannique

La Ville de Gibsons, au nord de Vancouver, a élaboré une stratégie qui pourrait contribuer aux efforts des municipalités à l'échelle du Canada et ailleurs pour améliorer la résilience climatique. La Gibsons Eco-Asset Strategy est une approche municipale de gestion financière qui vient compléter des stratégies d'entretien, de remplacement et de construction de l'infrastructure grise (p. ex., des routes et des égouts pluviaux) et de l'infrastructure naturelle (p. ex., des jardins de pluie, des parcs et des rigoles de drainage) (van Ham & Klimmek, 2017). L'approche met l'accent sur « la détermination des actifs naturels existants (forêts, espaces verts, horizon superficiel, aquifères, ruisseaux) qui procurent des services municipaux (p. ex., gestion des eaux de ruissellement), l'évaluation de la valeur des services municipaux fournie par ces actifs; et l'intégration de cette information dans la gestion des actifs afin de la rendre fonctionnelle » (van Ham & Klimmek, 2017). La Ville a déterminé que cette approche constituerait une stratégie rentable pour améliorer ses efforts d'adaptation au changement climatique et de résilience (van Ham et Klimmek, 2017; Ville de Gibsons, 2015).

Étude de cas : Waterloo, Ontario

L'immeuble Cora – dont la construction devrait être achevée à l'été 2018 – est un projet d'immeuble de bureau commercial qui intègre des composantes d'infrastructure naturelle comme les rigoles de drainage et la collecte d'eau de pluie. L'eau de pluie sera recueillie et utilisée pour actionner la chasse d'eau des toilettes et irriguer les sols. Des rigoles de drainage seront placées le long des stationnements pour retenir et nettoyer les eaux de ruissellement afin de réduire les répercussions sur l'infrastructure municipale relative aux eaux de ruissellement (Queen's Printer for Ontario, 2018).

Étude de cas : Parc Lakeside, Mississauga, Ontario

Le parc Lakeside, à Mississauga, en Ontario, a été réaménagé en 2012 dans le but d'intégrer des caractéristiques plus naturelles. Le nouveau parc a incorporé plusieurs types d'applications d'infrastructure naturelle, y compris des rigoles de drainage, de la végétation indigène, un système récupéré d'irrigation d'eau, et des toits verts pour atténuer les répercussions du changement climatique tout en faisant accroître la valeur esthétique (Green Infrastructure Ontario Coalition, 2017).

Îlots de chaleur urbains

Les îlots de chaleur urbains sont définis comme des secteurs bâtis dont les températures sont plus élevées que dans les zones rurales locales en raison de la capacité réduite de l'aménagement urbain à réfléchir la lumière du soleil et à réduire la transpiration (EPA, 2008; Government of Canada, 2010). Le remplacement continu de la végétation par l'infrastructure grise entraîne la création de plus en plus de surfaces imperméables et sèches. Ces surfaces absorbent une plus grande quantité de rayonnement solaire, ce qui donne lieu à des îlots de chaleur urbains (EPA, 2008).

Selon Santé Canada, 80 % des Canadiens vivent dans des villes où l'atmosphère urbaine est touchée par les changements d'origine humaine qu'entraînent la conception et l'aménagement urbains sur l'environnement (Government of Canada, 2010). Par exemple, il est possible que des canyons urbains de rayonnement solaire confiné soient créés le long des rues étroites en raison de la disposition et de la taille des immeubles, ce qui entraîne des températures plus élevées. D'autres surfaces, comme les routes pavées, les trottoirs de béton et les stationnements absorbent aussi le rayonnement solaire, faisant grimper les températures. Lorsque la végétation est remplacée par des immeubles, le processus de refroidissement par évapotranspiration est réduit, tout comme la capacité de circulation d'air frais vers les centres-villes (Government of Canada, 2010).

Les îlots de chaleur urbains aggravent les répercussions des événements de chaleur extrêmes, notamment l'accroissement des émissions de GES et de la pollution atmosphérique, qui exercent une pression additionnelle sur la santé des populations vulnérables comme les jeunes enfants, les adultes plus âgés, les sans-abri et les personnes ayant des maladies chroniques (Minister of Health, Canada, 2015; Komali Yenneti, 2017).

En plus des risques en matière de santé publique, les îlots de chaleur urbains entraînent une utilisation d'énergie accrue. L'accroissement de la demande d'énergie de refroidissement estivale associée aux îlots de chaleur urbains peut entraîner des pannes ou des restrictions à la consommation de l'électricité qui, à leur tour, peuvent avoir des incidences sur la réponse énergétique (Komali Yenneti, 2017).

Une gamme de stratégies d'infrastructure naturelle peuvent être appliquées dans plusieurs emplacements et contextes afin d'atténuer les effets des îlots de chaleur urbains tout en fournissant une gamme d'autres avantages énergétiques, économiques, de santé publique et de qualité de vie aux résidents urbains.

Les sections suivantes fournissent plus de détails et des exemples d'études de cas sur les pratiques relatives à l'infrastructure naturelle pour réduire les risques associés aux îlots de chaleur urbains.

Possibilités d'atténuation des risques climatiques

Beaucoup de collectivités prennent des mesures pour réduire les îlots de chaleur urbains au moyen de différentes stratégies, notamment l'accroissement du couvert forestier et de la couverture végétale. À ces stratégies relatives à l'infrastructure naturelle peuvent s'ajouter des composantes d'infrastructure verte ou grise qui mettent l'accent sur l'absorption du rayonnement solaire, comme l'installation de toits verts ou blancs et de toits ou de pavés réfléchissants.

Chacune de ces stratégies d'atténuation est abordée ci-dessous, présentant des exemples que des collectivités mettent en œuvre et les conclusions tirées de la documentation scientifique.

Arbres et autre végétation

Les arbres et les autres types de végétation aident à réduire les répercussions des îlots de chaleur en accroissant la quantité d'ombre et la capacité de refroidissement de l'air par évapotranspiration (EPA, 2008; Green Infrastructure Ontario Coalition, 2016e). Les forêts et les arbres du Canada sont essentiels à la création et au maintien de collectivités saines et résilientes, notamment en limitant les répercussions associées à l'effet des îlots de chaleur. Par conséquent, la valeur des forêts urbaines comme attraits du paysage a été estimée à plus de 500 millions de dollars pour les arbres de rue de Vancouver, à plus de 800 millions de dollars pour les arbres de boulevards et de parcs à Edmonton et à plus de 16 milliards de dollars pour les forêts urbaines de Toronto (Farr, Undated). En plus de réduire l'effet des îlots de chaleur, les arbres urbains procurent aussi des services à la collectivité, comme en haussant la qualité de l'air et de l'eau, et en réduisant la consommation d'énergie, entre autres avantages, ce qui ajoute une grande valeur aux forêts urbaines (Farr, Undated). Par exemple, environ 75 % des réserves en eau potable communautaires passent par des écosystèmes forestiers, qui modèrent la quantité d'eau et améliorent la qualité de l'eau au moyen de la filtration naturelle (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Undated). Comme le Canada a une base territoriale considérablement plus élevée dans les bassins hydrographiques forestiers, ce chiffre pourrait être au moins 80 % plus élevé (fonctionnaire, Ressources naturelles Canada). En outre, les forêts jouent un rôle important dans l'atténuation des répercussions du changement climatique en éliminant le carbone de l'atmosphère (Green Infrastructure Ontario Coalition, 2016e).

Reconnaissant ces avantages et ces services, plusieurs collectivités canadiennes ont établi des programmes de plantation des arbres; par exemple, à Hamilton, en Ontario, 2 100 arbres ont été plantés dans les rues de la ville depuis 2006; à Kelowna, en Colombie-Britannique, de 600 à 1 400 arbres sont plantés annuellement; et à London, en Ontario, on envisage de planter un arbre devant chaque résidence (Forkes et coll., 2009; Gouvernement du Canada, 2010).

Le couvert forestier dans la Ville de Toronto couvre actuellement 20 % de la ville. L'objectif de la Ville est d'obtenir un couvert forestier moyen de 35 % d'ici 2020. La plantation et la conservation sont deux stratégies mises en œuvre par la Ville afin d'atteindre l'objectif de 35 % pour réduire l'effet des îlots de chaleur. Toronto requiert que de nouveaux arbres soient plantés sur les terrains publics et privés. D'autres programmes, comme la Toronto Tree Canopy Grant, continuent à fournir des incitatifs aux propriétaires de terrains qui souhaitent planter des arbres sur leur terrain (Ville de Toronto, 2016).

Toutefois, les répercussions des événements catastrophiques sur les forêts peuvent être particulièrement nuisibles pour les collectivités se trouvant dans des paysages forestiers ou à proximité de ceux-ci (Krishnaswamy, Simmons, & Josph, 2012). Par exemple, les forêts dans les terres intérieures de la Colombie-Britannique ont été touchées par des épidémies d'insectes, qui entraînent des arbres affaiblis ou mourants, ce qui mène ensuite à d'importants feux de forêt sur des millions d'hectares de forêts (Krishnaswamy, Simmons, & Josph, 2012). Par conséquent, sans la capacité de rétention d'eau naturelle d'un paysage forestier sain, les collectivités comme Kelowna, en Colombie-Britannique, subissent des inondations plus importantes, qui entraînent des dommages aux autoroutes, aux routes et à d'autres éléments essentiels de l'infrastructure. En outre, ces répercussions touchent l'économie locale et la

capacité de commercialiser les ressources naturelles, les habitats de poissons et de faune, les valeurs environnementales et la santé publique, et la sécurité des collectivités avoisinantes.

Toits verts

Comme il a été discuté dans la section sur les eaux de ruissellement en milieu urbain et rural, les toits verts sont idéaux pour les régions urbaines denses qui n'ont autrement pas d'espace pour des arbres ou des parcs (The Trust for Public Land, 2016). Les avantages additionnels des toits verts comprennent la réduction de la température ambiante, l'amélioration de la qualité de vie, la réduction du bruit, la valeur esthétique et la production alimentaire (Healthy Air Living, 2011).

Approche hybride (toits verts et blancs)

En plus des toits verts, il est aussi possible d'utiliser des matériaux réfléchissants sur les toits qui abaissent les températures des immeubles et de l'air ambiant. Ces matériaux peuvent demeurer environ de 28 à 33 °C (50 à 60 °F) plus frais que les matériaux standards pendant les pointes de chaleur d'été (EPA, 2008). Les toits blancs aident à réduire la consommation d'énergie lorsque les températures sont élevées et, par conséquent, réduisent également les émissions de GES, permettent aux consommateurs d'économiser pour la climatisation et améliorent la qualité de l'air en réduisant les émissions polluantes. Lorsqu'ils sont installés en nombre suffisant à l'échelle d'une ville, les toits verts et les toits blancs peuvent aussi réduire l'effet d'îlots de chaleur urbains en abaissant des températures dans les collectivités (NRDC, 2012). D'autre part, les toits blancs peuvent entraîner des frais de chauffage plus élevés pendant l'hiver, particulièrement dans les régions où les toits ne sont pas habituellement couverts de neige pendant les mois d'hiver.

Pratiques exemplaires relatives à la conception et aux applications

La présente section indique des leçons tirées des stratégies d'atténuation des îlots de chaleur mises en œuvre par les gouvernements et les collectivités au Canada et ailleurs.

Arbres et autre végétation

Pour maximiser les avantages des arbres dans la réduction de l'effet d'îlots de chaleur urbains, les espèces sélectionnées devraient être de faibles émetteurs de pollen, de faibles émetteurs de composés organiques volatils (COV), tolérants à la sécheresse et plantés à des endroits appropriés pour maximiser les effets de chaleur et de refroidissement. Selon Arbres Canada, les grands arbres feuillus devraient être plantés aux côtés sud-est, sud-ouest et ouest d'une résidence ou d'une structure pour fournir de l'ombre et du refroidissement pendant l'été sans obstruer le soleil hivernal à bas angle (Tree Canada, Undated). L'exposition au soleil d'hiver est importante pour chauffer la maison ou la structure pendant l'hiver. En outre, la plantation d'arbres à feuillage persistant sur le côté nord d'une maison ou d'une structure bloque les vents froids d'hiver et aide à réduire la consommation d'énergie pour le chauffage des maisons (Tree Canada, Undated). Le Trust for Public Land a constaté que la plantation d'arbres d'est en ouest en groupe de trois (un à l'est et deux à l'ouest) a créé le plus grand potentiel de refroidissement (The Trust for Public Land, 2016). Toutefois, pour la majorité des Canadiens, demeurer au chaud pendant l'hiver est plus problématique et coûteux que demeurer au frais en été. Par

conséquent, les arbres à feuilles caduques sont plus avantageux que les conifères puisqu'ils procurent de l'ombrage en été et du soleil en hiver lorsque les feuilles tombent (The Trust for Public Land, 2016).

En outre, on a constaté que les arbres matures fournissent des avantages plus importants que les arbres immatures sur le plan du refroidissement (The Trust for Public Land, 2016). La sélection des emplacements pour les nouveaux arbres devrait donc être faite de manière à soutenir la longévité des arbres (The Trust for Public Land, 2016).

Au moment de sélectionner les arbres de rue urbains à planter, il est aussi important de sélectionner des variétés qui sont tolérantes au sel de voirie pour faire fondre la neige et la glace pendant l'hiver afin que les arbres puissent survivre jusqu'à maturité (Bassuk, Curtis, Marranca, & Neal, 2009). Les arbres ont aussi besoin d'être arrosés et entretenus régulièrement pendant quelques années après avoir été plantés, jusqu'à ce que les racines soient bien établies (Michelle Sawka, communication personnelle, 22 mai 2018). Les grilles de trottoirs devraient être conçues de manière à permettre une quantité suffisante de pénétration d'eau afin de répondre aux besoins en eau actuels et futurs des arbres. Ces efforts font grandement accroître les chances de survie des arbres jusqu'à maturité.

Parmi les effets néfastes potentiels notons la demande accrue en eau et les possibles dommages aux trottoirs, aux lignes électriques et aux autres composantes infrastructurelles causés par les racines ou des chutes de branches (EPA, 2008; Tree Canada, Undated).

Toits verts

Une étude réalisée par le Conseil national de recherches du Canada a modélisé les économies énergétiques en chauffage et en refroidissement pour un toit vert d'environ 2 980 m² (32 000 pi²) sur un immeuble commercial d'un étage à Toronto. L'analyse a estimé des économies totales d'environ 21 000 kWh par année (EPA, 2008).

La Ville de Toronto, en Ontario, a adopté un règlement qui oblige et régit la construction de toits verts sur tous les nouveaux aménagements ayant une superficie brute de plus de 2 000 m² (Government of Canada, 2010).

Approche hybride (toits verts, toits blancs et pavés)

La Ville de Windsor, en Ontario, procède à l'installation de cinq toits verts et de deux toits réfléchissants sur des immeubles municipaux afin de réduire les îlots de chaleur urbains. La Ville remplace aussi les bardeaux de toiture par des solutions de rechange plus pâles (Government of Canada, 2015).

Étude de cas : Mesures pour réduire l'effet des îlots de chaleur urbains à Montréal, au Québec

En avril 2011, le conseil de l'arrondissement de Rosemont-La Petite-Patrie a revu l'ensemble de ses règlements de zonage pour inclure quatre mesures réglementaires visant à s'attaquer aux effets des îlots de chaleur urbains : un toit vert, un toit blanc, un toit grandement réfléchissant ou une combinaison des trois doit être installé sur tous les nouveaux immeubles; pour tous les nouveaux stationnements d'au moins dix places, une surface d'au moins 15 % de la superficie doit être constituée d'un terrain ouvert aménagé de végétation; le pavage de tous les nouveaux stationnements et endroits de chargement et de stockage doit avoir un indice de

réflectance solaire d'au moins 29, et lorsqu'un nouvel immeuble est construit, une superficie d'au moins 20 % du site doit demeurer un espace ouvert et être aménagée de plantes, d'arbustes et d'arbres. Il convient de noter que cette disposition ne s'applique pas aux artères commerciales (Gouvernement du Canada, 2014).

Les quatre mesures s'appliquent à toutes les rénovations et les nouvelles constructions sur des terrains publics et privés dans l'arrondissement. Bien qu'il soit trop tôt pour mesurer les effets du nouveau règlement de zonage, le nombre de permis de toit accordés jusqu'à maintenant est un bon indicateur des répercussions de la nouvelle loi (Gouvernement du Canada, 2014).

Chapitre 3 : Analyse de rentabilisation pour les investissements dans l'infrastructure naturelle

Comme il est montré dans le présent rapport, à la différence de l'infrastructure grise, qui est habituellement conçue pour atteindre un objectif particulier, l'infrastructure naturelle peut fournir un éventail d'avantages économiques, sociaux et environnementaux, comme fournir de l'eau douce aux populations urbaines, en plus d'accroître la résilience d'un actif ou d'une région face à un danger climatique donné. En raison de ces avantages communs, l'infrastructure naturelle (seule ou en tant qu'approche hybride) est souvent la solution la plus rentable. Les sections qui suivent précisent les avantages communs économiques, environnementaux et sociaux liés aux investissements dans l'infrastructure naturelle ainsi que les outils et les ressources pour évaluer ces avantages communs.

Avantages communs : environnementaux, sociaux

Une raison importante de l'accroissement de la popularité de l'infrastructure naturelle a été les avantages communs qu'elle procure à l'environnement et aux collectivités. Parmi les avantages, notons la réduction de la consommation d'énergie et d'eau, l'amélioration de la biodiversité et l'amélioration de la santé et du bien-être publics.

En comprenant ces avantages communs liés à l'infrastructure naturelle, les intervenants peuvent plus facilement obtenir un vaste appui en faveur de ces projets. Dans de nombreux cas, les avantages communs influent sur la collectivité de manière à traiter des enjeux sous plusieurs angles (p. ex., santé publique [physique et mentale], sécurité publique, activités commerciales, etc.).

Avantages communs liés aux services écosystémiques

Les exemples suivants présentent les services écosystémiques que procure l'infrastructure naturelle. Ces services sont inhérents à l'existence de l'infrastructure naturelle sous forme de systèmes naturels et peuvent constituer les motifs et les résultats en soi d'une infrastructure naturelle. Comme le présent rapport met l'accent sur les résultats relatifs à la résilience climatique de l'infrastructure naturelle, de brèves descriptions des services écosystémiques sont fournies ici à titre d'information additionnelle. Les services écosystémiques constituent une

composante clé de l'évaluation de l'infrastructure naturelle, en plus des résultats en matière de résilience.

L'infrastructure naturelle améliore la qualité de l'eau.

Les terres humides peuvent fonctionner en tant que filtres, capturant les sédiments et la pollution, et faisant ainsi croître la qualité de l'eau pour les endroits environnants. De manière plus générale, l'accroissement de la végétation permet de réduire l'érosion du sol et de protéger les lits de rivière (Terton, 2017). De plus, l'accroissement des caractéristiques aquatiques et des bassins dans une région peut mener à la réalimentation des aquifères (The Nature Conservancy, 2014).

L'infrastructure naturelle offre des habitats et favorise la biodiversité.

L'accroissement de la superficie et de la diversité de l'habitat grâce à l'infrastructure naturelle soutient une biodiversité accrue. Les couloirs de verdure et les autres liens entre les habitats facilitent le déplacement des animaux sauvages et permettent la continuité des processus écosystémiques (City of Edmonton, 2013). Avec la biodiversité urbaine vient une multitude d'avantages additionnels, notamment la pollinisation, le cycle des nutriments, les ressources génétiques, la production alimentaire et des résultats positifs pour la santé et le bien-être (Local Governments for Sustainability, 2014)

La dérivation Yolo le long de la rivière Sacramento en Californie est un excellent exemple de projet d'atténuation des inondations qui entraîne de multiples avantages environnementaux. En permettant de garder une plaine inondable naturelle, le terrain de la dérivation ne gère pas seulement un plus grand volume d'eaux de crue que la capacité du principal lit de rivière, mais fournit aussi un habitat pour les poissons indigènes et une route additionnelle pour les poissons migratoires. Le terrain de la dérivation offre aussi un habitat pour les oiseaux migrateurs (The Nature Conservancy, 2014).

L'infrastructure naturelle contribue à la régulation du climat et à la séquestration de carbone.

L'infrastructure naturelle a comme avantage environnemental de séquestrer le carbone, ce qui peut contribuer aux efforts d'atténuation du changement climatique. La biomasse terrestre et végétative stocke le carbone, tout comme les tourbières (Terton, 2017; Kumar, 2017).

Avantages communs sociaux et économiques

Les exemples qui suivent présentent les avantages communs sociaux et économiques fournis aux collectivités par l'infrastructure naturelle. Les avantages sociaux soulignent les résultats positifs fournis aux collectivités et aux populations locales, et les avantages économiques mettent l'accent sur les avantages financiers directs et indirects.

L'infrastructure naturelle peut procurer aux collectivités un sentiment d'identité et de gouvernance.

La promotion des espèces natives dans une région et la création de commodités naturelles uniques, comme des parcs, des couloirs de verdure et des toits verts peuvent accroître le

caractère local d'une région et fournissent des endroits de rencontre et des lieux d'intérêt. Les commodités d'infrastructure naturelle bien connues, comme le High Line à New York, peuvent attirer des visiteurs et offrir une gamme de commodités, notamment des installations artistiques, des programmes d'observation des étoiles et d'autres programmes éducationnels, et des activités de danses et autres activités culturelles. En outre, le fait d'offrir plus d'espaces de rassemblement extérieurs permet d'accroître la sensibilisation environnementale et le sentiment de responsabilité des collectivités (Terton, 2017). Ces zones de rassemblement ouvertes et extérieures soutiennent les activités communautaires et offrent des destinations plaisantes sur le plan esthétique, qui peuvent aider à bâtir un sentiment communautaire et de fierté dans une région locale (City of Edmonton, 2016).

L'infrastructure naturelle soutient la santé et le bien-être humains.

Les interactions avec la nature s'avèrent efficaces pour améliorer et soutenir la santé et le bien-être humains, entraînant une diminution des taux de mortalité et une amélioration de la santé physique et mentale, ces avantages ayant été prouvés dans plusieurs études (Tzoulas, 2007; Elmquist, 2015). Par exemple :

- les services de filtration d'air et d'eau et de capture de la pollution fournis par les plantes offrent un environnement plus propre et plus sain (Terton, 2017);
- les sentiers et les autres espaces verts peuvent fournir des options de transport actif aux membres de la collectivité, ce qui contribue à la santé (City of Edmonton, 2013; Natural Infrastructure for Business, 2015);
- la transition vers des zones urbaines plus vertes peut mener à des avantages soutenus en matière de santé mentale (Alcock, 2014).

Certains types d'infrastructure naturelle, comme les arbres et les forêts peuvent comporter des avantages particuliers. Par exemple, il a été montré que la sylvothérapie, une pratique japonaise consistant à faire des promenades légères en forêt, abaisse la tension artérielle. Selon une étude, le fait de regarder des forêts réduit les hormones de stress, la tension artérielle et la fréquence cardiaque, et fait accroître le sentiment de relaxation et de détente, comparativement au fait de regarder des paysages urbains (Lee, 2009). L'aspiration de composés produits par des arbres (phytoncides) peut réduire les concentrations d'hormones de stress et stimuler l'activité des globules blancs (Aubrey, 2017).

En outre, l'infrastructure naturelle nécessite souvent moins de main-d'œuvre pour la construction ou l'entretien que l'infrastructure grise, réduisant les risques à la sécurité des travailleurs (Natural Infrastructure for Business, 2015).

Souvent, il vaut mieux choisir l'option plus verte, puisque les avantages s'accumulent à mesure que l'on accroît les applications de l'infrastructure et des systèmes naturels. Des études ont montré que cette association est présente dans différentes mesures de la santé. Par exemple :

- l'exposition à l'« environnement le plus vert » a été associée aux plus faibles niveaux d'inégalités en matière de santé en ce qui a trait à la privation de revenu (Mitchell, 2008);
- l'auto-perception d'améliorations en matière de santé lorsqu'il y a plus d'espaces verts dans le milieu de vie de gens (Maas, 2006);

- les avantages psychologiques liés aux espaces verts augmentaient lorsque ceux-ci présentaient des niveaux plus élevés de biodiversité (Fuller, 2007).

L'infrastructure naturelle peut potentiellement entraîner des effets négatifs indésirables sur la santé liés à une exposition accrue à la biodiversité, comme l'introduction et la survie d'organismes hôtes d'agents pathogènes infectieux, ainsi qu'une quantité de pollen accrue dans les milieux urbains (National Institutes of Health, 2015), mais ces risques peuvent habituellement être atténués en accroissant la sensibilisation et les efforts d'éducation du public.

L'infrastructure naturelle cadre avec les valeurs des collectivités autochtones.

La conservation et le maintien des systèmes naturels constituent souvent une composante clé du respect des droits et des modes de vie des Autochtones, puisque les collectivités autochtones entretiennent des liens étroits avec l'environnement naturel (Eriel Deranger, communication personnelle, 8 mai 2018). En valorisant et en respectant les systèmes de connaissances autochtones, les intervenants en infrastructure naturelle peuvent en apprendre beaucoup sur la longue histoire de gestion des ressources naturelles par les collectivités autochtones tout en favorisant la réconciliation, la biodiversité et la conservation (Indigenous Circle of Experts (ICE), 2018). Grâce à une mise en œuvre réfléchie, inclusive et participative, l'infrastructure naturelle peut être utilisée par les peuples autochtones pour atteindre les résultats et les objectifs visés en matière de résilience.

L'infrastructure naturelle favorise les loisirs extérieurs.

L'infrastructure naturelle, comme les couloirs de verdure, les parcs et les sentiers autour des terres humides et d'autres écosystèmes, fournit l'occasion pour les membres de la collectivité d'interagir avec la nature et de s'adonner à des loisirs extérieurs (City of Edmonton, 2013). Un accès accru à la nature permet de faire des activités physiques extérieures et des activités fondées sur la nature, comme l'observation des oiseaux, et offre des espaces où les enfants peuvent apprendre et jouer (Natural Infrastructure for Business, 2015).

L'infrastructure naturelle réduit les coûts énergétiques.

L'infrastructure naturelle peut recueillir et traiter naturellement les eaux de ruissellement, réduire la consommation d'énergie et les frais d'exploitation en évitant la collecte et le traitement de ces eaux aux installations de traitement des eaux usées (Winkelman, 2017).

L'infrastructure naturelle comme les toits verts, la plantation d'arbres et la collecte d'eau de pluie peut réduire la consommation et les coûts énergétiques en abaissant la température des immeubles; en fournissant des avantages liés à l'ombre, au blocage des vents et à l'évaporation; et en réduisant l'utilisation d'eau potable (EPA, 2014b).

Les chercheurs à la Ryerson University ont constaté qu'un programme d'installation de toits verts mis en œuvre à l'échelle de Toronto a mené à des économies d'énergie, à l'atténuation des îlots de chaleur urbains et à d'autres avantages, dont la valeur combinée est estimée à 313 millions de dollars (Green Infrastructure Ontario Coalition, 2016c).

Comme il est mentionné ci-dessus, les arbres urbains, les toits verts, les toits blancs et les pavés peuvent réduire l'effet des îlots de chaleur. Aux États-Unis, une étude a estimé que les

investissements dans l'infrastructure naturelle peuvent réduire la consommation d'énergie nationale liée à la climatisation d'air d'environ 20 %, les économies monétaires liées à l'énergie étant estimée à 10 milliards de dollars américains par année (Green Infrastructure Ontario Coalition, 2016c).

L'infrastructure naturelle fait accroître la valeur foncière.

Un rapport réalisé par l'Urban Law Institute (ULI), publié à sa réunion printanière de 2017 à Seattle, examine la façon dont les mécanismes de gestion des eaux utilisant l'infrastructure naturelle peuvent créer de la valeur pour les projets immobiliers. L'ULI a déterminé que les jardins de pluie, les rigoles de drainage, toits verts et les autres composantes d'infrastructure naturelle, en plus du stockage d'eau et d'autres outils de recyclage comme les citernes, sont des solutions durables et efficaces qui peuvent aussi fournir des avantages en matière de santé aux populations locales (Urban Land Institute, 2017).

Les aménagements de reverdissement, dans lesquels les lots urbains sous-utilisés sont transformés en sites d'infrastructure naturelle, peuvent faire accroître la valeur foncière de la région, attirer des visiteurs et des résidents, et inverser le déclin de la population urbaine (City of Edmonton, 2016). Toutefois, il est important d'envisager les effets de l'infrastructure naturelle sur la hausse des valeurs foncières, puisqu'ils peuvent mener à un embourgeoisement qui chasse les résidents que l'infrastructure naturelle devait originellement soutenir.

L'infrastructure naturelle accroît l'emploi.

L'investissement dans l'infrastructure naturelle génère des possibilités d'emploi. De nouveaux postes peuvent être créés, notamment ceux d'urbanistes, d'architectes, d'architectes paysagistes, de concepteurs, d'écologistes, de forestiers, d'ingénieurs, de jardiniers et de travailleurs de la construction. De nouveaux emplois peuvent aussi être créés dans l'industrie du tourisme (Green Infrastructure Ontario Coalition, 2016c).

Effets cumulatifs

Les effets cumulatifs de l'infrastructure naturelle (et tout type d'aménagement) sont ancrés dans la convergence des décisions en matière d'aménagement du territoire du passé, du présent et de l'avenir et dans le contexte spatial de l'aménagement (Chris Buse, communication personnelle, 30 mai 2018). Les avantages communs susmentionnés de l'infrastructure naturelle sont grandement reconnus, mais il est important de tenir compte de la manière dont les schémas d'aménagement du territoire précédents ont préparé la voie pour l'infrastructure naturelle actuelle et la manière dont les projets d'infrastructure naturelle s'inséreront dans le contexte des collectivités futures. Il est aussi important d'examiner l'écologie de la région et de prévoir les interactions écologiques de façon à ce que l'infrastructure naturelle survive bien et puisse continuer à fournir d'importants services écosystémiques et sociaux (Chris Buse, communication personnelle, 30 mai 2018). La surveillance et la gestion adaptée de l'infrastructure naturelle sont des pratiques exemplaires pour veiller à ce que l'infrastructure naturelle continue de bien servir les collectivités (Chris Buse, 30 mai 2018).

Ressources pour les analyses coûts-avantages de l'infrastructure naturelle

Il peut être difficile de quantifier les avantages communs et leurs coûts associés (consultez le chapitre 4 pour de plus amples renseignements). Les sections suivantes présentent les ressources existantes pouvant aider à la réalisation des analyses coûts-avantages. La création d'outils ciblés demeure toutefois nécessaire afin de mieux soutenir les collectivités pour réaliser ces évaluations de façon constante entre les provinces et les territoires et à différentes échelles.

Outils d'analyse coûts-avantages

Les outils suivants peuvent servir à évaluer les coûts et les avantages de l'infrastructure naturelle. Ces outils évaluent une gamme de mesures et de points à examiner, notamment les aspects sociaux, économiques et environnementaux de l'infrastructure naturelle.

Outil de calcul du Center for Neighborhood Technology (CNT)

Cet outil peut servir à rapidement comparer la performance, les coûts et les avantages de l'infrastructure naturelle à ceux découlant des pratiques traditionnelles relatives aux eaux de ruissellement (Center for Neighborhood Technology, 2010). Le CNT a proposé une approche cadre en deux étapes pour mesurer et évaluer les nombreux avantages écologiques, économiques et sociaux de l'infrastructure naturelle (Center for Neighborhood Technology, 2010). La première étape porte sur la quantification des avantages et ce qui concerne ses unités de ressources (p. ex., kilowattheures). La deuxième étape consiste à déterminer la valeur monétaire de cet avantage, si possible.

Outil Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST)

L'outil InVEST offre une suite de modèles logiciels à accès libre et gratuits conçus pour cartographier les services écosystémiques et leur assigner une valeur (Natural Capital Project, 2018). InVEST comprend actuellement 18 modèles de services écosystémiques couvrant les écosystèmes terrestres, marins, côtiers et d'eau douce. Les modèles offerts couvrent des services comme le stockage et la séquestration du carbone, la qualité des habitats, la qualité panoramique et l'épuration de l'eau. L'ensemble d'outils comprend aussi un certain nombre d'« outils d'aide » conçus pour aider à la collecte, à la saisie et à la visualisation des données. Un nouveau modèle Urban InVEST est en cours de développement pour aider à intégrer la nature dans la conception urbaine (Natural Capital Project, 2018).

Ontario Residential Tree Benefits Estimator

Ce calculateur prévoit les avantages futurs d'un nouvel arbre et estime les avantages actuels et accumulés d'un arbre existant en modélisant les baisses de demande d'électricité et la séquestration de carbone en fonction des caractéristiques locales (LEAF - Local Enhancement & Appreciation of Forests, 2018).

Outils i-Tree du United States Department of Agriculture (USDA)

L'USDA a créé une suite d'outils servant à l'analyse forestière et à l'évaluation des avantages pour aider les professionnels à mieux gérer les forêts urbaines et rurales, ainsi que les arbres communautaires. Ces outils sont conçus pour aider à quantifier la structure forestière, les effets environnementaux (p. ex., la qualité de l'air, la qualité de l'eau, le débit), les avantages environnementaux et esthétiques, et le couvert terrestre et forestier (U.S. Department of Agriculture, 2006).

Outil d'établissement des coûts pour le cycle de vie Sustainable Technologies Evaluation Program (STEP) (Ontario)

Le programme STEP de l'Office de protection de la nature de Toronto et de la région offre plusieurs ressources aux intervenants, notamment son propre outil d'établissement des coûts pour le cycle de vie dans Microsoft Excel, qui est expressément conçu pour être utilisé en Ontario. Cet outil d'aide à la prise de décisions permet aux professionnels d'estimer le capital et les coûts du cycle de vie des conceptions à faible incidence propres à certains emplacements, notamment les coûts d'intrants, les exigences d'entretien et les coûts de réhabilitation (Toronto and Region Conservation Authority, 2018a).

Trousse d'outils des services écosystémiques du Groupe de travail de l'Étude sur l'importance de la nature pour les Canadiens

Cette trousse d'outils est utile pour le calcul des avantages pouvant être utilisés dans le cadre d'une analyse coûts-avantages de l'infrastructure naturelle. La trousse d'outils, lancée en 2017, offre des orientations techniques multidisciplinaires pour la réalisation d'une évaluation des services écosystémiques. L'outil comprend neuf feuilles de travail pratiques, qui servent à la définition, à l'examen préalable, à la hiérarchisation, à la caractérisation et à l'évaluation des services écosystémiques et à la récapitulation des résultats (Value of Nature to Canadians Study Taskforce, 2017). La trousse d'outils se veut exhaustive mais souple et évolutive, de façon à pouvoir fournir tout le nécessaire pour réaliser une évaluation scientifique approfondie, ainsi que les ressources nécessaires pour les organismes qui ne souhaitent pas ou ne peuvent pas réaliser une évaluation complète (fonctionnaire, Service canadien de la faune). La trousse d'outils ne considère pas l'infrastructure naturelle expressément comme des services écosystémiques, mais peut s'appliquer à l'infrastructure naturelle, qui fournit en soi des services écosystémiques.

À venir : Cadre fondé sur la recherche du Centre INTACT

Le Centre Intact d'adaptation au climat est un centre de recherche appliquée de la University of Waterloo qui met l'accent sur l'adaptation au climat et la réduction des risques d'inondation. Le Centre Intact a préparé un cadre méthodologique de haut niveau pour les analyses coûts-avantages de l'infrastructure naturelle. L'objectif de ce cadre consiste à aider les intervenants et

les investisseurs à quantifier le « rapport qualité-prix » des projets de conservation et de restauration de l'infrastructure naturelle. Le cadre peut servir à établir l'analyse de rentabilisation pour 1) le maintien ou la conservation des caractéristiques existantes de l'infrastructure naturelle (p. ex., les bassins, les terres humides et les zones végétation), 2) la restauration des caractéristiques de l'infrastructure naturelle qui peuvent avoir été perdues dans le cadre de l'aménagement, et 3) la construction de nouvelles caractéristiques d'infrastructure « naturalisées ». Le cadre offre une approche normalisée pour la mise en œuvre des projets d'infrastructure naturelle, ainsi que des approches d'analyses économiques coûts-avantages aux fins de l'évaluation de l'infrastructure naturelle qui facilitent la comparaison des projets d'infrastructure naturelle mis en œuvre à l'échelle du pays. Un rapport détaillant ce cadre devrait être publié à l'été 2018 (Natalia Moudrak, communication personnelle, 9 mai 2018).

Analyse coûts-avantages en pratique

La clé d'une analyse coûts-avantages efficace et informative est de mettre l'accent sur des moyens particuliers pour l'atteinte d'un objectif donné. Même si la plupart des analyses coûts-avantages utilisées jusqu'à maintenant au Canada étaient de nature générale, il existe de nombreux exemples d'analyses ayant une portée plus étroite et des déterminants précis pouvant servir de modèles pour les municipalités canadiennes, particulièrement celles ayant des conditions climatiques semblables (Michelle Sawka, communication personnelle, 22 mai 2018). Par exemple, Michelle Sawka, de l'Office de protection de la nature de Toronto et de la région, examine souvent des analyses coûts-avantages détaillées réalisées à New York, puisque le climat de cette ville est relativement semblable à celui de Toronto. Notamment, elle a examiné une analyse des coûts-avantages réalisée par la Ville de New York sur la mise en œuvre de l'infrastructure naturelle dans le cadre des règlements sur la qualité de l'eau traitant des débordements d'égouts unitaires. Ci-dessous se trouvent quelques exemples d'analyses canadiennes coûts-avantages.

Série d'études de cas sur le capital naturel et l'évaluation des services écosystémiques

Le Groupe Banque TD et Conservation de la nature Canada ont préparé 11 études de cas de huit régions forestières canadiennes différentes sur l'évaluation des services écosystémiques issus des forêts. Le rapport, *Putting a Value on the Ecosystem Services Provided by Forests in Canada: Case Studies on Natural Capital and Conservation*, fournit du contexte sur chacune des régions forestières ainsi qu'une méthode d'évaluation des services écosystémiques (TD Bank Group and the Nature Conservancy of Canada, 2017). Dans l'ensemble des 11 études de cas, les services étaient évalués de 5 800 \$ à 46 000 \$ par hectare, par année en avantages liés au capital naturel, la moyenne des avantages étant de 26 382 \$ par hectare par année (TD Bank Group and the Nature Conservancy of Canada, 2017). Les résultats des études de cas individuelles sont résumés ci-dessous :

Étude de cas	Région forestière	Évaluation (par ha par année)
Lac Long Tusket, Nouvelle-Écosse	Région forestière acadienne	26 250 \$
Propriété Maymont, Saskatchewan	Région forestière boréale	5 800 \$
Propriété Kurian, Manitoba	Région forestière boréale	26 800 \$
Projet de conservation de la rivière Salmonier, Terre-Neuve-et-Labrador	Région forestière boréale	26 300 \$
Backus Woods, Ontario	Région de la forêt carolinienne	19 353 \$
Estuaire Gullchucks, Colombie-Britannique	Région forestière côtière	33 700 \$
Midgeley, Colombie-Britannique	Région de la forêt du Columbia	46 000 \$
Propriété Kenauk, Québec	Région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent	20 000 \$
Propriété Crane River, Ontario	Région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent	19 400 \$
Propriété Lusichich, Alberta	Région forestière montane	42 000 \$
Propriété Enchantment, Colombie-Britannique	Région de la forêt subalpine	24 600 \$

Études de cas : Ville de Mississauga et Ville de Waterloo, Ontario

Le Centre Intact d'adaptation au climat a évalué des scénarios de « terres humides » et d'« aucune terre humide » afin de calculer le rendement des investissements selon les pertes évitées. Le rapport *When the Big Storms Hit: The Role of Wetlands to Limit Urban and Rural Flood Damage* évalue le potentiel des terres humides pour influencer sur les répercussions financières associées aux inondations rurales et urbaines (Intact Centre on Climate Adaptation, 2017). Ces conclusions s'appliquent à l'échelle nationale, bien que la recherche ait porté sur deux sites pilotes dans le sud de l'Ontario, un rural et un urbain. Pour les deux sites, les modèles informatiques ont simulé une importante inondation automnale pour comparer les dommages causés par des inondations dans des conditions où les terres humides avaient été conservées dans leur état naturel et où elles avaient été remplacées par des terres à vocation agricole. Selon les chercheurs, les dommages causés par les inondations étaient moins importants si les terres humides étaient conservées dans leur état naturel, les économies de coûts financiers étant de 29 % et de 38 % dans les régions rurales et urbaines, respectivement.

Étude de cas : Toronto, Ontario

Le Canadian Impact Infrastructure Exchange a réalisé une triple analyse coûts-avantages fondée sur les résultats (financiers, environnementaux et sociaux) de Raindrop Plaza, à Toronto, en Ontario, pendant l'étape de conception du projet (Canadian Impact Infrastructure Exchange, 2017). Raindrop Plaza, un projet pilote de Green Streets Pilot Project pour la Ville de Toronto dont la construction est prévue en 2018, met l'accent sur la gestion des eaux de ruissellement avec des pavés perméables, des jardins de pluie, une tranchée d'infiltration et un volume substantiel de sol de haute qualité pour faire pousser des arbres sains indigènes et tolérants aux sécheresses (le sol étant stocké dans un système de cellules de sol aménagé sous le pavé). En plus de gérer les eaux de ruissellement dans le cadre de la création de forêts urbaines, le projet vise à fournir un espace récréatif dont pourra profiter la collectivité ainsi que des possibilités d'éducation relative à l'environnement (Sheila Boudreau, communication personnelle, 3 mai 2018). Une analyse coûts-avantages connexe a évalué les avantages financiers, sociaux et environnementaux du projet sur une période de 40 ans en le comparant à un scénario de base en vertu duquel le projet n'était pas mis en œuvre. L'analyse a révélé qu'alors que les avantages ne compenseraient pas entièrement les coûts financiers du projet, ils réduiraient grandement le coût net. Le rapport présente une méthode détaillée de ce processus ainsi que des détails additionnels sur l'analyse de Raindrop Plaza (Canadian Impact Infrastructure Exchange, 2017).

Chapitre 4 : Lacunes de connaissances et difficultés liées à la mise en œuvre

Plusieurs lacunes de connaissances et difficultés liées à la mise en œuvre ont émergé au fur et à mesure que les projets et les programmes d'infrastructure naturelle ont pris de l'ampleur. Les lacunes et les difficultés communes ressortant de la documentation et d'une série d'entrevues avec des experts du domaine de l'infrastructure naturelle sont indiquées ci-dessous. Notre recherche dans le présent chapitre et le chapitre 5 se fonde sur des entrevues avec des experts, soit des chercheurs et des intervenants du domaine de l'infrastructure naturelle.

Capacité institutionnelle

Le Canada fait face à un manque de capacité institutionnelle pour superviser et stratégiquement mettre en œuvre l'infrastructure naturelle. La nature transversale de plusieurs avantages communs liés à l'infrastructure naturelle complique la classification des responsabilités (gestionnaires des ressources hydriques, gestionnaires des ressources énergétiques, ingénieurs, etc.) (Steven Peck, communication personnelle, 4 mai 2018). Il y a eu une mauvaise communication concernant les objectifs relatifs à l'infrastructure naturelle entre les provinces et territoires et les différents ordres de gouvernement : dans un cas, par exemple, des terres humides existantes ont été éliminées pour construire une autoroute alors qu'un système de défense contre les inondations d'origine humaine a été approuvé à proximité sans consultation approfondie des ordres de gouvernements concernés (Craig Stewart, communication personnelle, 8 mai 2018). En outre, les municipalités locales ont souvent des ressources

limitées (financement, personnel, expertise, etc.) et de nombreuses responsabilités, ce qui complique la modification des pratiques existantes et l'adoption de l'infrastructure naturelle.

La capacité d'inclusion des considérations de l'infrastructure naturelle dans les processus de planification et d'aménagement varie selon les municipalités. Les zones rurales, par exemple, peuvent avoir peu ou pas de capacité, mais avoir beaucoup de potentiel pour améliorer la résilience au moyen de l'infrastructure naturelle (Sabine Dietz, communication personnelle, 18 mai 2018). Les municipalités ne disposent d'aucun outil simple à utiliser. Cela constitue un défi parce que les décideurs à l'échelle municipale approuvent le financement, mais peuvent ne pas comprendre l'infrastructure naturelle et ne pas avoir les ressources nécessaires pour leur permettre de comprendre et de prendre des décisions appropriées (Sabine Dietz, communication personnelle, 18 mai 2018). Les exigences de financement, qui sont souvent stipulées pour le financement fédéral, peuvent aussi donner lieu à l'octroi de financement dans les projets à grande échelle mais entraîner des lacunes quant aux projets de plus petite taille possiblement plus stratégiques (Craig Stewart, communication personnelle, 8 mai 2018).

Parmi les solutions pouvant aider à régler les difficultés liées à la capacité institutionnelle, notons :

- la création de nouvelles entités aux échelons provincial, régional et fédéral pour aider à traiter des aspects multidisciplinaires et multisectoriels de l'infrastructure naturelle, ainsi que pour assurer une approche de mise en œuvre plus stratégique aux échelons régional et national (Steven Peck, communication personnelle, 4 mai 2018). Cela permettrait, espérons-le, de réduire la mauvaise communication et de créer des possibilités pour résoudre les objectifs contradictoires à différents ordres de gouvernements et avec les intervenants;
- la fourniture de possibilités de financement fédéral ou provincial aux municipalités locales afin de renforcer la capacité. Bien que de nombreuses études aient conclu que l'infrastructure naturelle est rentable, l'adoption et la mise en œuvre de l'infrastructure naturelle nécessitent la formation du personnel, la modification des opérations et la mise en place de processus d'entretien, ce que les municipalités peuvent avoir de la difficulté à soutenir (Sara Jane O'Neill, communication personnelle, 2 mai 2018);
- le renforcement de la capacité dirigée par des ONG pour combler les lacunes entre le financement du gouvernement fédéral et des collectivités locales, et pour aider la circulation d'argent vers les propriétaires fonciers afin de stimuler la restauration de l'infrastructure naturelle, notamment au moyen de terres humides. L'obtention de résultats efficaces grâce au financement fédéral nécessite un mécanisme ascendant plutôt que descendant (Craig Stewart, communication personnelle, 8 mai 2018). Les ONG peuvent fournir des connaissances écologiques, biologiques et environnementales, ce qui est essentiel aux considérations en matière d'infrastructure naturelle;
- la préparation de rapports techniques et de documents d'orientation qui sont conviviaux, rentables et fondés sur les données disponibles au public. Compte tenu de la capacité limitée des municipalités, une méthode consiste à personnaliser les ressources et les méthodes selon les besoins en matière de prise de décisions pour que la collecte de

données et les analyses traitent efficacement des préoccupations des décideurs et des membres du public (Sara Jane O'Neill, communication personnelle, 2 mai 2018);

- la prestation de formations et d'outils éducatifs faciles à comprendre au personnel municipal pour aider avec la collecte et l'analyse de données, et la prise de décisions;
- le soutien des communautés de pratique. Par exemple, les collectivités côtières canadiennes et américaines mettent en place une communauté de pratique binationale sur les rives vivantes des régions froides (Coastal Zone Canada Association, 2018).

Connaissances et compétences techniques

Les administrations locales, les ingénieurs et les planificateurs financeront et adopteront seulement l'infrastructure naturelle s'ils connaissent ses avantages et ses options. Il existe actuellement une pénurie de professionnels qui sont familiers avec les concepts et les méthodes de mise en œuvre des projets d'infrastructure naturelle. Il existe donc un besoin important d'éduquer plus de planificateurs, de dirigeants gouvernementaux et de membres des collectivités concernant les solutions fondées sur la nature et de former plus d'ingénieurs sur les approches fondées sur la nature (DG Blair, communication personnelle, 1^{er} mai 2018; fonctionnaire, Service canadien de la faune). L'acquisition d'expertise sur l'infrastructure naturelle peut aussi être difficile puisque la conception et la mise en œuvre peuvent nécessiter des professionnels des domaines de l'écologie et de l'ingénierie travaillent ensemble, ce qu'ils risquent de ne pas avoir l'habitude de le faire.

En outre, beaucoup de municipalités et d'intervenants hésitent à modifier les normes et les pratiques actuelles. Pour les municipalités, il semble y avoir un manque de compréhension quant au fonctionnement de l'infrastructure naturelle et la façon dont les processus et les outils de gestion peuvent être modifiés (Sara Jane O'Neill, communication personnelle, 2 mai 2018). Chez les intervenants, on hésite à apprendre de nouvelles compétences, à intégrer de nouvelles connaissances fondées sur la recherche dans la pratique et à appliquer de nouvelles normes. Les nouvelles recherches et données scientifiques concernant l'infrastructure naturelle ont ainsi connu une lente mise en pratique (Danielle Dagenais, communication personnelle, 3 mai 2018).

Plusieurs personnes interviewées ont mentionné des lacunes de formation pour la communauté professionnelle de conception, de construction et d'aménagement en ce qui concerne la conception, la mise en œuvre et l'entretien appropriés de l'infrastructure naturelle. Ces lacunes entraînent un manque de professionnels pouvant réellement travailler avec les collectivités et les résidents locaux pour mettre en œuvre et entretenir les pratiques relatives à l'infrastructure naturelle (Christine Zimmer, communication personnelle, 2 mai 2018; Nathalie Bleau, communication personnelle, 7 mai 2018; fonctionnaire, Service canadien de la faune).

En plus des ingénieurs et des planificateurs, il existe aussi un manque de connaissances au sein des organismes d'attribution de permis, comme les autorités de conservation. Le personnel des organismes d'attribution de permis pourrait recevoir une formation et du perfectionnement sur les dernières technologies et compétences afin d'être mieux en mesure d'attribuer et de soutenir les permis pour les projets novateurs (Jenny Hill, communication personnelle, 9 mai 2018).

Enfin, quelques participants ont indiqué que les établissements postsecondaires devraient se concentrer davantage sur l'enseignement des avantages et des difficultés liés à l'infrastructure naturelle, et encourager les ingénieurs et les paysagistes à utiliser ces solutions naturelles (fonctionnaire, Infrastructure Canada).

Une solution possible pour aider à relever les défis liés aux connaissances et aux compétences techniques consiste à combiner des projets pilotes à l'apprentissage par les pairs, afin de permettre aux collectivités d'une région d'acquérir de l'expertise technique. Cette méthode aide les intervenants à apprendre les méthodes d'analyse des risques, des coûts et des avantages, et à élaborer des approches en vue de leur intégration dans les systèmes existants. Beaucoup d'exemples fournis dans les études de cas présentés dans le présent rapport sont des projets pilotes, ou ont du moins été entamés sous cette forme.

Sensibilisation aux avantages dans le cadre de l'élaboration de l'analyse de rentabilisation

La sensibilisation accrue du public aux avantages liés à l'infrastructure naturelle peut accroître le soutien aux projets futurs et aux occasions potentielles pour les propriétaires fonciers privés d'installer leur propre infrastructure naturelle, comme des jardins de pluie. Des stratégies de communication efficaces, comme des présentations, des ateliers, des campagnes médiatiques et des sites Web, peuvent transmettre l'information au public pour faire accroître le soutien et le taux d'adoption (Roy Brooke, communication personnelle, 30 avril 2018; Nathalie Bleau, communication personnelle, 7 mai 2018; Maija Bertule, communication personnelle, 8 mai 2018; fonctionnaire, Service canadien de la faune). Les ressources éducatives comme le guide *How to Talk about Ecosystem Services* du Collaboratif sur l'infrastructure naturelle des Maritimes (CINM) fournissent des stratégies de communication et des orientations sur la façon de formuler les avantages liés à l'infrastructure naturelle et accroissent la sensibilisation et le soutien (The Maritime Natural Infrastructure Collaborative, 2018a).

Faire l'« analyse de rentabilisation »

Le suivi et la communication des coûts réels et des avantages réels en matière de performance associés à la mise en œuvre de projets d'infrastructure naturelle seraient grandement avantageux pour favoriser la pratique et accroître la sensibilisation. Il faudra mettre en place un ensemble de connaissances et user de transparence quant à la mesure des coûts et des avantages tels sont constatés sur place afin de réaliser une analyse de rentabilisation rigoureuse de la conservation et de la restauration de l'infrastructure naturelle au Canada (Natalia Moudrak, communication personnelle, 9 mai 2018; fonctionnaire, Infrastructure Canada).

Si on n'accroît pas la sensibilisation ou ne communique pas les progrès tangibles que les avantages liés à l'infrastructure naturelle peuvent procurer, il peut être difficile d'obtenir du soutien communautaire et politique, particulièrement s'il y a beaucoup de priorités concurrentes. L'adoption de nouvelles pratiques nécessite une forte volonté de changer et un intérêt stratégique dans les avantages de l'infrastructure naturelle. L'accroissement de la sensibilisation communautaire et de la communication transectorielle pourra révéler que

l'infrastructure naturelle peut permettre d'atteindre plusieurs priorités stratégiques de manière simultanée. L'intérêt communautaire et la volonté politique sont essentiels à l'avancement des initiatives et des projets d'infrastructure naturelle (Maija Bertule, communication personnelle, 8 mai 2018).

Les solutions pouvant aider à accroître la sensibilisation à l'égard des avantages au moment de réaliser une analyse de rentabilisation de l'infrastructure naturelle consistent à recourir à une approche de communication multidimensionnelle avec les intervenants appropriés, notamment au moyen de webinaires, d'assemblées publiques, de campagnes médiatiques et d'ateliers avec la communauté. Pour accompagner ces efforts de communications, il est possible d'élaborer et de distribuer des ressources comme des dépliants, des guides et des trousseaux d'outils pour venir en aide aux preneurs de décisions et pour accroître la sensibilisation aux utilisations potentielles de l'infrastructure naturelle dans la collectivité.

Besoins et lacunes en matière de données

Une difficulté liée aux données est que les décisions relatives à l'infrastructure naturelle sont propres à un emplacement et nécessitent des données localisées particulières pouvant ne pas être disponibles ou dont la municipalité concernée n'est pas en mesure de recueillir (Danielle Dagenais, communication personnelle, 3 mai 2018; Sara Jane O'Neill, communication personnelle, 2 mai 2018; Hope Parnham, communication personnelle, 7 mai 2018; Luke Sales, communication personnelle, 1^{er} mai 2018; fonctionnaire, Infrastructure Canada). La quantification des avantages liés à l'infrastructure naturelle, et plus particulièrement la prise en compte de la vaste gamme d'avantages communs, peut nécessiter des ressources considérables pour la collecte de données et leur traitement (Maija Bertule, communication personnelle, 8 mai 2018). De plus, l'évaluation de plusieurs aspects et avantages de l'infrastructure naturelle nécessite différents outils et différentes sources de données, qui peuvent être difficiles à obtenir ou à comparer (Sara Jane O'Neill, communication personnelle, 2 mai 2018). Dans le cadre des pratiques existantes, une gamme de méthodes et d'outils ont été utilisés pour examiner la capacité relative aux eaux de ruissellement, les implications des feux de forêt, les répercussions sur les écosystèmes, etc. Sans la mise en place d'une méthode normalisée de collecte de données, il sera difficile d'élargir ou de traduire les résultats des différents projets. Les systèmes naturels comportent des différences propres à leur emplacement; par conséquent, on ne peut surmonter ces différences sans perdre beaucoup d'information dans le cadre d'une approche de haut niveau. Il est essentiel d'inclure des écologistes et des biologistes locaux dans la conversation pour comprendre les caractéristiques locales et en tenir compte (Sabine Dietz, communication personnelle, 18 mai 2018). Pour aider à surmonter cette difficulté, le Collaboratif sur l'infrastructure naturelle des Maritimes évalue actuellement les approches et les besoins locaux afin d'élaborer une trousse d'outils qui servirait à la sensibilisation, à la collecte de données et à la prise de décisions (The Maritime Natural Infrastructure Collaborative, 2018b).

Une autre difficulté dont il faut tenir compte est que, contrairement à la valorisation de l'infrastructure grise – dans le cadre de laquelle les paramètres sont principalement qualitatifs et faciles à évaluer –, l'infrastructure naturelle et ses avantages communs peuvent être difficiles à mesurer et peuvent s'appuyer davantage sur les évaluations qualitatives (Emanuel Machado,

communication personnelle, 5 mai 2018; Sara Jane O'Neill, communication personnelle, 2 mai 2018; Luke Sales, communication personnelle, 1^{er} mai 2018; fonctionnaire, Infrastructure Canada). Il faut faire preuve de prudence au moment d'utiliser la technique de transfert des avantages pour estimer les avantages monétaires liés aux projets d'infrastructure naturelle. Cette technique emprunte les unités de valeur établies dans l'évaluation de la valeur des caractéristiques de l'infrastructure naturelle à un emplacement et applique ces unités à un autre emplacement. Toutefois, il n'y a pas deux sites d'écosystème identiques et les relations entre le total des superficies et des avantages produits ne sont pas linéaires. De plus, chaque collectivité évaluera les avantages des projets d'infrastructure naturelle de façon différente, il est donc important de consulter les résidents locaux concernant la valeur qu'ils attribuent aux caractéristiques d'infrastructure naturelle qui sont évaluées. La transparence quant à la façon dont ces avantages économiques sont calculés pour les différents projets d'infrastructure naturelle est essentielle afin d'accroître l'acceptation des évaluations des avantages des projets d'infrastructure naturelle (Natalia Moudrak, communication personnelle, 9 mai 2018).

Une solution consisterait à commencer à quantifier les avantages et à incorporer des politiques de gestion des actifs naturels. Par exemple, examinons la Ville de Gibsons, en Colombie-Britannique, qui est dotée d'un programme de gestion des actifs efficace. L'« approche Gibsons » pourrait être transférée à d'autres municipalités (Luke Sales, communication personnelle, 1^{er} mai 2018; fonctionnaire, Infrastructure Canada). L'approche de la Ville consiste à déterminer, à cataloguer et à entretenir les actifs naturels de manière semblable à la façon dont cela est fait pour les actifs durables. Par exemple, son aquifère est considéré comme un actif naturel essentiel qui alimente la ville en eau. En incluant l'aquifère dans ses plans de gestion des actifs et en élaborant une stratégie relative aux actifs écologiques, la Ville peut clairement mettre en valeur le capital naturel et entretenir ses actifs naturels dans le cadre de son fonctionnement normal (Emanuel Machado, communication personnelle, 4 mai 2018). Cette pratique permet à la municipalité de justifier les coûts d'entretien pour l'infrastructure naturelle de la même manière qu'elle le fait pour les projets d'infrastructure grise (Natalia Moudrak, communication personnelle, 9 mai 2018).

Les municipalités doivent se conformer aux exigences relatives à la gestion des actifs, créant la possibilité pour les municipalités d'élargir leurs efforts de gestion des actifs (p. ex., échéanciers, budgets, établissement des propriétés) afin d'y inclure les actifs naturels. Gibsons est devenue la première municipalité en Amérique du Nord à adopter une politique municipale de gestion des actifs qui « définit et reconnaît expressément les actifs naturels comme une catégorie d'actifs; et crée des obligations particulières visant l'exploitation, l'entretien et le remplacement des actifs naturels en plus des immobilisations traditionnelles » (Town of Gibsons).

Les efforts à Gibsons se sont avérés très avantageux. Par exemple, la Ville a déterminé que « les services relatifs aux eaux de ruissellement fournis par les bassins dans le parc White Tower avaient une valeur de 3,5 à 4 millions de dollars s'ils devaient être remplacés par un bien construit, un coût qui peut être évité en procédant à un entretien ordinaire du parc » (Sahl, 2016; Ville de Gibsons, 2017). En outre, en 2015, lors d'une réunion des intervenants pour passer en revue l'expérience de la Ville et son applicabilité ailleurs, les participants ont conclu que « cette approche pouvait – et devait – être répliquée » (Town of Gibsons, 2017). La Ville de Grand Forks, en Colombie-Britannique; la Ville de Nanaimo, en Colombie-Britannique; le District

de West Vancouver, en Colombie-Britannique; la Ville d'Oakville, en Ontario; et la Région de Peel, en Ontario, envisagent actuellement l'« approche Gibsons » dans le cadre de leurs programmes de gestion des actifs (Town of Gibsons, 2017).

Plusieurs participants ont aussi mentionné la nécessité de quantifier les avantages pour la santé liés à l'infrastructure naturelle, et la nécessité d'utiliser des méthodes normalisées d'évaluation de la rentabilité afin d'établir la priorité des travaux (fonctionnaire, Infrastructure Canada).

Le suivi de l'infrastructure naturelle comporte des difficultés liées aux données, particulièrement en ce qui concerne la détermination des indicateurs pour mesurer la santé des actifs naturels. Ces mesures sont importantes, puisque des actifs naturels en meilleure santé (p. ex., les forêts mixtes) ont des répercussions et des avantages plus importants que les actifs en mauvaise santé ayant une faible fonction écologique (p. ex., les monocultures). De façon similaire, il est important de comprendre les seuils des actifs naturels, soit le niveau d'aménagement et de perturbation que peuvent subir les environs des actifs naturels avant que la capacité de fonctionnement soit réduite ou éliminée. Toutefois, à l'heure actuelle, l'information sur ces indicateurs et ces seuils – particulièrement l'information propre à une région – n'est pas encore à point.

Environnement politique

L'environnement politique privilégie souvent les solutions les plus répandues et pour lesquelles il possède des données économiques et techniques (infrastructure grise) connues au lieu des solutions moins courantes (infrastructure naturelle).

Dans les cas où le système économique est axé sur le rendement des investissements à court terme, il est difficile de donner à l'infrastructure naturelle – comme la préservation des terres humides ou des systèmes forestiers riverains – un poids politique (Steven Peck, communication personnelle, 4 mai 2018).

Parmi les solutions pouvant aider à faire face à un environnement économique-politique défavorable, notons :

- l'élaboration de nouveaux instruments économiques qui reconnaissent la valeur de la nature et qui soutiennent la conservation (Dan Kraus, communication personnelle, 3 mai 2018);
- la mise en place d'incitatifs pour conserver des terres humides dans le paysage (Dan Kraus, communication personnelle, 3 mai 2018; Craig Stewart, communication personnelle, 8 mai 2018).

En outre, l'infrastructure naturelle et l'entretien et la préservation des ressources naturelles sont étroitement liés aux droits, à la culture et au bien-être autochtones, des éléments qui, historiquement, sont de priorité moindre sur le plan politique (Eriel Deranger, communication personnelle, 8 mai 2018).

Les stratégies et les initiatives pouvant rehausser le niveau de priorité de ces préoccupations comprennent :

- le Cercle autochtone d'experts, une initiative qui œuvre à faire reconnaître les droits autochtones tout en protégeant les systèmes naturels; des objectifs qui sont mutuellement avantageux (Eriel Deranger, communication personnelle, 8 mai 2018);
- la valorisation de la science autochtone, qui a été développée pendant des générations, au même niveau que la science occidentale. La science autochtone comprend souvent la connaissance approfondie de processus écologiques qui sont fondamentaux au fonctionnement sain des systèmes naturels, et a une longue histoire d'adaptation et de résilience (Eriel Deranger, communication personnelle, 8 mai 2018).

Obstacles politiques et réglementaires

La complexité de l'environnement réglementaire est l'un des plus gros obstacles à la mise en œuvre de l'infrastructure naturelle (DG Blair, communication personnelle, 1^{er} mai 2018). Le cadre réglementaire existant est fondé sur des approches d'ingénierie standards qui ne sont pas nécessairement favorables aux projets d'infrastructure naturelle (DG Blair, communication personnelle, 1^{er} mai 2018; Sara Jane O'Neill, communication personnelle, 2 mai 2018). De plus, il n'existe aucune approche nationale standard pour l'infrastructure naturelle; les politiques et règlements qui existent varient selon les municipalités et les provinces et territoires (Sara Jane O'Neill, communication personnelle, 2 mai 2018; fonctionnaire, Service canadien des forêts).

En outre, il existe actuellement une perception de financement fédéral et provincial limité pour soutenir les projets et les programmes d'infrastructure naturelle, et déterminer les domaines d'importance particulière pour les services écologiques (DG Blair, communication personnelle, 1^{er} mai 2018; Dan Kraus, communication personnelle, 3 mai 2018). La situation se complique également par le fait qu'alors que le gouvernement fédéral fournit des ressources, les gouvernements provinciaux et territoriaux agissent comme des gestionnaires des terres, et les effets sont souvent ressentis par les municipalités et les collectivités locales. Cela signifie que les promoteurs de l'infrastructure naturelle doivent collaborer avec des décideurs de plusieurs niveaux pour soutenir et mettre en œuvre des solutions fondées sur la nature (Florence Daviet, communication personnelle, 8 mai 2018).

Parmi les incitatifs ou les changements de politique fédéraux, provinciaux ou territoriaux pouvant encourager une plus grande mise en œuvre de l'infrastructure naturelle, notons :

- la mise de côté d'une part du financement fédéral désignée expressément pour l'infrastructure naturelle (Dan Kraus, communication personnelle, 3 mai 2018);
- l'examen et la modification des politiques et des règlements actuels pouvant réduire l'efficacité de l'infrastructure naturelle existante, comme les pratiques de défrichement et de drainage agricole (Dan Kraus communication personnelle, 3 mai 2018). De manière semblable, les politiques et les règlements existants peuvent involontairement nuire au développement des projets d'infrastructure naturelle (p. ex., en séparant la nature de l'environnement bâti ou en ayant uniquement des paysages à gestion intensive), donc les gouvernements à tous les échelons pourraient réévaluer leurs politiques d'aménagement du territoire et les règlements y afférant afin de déterminer et de supprimer de tels obstacles (fonctionnaire, Service canadien de la faune);

- l'élaboration d'une stratégie fédérale relative à l'eau douce pour traiter des sources de pollution diffuses, qui accorde la priorité aux bassins hydrographiques déficients (Dan Kraus, communication personnelle, 3 mai 2018);
- le renforcement de la capacité et du soutien à l'égard des fiducies foncières et d'autres organismes de conservation pour s'associer à des propriétaires fonciers privés afin d'établir des servitudes de conservation à long terme sur les terres fournissant des services de bassin hydrographique clés (Dan Kraus, communication personnelle, 3 mai 2018);
- la prestation d'incitatifs pour les options d'infrastructure naturelle comme une procédure accélérée d'octroi de permis et des incitations fiscales (DG Blair, communication personnelle, 1^{er} mai 2018; Hope Parnham, communication personnelle, 7 mai 2018). La combinaison d'incitatifs avec la réglementation afin que l'option soutenant l'infrastructure naturelle soit prise plus au sérieux. L'obtention d'un avantage pour avoir respecté la réglementation peut être une stratégie efficace (fonctionnaire, Service canadien de la faune).

Les changements de politiques et les incitatifs locaux peuvent aussi encourager une plus grande mise en œuvre et une meilleure protection de l'infrastructure naturelle, notamment :

- l'incorporation de l'infrastructure naturelle dans les normes de construction communautaires dès le commencement à l'étape de l'aménagement (Craig Stewart, communication personnelle, 8 mai 2018). De la même façon, exiger des permis d'aménagement pour les nouveaux projets d'infrastructure grise, et imposer un examen rigoureux des applications de ces permis concernant leurs répercussions sur les processus et les écosystèmes naturels, peut permettre de rehausser l'importance des actifs naturels existants et d'assurer leur entretien et leur protection adéquats (Emanuel Machado, communication personnelle, 4 mai 2018);
- l'incorporation des considérations relatives aux actifs naturels dans les politiques et les pratiques existantes. La création de nouvelles politiques et pratiques peut être difficile et nécessiter des ressources considérables. Les municipalités devraient plutôt revoir leurs pratiques et politiques existantes et les améliorer en y intégrant des considérations relatives à l'infrastructure naturelle (Sara Jane O'Neill, communication personnelle, 2 mai 2018);
- l'évaluation des domaines ou des projets problématiques existants pour cerner les possibilités de mise en œuvre d'une approche hybride dotée de considérations relatives à l'infrastructure naturelle (Danielle Dagenais, communication personnelle, 3 mai 2018). Plutôt que de rechercher de nouveaux projets d'infrastructure naturelle, les municipalités pourraient plutôt évaluer les projets existants, comme le remplacement d'un ponton, pour cerner des possibilités d'ajouter des composantes d'infrastructure naturelle.
- le recours à des sources de financement opérationnel existantes pour couvrir les frais liés à l'infrastructure naturelle. Par exemple, la Ville de Gibsons inclut les coûts de surveillance de son aquifère, qui est considéré comme un actif naturel essentiel, dans les droits qu'elle exige pour l'eau afin que l'entretien de cet actif soit financièrement durable (Emanuel Machado, communication personnelle, 4 mai 2018).

Incidences sur la société

L'infrastructure naturelle rend les quartiers plus sains et plus attrayants sur le plan esthétique, ce qui peut faire accroître la valeur des propriétés et des frais de logement. En fin de compte, cela peut mener à une gentrification environnementale. Ainsi, lorsque les villes mettent en œuvre l'infrastructure naturelle, elles doivent veiller à inclure les collectivités urbaines à faible revenu (fonctionnaire, Infrastructure Canada).

De manière semblable, en ce qui concerne les îlots de chaleur urbains, les quartiers plus prospères ont tendance à avoir un plus grand couvert forestier que les quartiers moins prospères. Par conséquent, l'effet des îlots de chaleur urbains touche ces quartiers de façon disproportionnée et peut aggraver des vulnérabilités existantes. Les municipalités devraient accorder la priorité au plantage d'arbres dans les quartiers où cela serait le plus efficace pour accroître le couvert forestier et réduire les îlots de chaleur urbains (Michelle Sawka, communication personnelle, 22 mai 2018).

Défis liés à l'entretien

L'entretien de l'infrastructure naturelle constitue un autre obstacle critique à l'accroissement de son adoption. Les subventions servant à financer l'infrastructure naturelle se limitent souvent à la mise en œuvre, sans financement prévu pour l'entretien. L'entretien de l'infrastructure naturelle met principalement l'accent sur l'entretien de la végétation au fil du temps afin que l'infrastructure naturelle atteigne son potentiel maximum. Par exemple, les arbres urbains bénéficieraient d'un budget d'arrosage pendant les cinq premières années jusqu'à ce que leurs racines soient bien établies (Michelle Sawka, communication personnelle, 22 mai 2018). Sans financement pour l'entretien à long terme, la fonctionnalité et l'attrait esthétique d'un « projet vert » diminuent, entraînant un manque de soutien public (fonctionnaire, Infrastructure Canada; Nathalie Bleau, communication personnelle, 7 mai 2018; Danielle Dagenais, communication personnelle, 3 mai 2018).

Une autre partie des difficultés liées à l'entretien est que l'infrastructure naturelle a souvent besoin d'un espace adéquat pour fonctionner (p. ex., les terres humides doivent avoir une certaine taille pour pouvoir maintenir l'intégrité des habitats). Toutefois, les régions qui ont déjà été aménagées disposent de peu d'espace disponible, et les bordures des zones des projets d'infrastructure naturelle sont soumises à des perturbations et à de l'aménagement pouvant nuire à l'infrastructure naturelle. Si on ne tient pas compte adéquatement de ces besoins – comme l'espace adéquat – pendant les étapes de l'évaluation et de la mise en œuvre, l'infrastructure naturelle risque de ne pas fonctionner à son plein potentiel.

Chapitre 5 : Leçons apprises et possibilités

Les sections qui suivent présentent les leçons apprises et les facteurs de réussite des initiatives, projets et programmes d'infrastructure naturelle existants. Le contenu de ce chapitre, de manière semblable à celui du chapitre 4, est fondé sur des entrevues avec une gamme d'experts en infrastructure naturelle.

Nommer un champion

La désignation d'un champion dans la région ou la collectivité peut être essentielle à la réussite des initiatives et des programmes d'infrastructure naturelle. Un champion est disposé à faire avancer les projets et à prendre des risques afin d'atteindre les objectifs de l'initiative ou du programme (Danielle Dagenais, communication personnelle, 3 mai 2018; Michelle Sawka, communication personnelle, 22 mai 2018). Par exemple, les chercheurs de l'École polytechnique de Montréal et de l'Université de Montréal ont travaillé étroitement avec la Ville de Trois-Rivières pour mettre en œuvre une série de projets d'infrastructure naturelle le long de la rue Saint-Maurice et ont attribué l'achèvement du projet global à la désignation d'un champion local (Danielle Dagenais, communication personnelle, 3 mai 2018). Le projet pilote consistait à incorporer des jardins de pluie, des rigoles de drainage, des arbres et d'autres espèces végétales le long de 1,3 km de rue afin de réduire les eaux de ruissellement et d'atténuer l'effet des îlots de chaleur (Trois-Rivières, 2018). La Ville a indiqué que des études de performance seront réalisées une fois les travaux commencés. Si ces projets d'infrastructure s'avèrent efficaces, le projet pilote pourrait servir d'exemple à d'autres municipalités afin de répliquer ce type d'aménagement ailleurs dans la province de Québec.

Le concepteur d'urbanisme de la Ville de Toronto a aussi agi comme champion désigné pour les initiatives d'infrastructure naturelle novatrices afin de répondre à la norme Toronto Green Standard. Avec le soutien d'un ingénieur de Toronto Water et du planificateur en chef, ces efforts ont donné lieu à l'élaboration de lignes directrices techniques pour l'initiative Green Streets de Toronto (Schollen & Company Inc. et coll., 2017; Sheila Boudreau, communication personnelle, 3 mai 2018).

Créer une équipe interdisciplinaire

En raison du caractère multidimensionnel de l'infrastructure naturelle, plusieurs intérêts et perspectives sont concernés. La réussite de la mise en œuvre de l'infrastructure naturelle nécessite donc une équipe dévouée et diversifiée d'intervenants et de professionnels, notamment des architectes paysagistes, des ingénieurs, des planificateurs, des scientifiques de l'environnement, des forestiers et des membres de la collectivité (Danielle Dagenais, communication personnelle, 3 mai 2018; Jenny Hill, communication personnelle, 9 mai 2018). Les différents membres d'équipe peuvent contribuer au projet avec leurs différentes compétences et perspectives, ce qui peut mener à une plus grande richesse et réussite du projet. Par exemple, les ingénieurs sont essentiels à la conception et à la fonctionnalité des projets d'infrastructure naturelle, alors que les architectes paysagistes sont essentiels aux aspects sociaux et environnementaux, comme veiller à ce que le projet fournisse des services écosystémiques, hausse la qualité de vie et améliore l'esthétique du quartier (Danielle Dagenais, communication personnelle, 3 mai 2018).

Compte tenu du statu quo, ces intervenants s'adonnent souvent à leurs activités en vase clos et ont une communication limitée les uns avec les autres. Pour veiller à l'échange des pratiques exemplaires, des données et des autres ressources entre les disciplines afin de trouver les meilleures solutions, il est important d'avoir des lignes de communication ouverte entre ces domaines et de faciliter la collaboration (Florence Daviet, communication personnelle, 8 mai

2018; Hope Parnham, communication personnelle, 7 mai 2018; Maija Bertule, communication personnelle, 9 mai 2018). Il pourrait aussi être nécessaire de mener des discussions sur le changement comportemental de certains intervenants, comme les répercussions des agriculteurs en amont sur la qualité de l'eau en aval (Maija Bertule, communication personnelle, 8 mai 2018).

La création de ces types de partenariats est fondamentale à la réussite de la mise en œuvre. La Ville de Gibsons indiqué que les partenariats qu'elle avait créés avec des intervenants et des supporteurs comme des organismes privés et sans but lucratif, y compris la David Suzuki Foundation au moyen d'un protocole d'entente définissant clairement les rôles et les missions, étaient importants à la réalisation de son objectif consistant à reconnaître et à gérer adéquatement les actifs naturels critiques. Ces partenariats ont permis à la petite ville d'accroître sa capacité à évaluer ses actifs naturels et à élaborer une stratégie relative aux actifs écologiques. La réussite de la Ville de Gibsons s'est traduite en Municipal Natural Assets Initiative, que la Ville a cofondé et qui fournit maintenant de l'expertise et des ressources aux autres municipalités cherchant à incorporer des stratégies de gestion des actifs naturels dans leurs activités de planification financière et de gestion des actifs (Emanuel Machado, communication personnelle, 4 mai 2018).

À la Ville de Toronto, il y a un décalage entre les départements de la ville concernant les rôles et les responsabilités dans la mise en œuvre des Green Streets Technical Guidelines (Sheila Boudreau, communication personnelle, 3 mai 2018). L'attribution de rôles clairs à chaque département est essentielle pour faire progresser ces travaux, une mesure requise pour respecter la Toronto Green Standard et les politiques de planification officielles de la Ville.

Former et renseigner les professionnels et les membres de la collectivité

Permettre aux municipalités de voir les projets d'infrastructure naturelle en pratique à d'autres emplacements peut être un moyen plus efficace d'accélérer et d'améliorer la mise en œuvre de l'infrastructure naturelle que de leur fournir les résultats des dernières recherches (Danielle Dagenais, communication personnelle, 3 mai 2018). Les projets pilotes et les tours guidés constituent d'autres stratégies utiles pour éduquer et encourager les collectivités à mettre en œuvre des projets d'infrastructure naturelle (Danielle Dagenais, communication personnelle, 3 mai 2018). L'élaboration d'exemples empiriques et positifs à partir de cas où l'infrastructure naturelle a bien été mise en œuvre est importante pour ajouter de la crédibilité aux arguments en faveur de la mise en œuvre de solutions d'infrastructure naturelle. Ces exemples peuvent aussi être utilisés pour former les intervenants au sujet des leçons apprises et des pratiques exemplaires (Florence Daviet, communication personnelle, 8 mai 2018).

Le programme RAIN, un programme d'éducation sur les eaux de ruissellement urbaines de Green Communities Canada, qui est offert par Reep Green Solutions dans la région de Waterloo, attribue la réussite de son projet RAIN Smart Neighbourhoods à une stratégie d'engagement exhaustif qui comprend un « RAIN coach » au sein de l'équipe pour fournir du soutien aux participants du programme pendant l'étape de conception des projets (Reep Green Solutions, 2018; Patrick Gilbride, communication personnelle, 23 mai 2018). Le « RAIN coach »

travaille avec les participants pour déterminer leurs objectifs pour les espaces extérieurs et les stratégies et pratiques exemplaires de développement à faible incidence pouvant être incorporées dans le plan pour aider à atteindre ces objectifs. En outre, de la signalisation est utilisée dans les projets de démonstration pour accroître la sensibilisation des propriétaires du quartier concernant le programme et les possibilités de gestion des eaux de ruissellement pour leur propre propriété (Patrick Gilbride, communication personnelle, 23 mai 2018). Le programme RAIN a également soutenu des initiatives pour les entreprises et les résidences individuelles.

Une autre façon de fournir de l'éducation consiste à échanger de l'information. Par exemple, la Ville de Gibsons a constaté que bon nombre de ses actifs naturels, comme son bassin hydrographique et son aquifère, s'étendaient au-delà des limites de la ville. Lorsque la Ville a procédé à la cartographie du bassin hydrographique et de l'aquifère, elle a inclus leur pleine portée géographique et a communiqué l'information résultante à des intervenants avoisinants dans le but d'aider ces autres parties pertinentes à modifier leurs processus de façon à protéger plus entièrement ces actifs vitaux et communs (Emanuel Machado, communication personnelle, 4 mai 2018). En outre, les communautés de pratique constituent un réseau très efficace pour l'échange d'information. Par exemple, la communauté de pratique « Dynamisme des zones côtières » actuellement en voie d'élaboration par l'Association Zone côtière Canada, a pour but de fournir de l'information aux intervenants publics et privés qui est fondée sur des principes scientifiques et de génie adaptés au climat de nos régions du Nord (Coastal Zone Canada Association, 2018).

La Municipal Natural Assets Initiative (MNAI) offre des ressources aux municipalités locales cherchant à inclure les actifs naturels dans leurs stratégies et plans de gestion des actifs. Cette initiative a été lancée par la Ville de Gibsons, qui a élaboré une stratégie relative aux actifs écologiques afin d'obtenir un soutien continu pour ses actifs naturels valorisés et d'intégrer la gestion des actifs naturels dans les pratiques générales de la Ville (Town of Gibsons, 2015). Le [site de la MNAI](#) offre des ressources aux collectivités cherchant à entreprendre des initiatives semblables.

Parmi les exemples de programmes de formation et d'éducation en action, notons Green Shores, une initiative d'infrastructure naturelle côtière en Colombie-Britannique exécutée par le Stewardship Centre for BC qui énonce les normes de conception, les pratiques exemplaires et les systèmes de crédits et de notation pour les projets d'aménagement des rives visant l'obtention de la certification Green Shores (DG Blair, communication personnelle, 1^{er} mai 2018). Le programme volontaire comprend le *Green Shores for Coastal Development Credits and Rating Guide* pour les parcs municipaux, les utilisations résidentielles mixtes et les propriétés institutionnelles côtières, et le *Green Shores for Homes Credits and Rating Guide* pour les propriétaires de terrains résidentiels sur les côtes (Stewardship Centre for British Columbia, 2010; Stewardship Centre for British Columbia, 2015).

La réussite de ce programme repose essentiellement sur la formation et l'éducation (DG Blair, communication personnelle, 1^{er} mai 2018). Afin d'accroître la sensibilisation et l'utilisation du programme, le Stewardship Centre for BC a préparé une série de programmes de formations et de cours dans le but de permettre aux collectivités et aux ingénieurs d'en apprendre plus sur le processus de certification et les critères du programme Green Shores. Depuis, on a observé un

intérêt accru à l'égard de ce programme, notamment la création de groupes de travail locaux, de partenariats avec des universités et une expansion continue des programmes de formation. En outre, la mise en place d'un guide sur le système de crédits et de notation a favorisé l'utilisation des pratiques exemplaires dans le cadre des projets d'aménagement en région plus côtière. Le système de crédits et de notation, le programme de formation, les partenariats et les activités d'engagement de la collectivité de Green Shore ont tous contribué à faciliter la croissance des solutions naturelles et du programme Green Shores et la sensibilisation à leur égard.

Parmi les autres exemples de formations techniques, notons celles accompagnant les ressources de développement à faible incidence du Sustainable Technologies Evaluation Program (STEP) (Toronto and Region Conservation Authority, Undated). STEP est un programme coopératif entre l'Office de protection de la nature de Toronto et de la région, la Lake Simcoe Conservation Authority et la Credit Valley Conservation Authority. Ensemble, ces organismes organisent régulièrement des activités de formation sur le contenu du *Low-Impact Development Stormwater Management Planning and Design Guide* afin de remédier aux lacunes de connaissances techniques mentionnées précédemment (Jenny Hill, communication personnelle, 9 mai 2018; Office de protection de la nature de Toronto et de la région, 2018b). Les programmes du TRCA suscitent un grand intérêt; par conséquent, on envisage de mettre en place un forum élargi en ligne où les professionnels pourraient publier des commentaires et communiquer les uns avec les autres (Jenny Hill, communication personnelle, 9 mai 2018; Office de protection de la nature de Toronto et de la région, 2018b). Il peut être très utile pour les intervenants souhaitant mettre en œuvre des stratégies semblables d'avoir des ressources et des connaissances sur les pratiques des autres, ainsi qu'un moyen de communiquer directement avec les parties concernées (Jenny Hill, communication personnelle, 9 mai 2018).

Mettre l'accent sur les objectifs et les valeurs communautaires

L'infrastructure naturelle fournit un éventail d'avantages additionnels sur le plan environnemental, social et économique, en plus de son but principal consistant à gérer les ressources hydriques ou thermiques. Il peut être utile de concentrer la conversation sur la façon dont l'infrastructure naturelle peut aider à atteindre des objectifs et des valeurs communautaires, comme la santé publique, le bien-être social, la valeur esthétique, les espaces récréatifs, l'accroissement de la valeur foncière ou la résilience, pour accroître l'intérêt de la communauté à l'égard des solutions naturelles (Patrick Gilbride, communication personnelle, 23 mai 2018). Les services de santé publique et les valeurs des forêts urbaines, par exemple, deviennent de principaux intérêts municipaux (fonctionnaire, Service canadien des forêts).

La définition des coûts liés à l'entretien des forêts urbaines, ainsi que des économies de coûts et des avantages liés à des arbres sains, peut aider à faciliter la conversation sur les solutions naturelles et la gestion des actifs naturels à l'échelle municipale (Michelle Sawka, communication personnelle, 22 mai 2018). De manière semblable, les communications avec les entreprises concernant l'infrastructure naturelle ont tendance à être plus efficaces lorsqu'elles sont axées sur le bilan ou sur la façon dont une solution naturelle pourrait contribuer à l'exploitation, comme le recours à la récolte et au recyclage d'eau de pluie aux fins d'un mécanisme de production (Patrick Gilbride, communication personnelle, 23 mai 2018).

En outre, les pratiques consistant à participer activement dans la collectivité et à élaborer des processus solides d'élargissement de la participation peuvent non seulement accroître les probabilités quant à l'adoption et au soutien communautaire, mais peuvent aussi atténuer les conséquences négatives potentielles de l'infrastructure naturelle proposée, comme l'embourgeoisement, la réponse inadéquate aux besoins communautaires ou la non-prise en compte des répercussions sur les générations futures. Le concept de planification autochtone qui prévoit la prise en compte des répercussions des décisions sur sept générations dans l'avenir convient bien à ce type de planification avisée, robuste, communautaire et à long terme (Chris Buse, communication personnelle, 30 mai 2018).

Cogestion autochtone

Dans de nombreux cas, l'infrastructure naturelle peut aller de pair avec le respect de la souveraineté ou des droits autochtones (Eriel Deranger, communication personnelle, 8 mai 2018). À l'heure actuelle, la pratique standard consiste à consulter les collectivités autochtones en ce qui a trait aux décisions sur l'aménagement du territoire (Eriel Deranger, communication personnelle, 8 mai 2018). Comme il est indiqué dans *Consultation et accommodement des Autochtones – Lignes directrices actualisées à l'intention des fonctionnaires fédéraux pour respecter l'obligation de consulter – Mars 2011*, les décisions en matière de planification et d'aménagement du territoire entraînent parfois une obligation légale de consulter les collectivités autochtones. Ceci dit, de plus grands avantages peuvent être obtenus lorsque les processus passent de la consultation en vertu d'une obligation légale de consulter à la participation et à la cogestion intégrale des projets qui intègrent les valeurs et les connaissances traditionnelles autochtones. Récemment, la Première nation de Squamish a collaboré avec une société de gaz naturel liquéfié qui souhaitait se construire sur les terres de la première nation. La Première nation de Squamish a procédé à sa propre évaluation environnementale en tandem avec l'évaluation environnementale normalisée par défaut et a délivré ses propres certifications pour le projet. Ce faisant, la première nation avait le pouvoir décisionnel de déménager la station de compression hors du centre-ville de Squamish et d'éliminer les perturbations industrielles dans l'aire de gestion de la faune de Skwel'wil'em; un pouvoir qui n'est pas inhérent dans le processus par défaut. Ces exemples sont tirés de l'aménagement du territoire à des fins industrielles, mais ce même processus peut être appliqué à la planification de l'infrastructure naturelle pour assurer un processus de prise de décisions équitable et holistique (Chris Buse, communication personnelle, 8 mai 2018).

Mettre en place des incitatifs réglementaires et financiers

L'élaboration d'incitatifs réglementaire est une stratégie importante pour créer un environnement politique et financier qui favorise l'infrastructure naturelle. Il est également important d'inclure l'infrastructure naturelle dans les politiques et les pratiques locales, provinciales et nationales. De manière semblable au *Guide d'analyse coûts-avantages* du Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, qui oriente l'évaluation des propositions réglementaires et non réglementaires des ministères et des organismes au Canada (Treasury Board of Canada Secretariat, 2007), un guide d'analyse coûts-avantages devrait être créé pour l'infrastructure naturelle à l'échelle nationale. Sans guide sur les normes, un ramassis

d'approches d'évaluation sont mises en œuvre au pays pour évaluer les actifs d'infrastructure naturelle et il est difficile pour les investisseurs institutionnels, les sociétés commanditaires et les fondations de favoriser une adoption accrue des projets d'infrastructure naturelle ou de mobiliser des investissements additionnels dans l'infrastructure naturelle. La création d'un tel guide et l'investissement additionnel dans les solutions d'infrastructure naturelle s'harmoniseraient parfaitement avec les engagements en matière de préservation de l'infrastructure naturelle pris par le Canada en vertu de l'*Accord de Paris* (United Nations Climate Change, 2016), le *Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe* des Nations Unies (United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015), et le *Cadre pancanadien en matière de croissance propre et de changement climatique* (Government of Canada, 2018) (Natalia Moudrak, communication personnelle, 9 mai 2018).

Les incitatifs financiers peuvent aider à stimuler les investissements dans de nouvelles approches comme le recours à l'infrastructure naturelle pour réduire le risque financier des collectivités. Ces incitatifs peuvent soutenir les projets pilotes ou les installations à petite échelle pour les projets à long terme.

Par exemple, le consortium Ouranos a financé de la recherche sur les projets de gestion des eaux de ruissellement à grande échelle mondialement, permettant de constater que les amendes imposées par un échelon gouvernemental plus élevé sont des incitatifs particulièrement efficaces pour encourager les villes à contrôler et à mettre en œuvre des projets à grande échelle relatifs aux eaux de ruissellement (Danielle Dagenais, communication personnelle, 3 mai 2018; Dagenais, Paquette, Thomas et Fuamba, 2014).

À l'échelle locale, le projet RAIN Smart Neighbourhoods Project a connu beaucoup de succès en partie grâce à la mise de côté de 43 000 \$ en incitatifs financiers pour les participants qui utilisent des jardins de pluie, des galeries d'infiltration, des pavés perméables, des citernes ou des barils de pluie pour gérer les eaux de ruissellement sur leur terrain (Reep Green Solutions, 2018). En outre, les projets RAIN achevés à Kitchener, en Ontario, sont aussi admissibles aux crédits pour eaux de ruissellement de la Ville. Les propriétaires de terrains résidentiels et non résidentiels qui ont droit aux crédits pour eaux de ruissellement obtiennent une réduction sur la partie de leur facture de service public portant sur les eaux de ruissellement (City of Kitchener, 2017).

Les incitations fiscales visant la conservation et la gestion des aires naturelles en Ontario ont suscité une participation croissante, et ont ainsi entraîné la protection d'une plus grande surface de terres naturelles. Le Programme d'encouragement fiscal pour les terres protégées protège d'importantes zones naturelles en reconnaissant que certaines terres privées sont dotées de « caractéristiques du patrimoine naturel admissibles », comme des terres humides et des habitats d'espèces en danger de disparition, entraînant ainsi une exonération intégrale de l'impôt foncier (Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry, 2018a). Le Programme d'encouragement fiscal pour les forêts aménagées protège les terres forestières en permettant aux propriétaires de « forêts aménagées » de payer seulement 25 % de l'impôt foncier perçu sur les propriétés résidentielles s'ils préparent et suivent un plan de forêt aménagée de 10 ans, présentent des rapports d'étape et mettent le plan à jour (Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry, 2018b).

Utiliser les possibilités de financement offertes

L'infrastructure naturelle est admissible à du financement en vertu des ententes bilatérales intégrées (EBI) et du Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophe (FAAC), deux composantes du Plan investir dans le Canada qui est géré par Infrastructure Canada. Les EBI peuvent constituer une importante source de financement pour la réhabilitation des actifs naturels (Roy Brooke, communication personnelle, 30 avril 2018). Le gouvernement du Canada a mis de côté des milliards de dollars dans le cadre des EBI pour l'infrastructure verte, qui sont répartis selon les volets de financement suivants : atténuation du changement climatique; adaptation, résilience et atténuation des catastrophes; et qualité environnementale. Le FAAC a mis de côté 2 milliards de dollars pour les projets d'infrastructure à grande échelle qui aideront les collectivités à mieux se préparer face aux catastrophes liées aux dangers naturels (Infrastructure Canada, 2018). Les projets financés dans le cadre de ces sources doivent être de grande échelle (c.-à-d. plus de 20 millions) ou regroupés ensemble pour atteindre ce seuil. Ainsi, ce financement, s'il est utilisé par des promoteurs de projets d'infrastructure naturelle, pourrait servir à maximiser les avantages et les résultats des projets de solutions naturelles à grande échelle.

Tenir compte des changements climatiques à long terme

Même si beaucoup de projets d'infrastructure naturelle apportent un avantage lié à la résilience climatique en plus de leur principal objectif consistant à gérer les ressources hydriques et thermiques, les projets d'infrastructure naturelle devraient activement tenir compte des implications des changements climatiques à long terme. Par exemple, en plus d'examiner les régions qui subissent actuellement des inondations, on devrait aussi tenir compte des prévisions quant aux changements futurs du régime de précipitations et à la fréquence ou à l'intensité des événements extrêmes pour la région concernée (Maija Bertule, communication personnelle, 8 mai 2018). La conception de projet devrait envisager ces prévisions ainsi que les effets du climat futur sur la végétation et les services écosystémiques que l'on cherche à obtenir en sélectionnant l'option d'infrastructure naturelle. La végétation devrait être choisie en fonction de sa capacité à survivre dans une gamme de conditions climatiques futures potentielles (fonctionnaire, Service canadien des forêts). Les risques associés à l'infrastructure naturelle dans le contexte du changement climatique devraient aussi être envisagés; notamment voir si l'infrastructure naturelle fournira les mêmes services écosystémiques dans l'avenir sous les effets du changement climatique ou si elle risque de créer de nouveaux risques, comme la propagation de plus de maladies à transmission vectorielle en raison de la présence d'eaux stagnantes (Maija Bertule, communication personnelle, 8 mai 2018). Les animaux nuisibles peuvent aussi poser un risque dans l'avenir. Notamment, la propagation de l'agrile du frêne a entraîné d'importants coûts de retrait et la dévastation des frênes en milieu urbain (fonctionnaire, Service canadien des forêts).

Annexes

A. Méthode de recherche pour l'examen de la documentation et des entrevues

Dans le cadre de l'examen de la documentation, les ressources ont été recueillies auprès du CCME ainsi qu'au moyen de recherches ciblées sur Internet en utilisant des termes comme :

- infrastructure naturelle;
- infrastructure verte;
- solutions fondées sur la nature;
- rives vivantes;
- concevoir avec la nature;
- construire avec la nature;
- travailler avec la nature;
- exemples particuliers d'infrastructure naturelle (p. ex., rigoles de drainage, bassins de rétention, toits verts).

Les recherches étaient expressément axées sur les quatre dangers présentés dans le rapport, soit les tempêtes côtières et les inondations, les inondations fluviales, les eaux de ruissellement urbaines et rurales et les îlots de chaleur urbains.

Pour les entrevues, les noms des personnes pouvant potentiellement être interviewées ont été fournis par le CCME ou relevés dans des présentations, des documents d'orientation et des adhésions auprès d'organismes pertinents. En tout, 25 entrevues ont été réalisées entre le 30 avril et le 30 mai 2018.

B. Liste des entrevues

1. Roy Brooke, Municipal Natural Assets Initiative, interviewé par Tiffany Michou, ICF, le 30 avril 2018.
2. DG Blair, Green Shores Stewardship Centre for British Columbia, interviewée par Amanda Vargo, ICF, le 1^{er} mai 2018.
3. Luke Sales, Ville de Qualicum Beach, interviewé par Tiffany Michou, ICF, le 1^{er} mai 2018.
4. Sara Jane O'Neill, Smart Prosperity, interviewée par Amanda Vargo, ICF, le 2 mai 2018.
5. Christine Zimmer, Credit Valley Conservation, interviewée par Tiffany Michou, ICF, le 2 mai 2018.
6. Danielle Dagenais, Université de Montréal, interviewée par Amanda Vargo, ICF, le 3 mai 2018.
7. Dan Kraus, Conservation de la nature Canada, interviewé par Jamie Genevie, ICF, le 3 mai 2018.
8. Sheila Boudreau, Office de protection de la nature de Toronto et de la région et, anciennement, Ville de Toronto, interviewée par Amanda Vargo, ICF, le 3 mai 2018.

9. Steven Peck, Green Roofs for Healthy Cities et Green Infrastructure Ontario Coalition, interviewé par Jamie Genevie, ICF, le 4 mai 2018.
10. Emanuel Machado, Ville de Gibsons, interviewé par Samantha Heitsch, ICF, le 4 mai 2018.
11. Hope Parnham, Atlantic Provinces Association of Landscape Architects, interviewée par Samantha Heitsch, ICF, le 7 mai 2018.
12. Nathalie Bleau, Ouranos, interviewée par Tiffany Michou, ICF, le 7 mai 2018.
13. Sylvain Perron, David Suzuki Foundation, interviewé par Tiffany Michou, ICF, le 7 mai 2018.
14. Maija Bertule, Programme des Nations unies pour l'environnement – DHI Partnership, Centre on Water and the Environment, interviewée par Amanda Vargo, ICF, le 8 mai 2018.
15. Craig Stewart, Bureau d'assurance du Canada, interviewé par Jamie Genevie, ICF, le 8 mai 2018.
16. Eriel Deranger, Indigenous Climate Action, interviewée par Samantha Heitsch, ICF, le 8 mai 2018.
17. Florence Daviet, Société pour la nature et les parcs du Canada, interviewée par Samantha Heitsch, ICF, le 8 mai 2018.
18. Natalia Moudrak, Centre Intact d'adaptation au climat, interviewée par Samantha Heitsch, ICF, le 9 mai 2018.
19. Jenny Hill, Office de protection de la nature de Toronto et de la région, interviewée par Amanda Vargo, ICF, le 9 mai 2018.
20. Ken Farr, Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, interviewé par Amanda Vargo, ICF, le 10 mai 2018.
21. Susan Preston, Environnement et Changement climatique Canada, Service canadien de la faune, interviewée par Samantha Heitsch, ICF, le 11 mai 2018.
22. Chad Nelson, François Levesque et Jade Monaghan, Infrastructure Canada, interviewés par Tiffany Michou, ICF, le 11 mai 2018.
23. Michelle Sawka, Office de protection de la nature de Toronto et de la région et Green Infrastructure Ontario Coalition, interviewée par Amanda Vargo, ICF, le 22 mai 2018.
24. Patrick Gilbride, Reep Green Solutions, interviewé par Amanda Vargo, ICF, le 23 mai 2018.
25. Chris Buse, University of Northern British Columbia, interviewé par Samantha Heitsch, ICF, le 30 mai 2018.

Robert Capozzi, ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick; Sabine Dietz, Coopérative de services de consultation environnementale Groupe Aster; et Winnifred Hays-Byl, Ressources naturelles Canada sont également cités dans le cadre de communications personnelles datant du 18 mai 2018, fondées sur les commentaires écrits fournis à l'équipe du projet.

Références

- Adham, A., Riksen, M., Ouessar, M., & Ritsema, C. (2016). *A Methodology to Assess and Evaluate Rainwater Harvesting Techniques in (Semi-) Arid Regions*. Récupéré sur [10.3390/w8050198](https://doi.org/10.3390/w8050198)
- Alberta Government. (2016). *Watershed Resiliency and Restoration Program: Progress Report July 2014-March 2016*. Récupéré sur <https://open.alberta.ca/dataset/75e5626f-9e39-43eb-9190-3a0ba1c9d0d6/resource/ef9b6ae3-0d8e-461e-9d30-e2f914f9a329/download/2016-watershed-resiliency-restoration-program-progress-report-july-2014-march-2016.pdf>
- Alberta Government. (2017). *Watershed Resiliency and Restoration Program*. Récupéré sur <https://open.alberta.ca/dataset/09550b4b-5cff-4429-b652-b8c69d598a27/resource/ba9d58c2-1880-4a90-a3f2-6661f01b14ee/download/wrrp-guide-feb03-2017.pdf>
- Alberta Government Environment and Parks. (2018). *Watershed Resiliency and Restoration Program Grant Approval Fact Sheet*. Calgary. Récupéré sur <http://aep.alberta.ca/water/programs-and-services/watershed-resiliency-and-restoration-program/documents/WRRP-GrantApprovalFactSheet-May01-2018.pdf>
- Alcock, I. W. (2014). Longitudinal effects on mental health of moving to greener and less green urban areas. *Environmental Science and Technology*, 48(2), 1247-1255. Récupéré sur <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es403688w>
- Allen, W. (2014). *The Conservation Fund (referenced in World Resources Institute, Natural Infrastructure - Investing in Forested Landscapes for Source Water Protection in the United States)*. Récupéré sur https://www.wri.org/sites/default/files/wri13_report_4c_naturalinfrastructure_v2.pdf
- American Rivers, Water Environment Federation, American Society of Landscape Architects & ECONorthwest. (2012). *Banking on Green: A Look at How Green Infrastructure Can Save Municipalities Money and Provide Economic Benefits Community-Wide*. Récupéré sur https://www.asla.org/uploadedFiles/CMS/Government_Affairs/Federal_Government_Affairs/Banking%20on%20Green%20HighRes.pdf
- American Society of Landscape Architects. (2018). Récupéré sur Professional Practice: Improving Water Efficiency: Residential Bioswales and Bioretention Ponds: <https://www.asla.org/bioswales.aspx>
- Association of State Wetland Managers. (2018). *Natural & Green Infrastructure*. Récupéré sur <https://www.aswm.org/wetland-science/wetlands-and-climate-change/natural-green-infrastructure>
- Aubrey, A. (2017, July 17). Forest Bathing: A Retreat To Nature Can Boost Immunity And Mood. *Shots: Health News from NPR*. Récupéré sur <https://www.npr.org/sections/health->

shots/2017/07/17/536676954/forest-bathing-a-retreat-to-nature-can-boost-immunity-and-mood

- Bassuk, N., Curtis, D., Marranca, B., & Neal, B. (2009). *Recommended Urban Trees: Site Assessment and Tree Selection for Stress Tolerance*. Récupéré sur Urban Horticulture Institute, Department of Horticulture, Cornell University: <http://www.hort.cornell.edu/uhi/outreach/recurbtrees/pdfs/~recurbtrees.pdf>
- Calnan, D. (2015, September 11). *Aulac salt marsh restoration ahead of schedule*. Consulté le June 6, 2018, sur CBC News: <http://www.cbc.ca/news/canada/new-brunswick/aulac-salt-marsh-restoration-1.3223792>
- Canada Green Building Council. (2018). *evol1 Canada's first Zero Carbon Building – Design certified project Waterloo, Ontario*. Récupéré sur https://www.cagbc.org/CAGBC/Zero_Carbon/Project_Profiles/evol1_Profile.aspx
- Canadian Impact Infrastructure Exchange. (2017). *Triple Bottom Line Cost Benefit Analysis Raindrop Plaza: A Pilot Study for the Canadian Impact Infrastructure Exchange*.
- Canadian Institute for Environmental Law and Policy. (2011). *Greening Stormwater Management in Ontario*. Récupéré sur <http://cielap.org/pdf/GreeningStormManOntario.pdf>
- Carlson, L., & White, P. (2017). *The Business Case for Green Infrastructure: Resilient Stormwater Management in the Great Lakes Region*. Récupéré sur <https://americas.uli.org/wp-content/uploads/sites/125/ULI-Documents/ULI-Great-Lakes-Stormwater-Report.pdf>
- Center for Environmental Excellence. (2018). *Sustainability Case Studies*. Récupéré sur https://environment.transportation.org/environmental_topics/sustainability/case_studies.aspx#bookmarksubChicagosGreenAlleyProgram
- Center for Neighborhood Technology. (2010). *The Value of Green Infrastructure A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits*. Récupéré sur https://www.cnt.org/sites/default/files/publications/CNT_Value-of-Green-Infrastructure.pdf
- Centre for Interactive Research on Sustainability. (Undated). Récupéré sur Building: <http://cirs.ubc.ca/building/>
- City of Edmonton. (2013). *Crystallina Nera West Neighborhood Structure Plan*. Récupéré sur https://www.edmonton.ca/residential_neighbourhoods/plans_in_effect/Crystallina_Nera_East__NSP_Consolidation.pdf
- City of Edmonton. (2016). *BREATHE Edmonton's Green Network Strategy: Strategic Plan*. Récupéré sur https://www.edmonton.ca/city_government/documents/PDF/EdmontonGreenNetworkContext_Stage1SummaryReport_July2016.pdf
- City of Kitchener. (2017). *Stormwater credit application residential*. Récupéré sur <https://www.kitchener.ca/en/city-services/stormwater-credit-application-residential.aspx>

- City of Vancouver. (2016). *Rainwater Management Plan and Green Infrastructure Strategy Council Report*. Récupéré sur <http://council.vancouver.ca/20160419/documents/rr2.pdf>
- City of Vancouver. (2018a). *Citywide Integrated Rainwater Management Plan*. Récupéré sur <http://vancouver.ca/home-property-development/city-wide-integrated-stormwater-management-plan.aspx>
- City of Vancouver. (2018b). *Home, Property, and Development*. Récupéré sur <http://vancouver.ca/home-property-development/green-infrastructure.aspx>
- Coastal Zone Canada Association. (2018). *Community of Practice: Cold Regions Living Shoreline*. Récupéré sur <http://www.coastalzonecanada.org/cop/>
- Coffman, L. S. (2000). *Low-Impact Development Design: A New Paradigm for Stormwater Management Mimicking and Restoring the Natural Hydrologic Regime An Alternative Stormwater Management Technology*. Récupéré sur https://www.waterboards.ca.gov/rwqcb2/water_issues/programs/stormwater/muni/nrdc/19%20lid%20design-%20a%20new%20paradigm.pdf
- Credit Valley Conservation and Toronto and Region Conservation Authority. (2010). Récupéré sur Low Impact Development Stormwater Management Planning and Design Guide, Version 1.0: https://trca.ca/app/uploads/2016/04/LID-SWM-Guide-v1.0_2010_1_no-appendices.pdf
- Dagenais, D., Paquette, S., Thomas, I., & Fuamba, M. (2014). *Implantation en milieu urbain de systèmes végétalisés de contrôle à la source des eaux pluviales dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques*. Récupéré sur Ouranos: https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportDagenais2013_FR.pdf
- Ecology Action Centre. (2014). *Living Shorelines: Caribou Island Site Summary*. Récupéré sur <https://www.ecologyaction.ca/files/images-documents/image/Coastal/coastlines/Caribou%20Site%20Summary%20Website.pdf>
- Ecology Action Centre. (Undated). *Living Shorelines*. Consulté le April 27, 2018, sur <https://ecologyaction.ca/livingshorelines>
- Elmqvist, T. S.-B. (2015). Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 101-108. doi:10.1016/j.cosust.2015.05.001
- Environment and Climate Change Canada. (2016). *Canada's Biodiversity Outcomes Framework and 2020 Goals & Targets*. Gatineau QC: Environment and Climate Change Canada. Récupéré sur http://publications.gc.ca/collections/collection_2016/eccc/CW66-525-2016-eng.pdf
- EPA. (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. Récupéré sur <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>
- EPA. (2014a). *EPA Science Matters Newsletter: What is Green Infrastructure?* Récupéré sur <https://www.epa.gov/sciencematters/epa-science-matters-newsletter-what-green-infrastructure>

- EPA. (2014b). *The Economic Benefits of Green Infrastructure A Case Study of Lancaster, PA*. Récupéré sur https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/cnt-lancaster-report-508_1.pdf
- EPA. (2016, December 17). *Climate Change Indicators: Coastal Flooding*. Récupéré sur <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-coastal-flooding>
- EPA. (2017). *What is Green Infrastructure?* Récupéré sur <https://www.epa.gov/green-infrastructure/what-green-infrastructure>
- EPA. (2018a). *Green Infrastructure for Climate Resiliency Infographic*. Récupéré sur <https://www.epa.gov/file/green-infrastructure-climate-resiliency-infographic>
- EPA. (2018b). *Stormwater Management and Green Infrastructure Research*. Récupéré sur <https://www.epa.gov/water-research/stormwater-management-and-green-infrastructure-research>
- Farr, K. (Undated). *Research Brief - Evolving Urban Forest Concepts and Policies in Canada*. Récupéré sur <http://www.horizons.gc.ca/en/content/research-brief-evolving-urban-forest-concepts-and-policies-canada>
- FEMA. (2017). *FEMA: Setback*. Récupéré sur <https://www.fema.gov/setback>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (Undated). *Forest and Water Program*. Récupéré sur <http://www.fao.org/in-action/forest-and-water-programme/en/>
- Fuller, R. I.-W. (2007). Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology Letters*, 3(4). Récupéré sur <http://rsbl.royalsocietypublishing.org/content/3/4/390>
- Georgetown Climate Center. (2018). *Green Infrastructure Toolkit*. Récupéré sur <http://www.georgetownclimate.org/adaptation/toolkits/green-infrastructure-toolkit/green-infrastructure-strategies-and-techniques.html>
- Government of Canada. (2010). *The Urban Heat Island Effect: Causes, Health Impacts and Mitigation Strategies*. Récupéré sur https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/climat/adapt_bulletin-adapt1/adapt_bulletin-adapt1-eng.pdf
- Government of Canada. (2015). *Health Canada is Collaborating with Canadian Communities to Reduce the Urban Heat Island Effect*. Récupéré sur <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/climate-change-health/climate-change-health-adaptation-bulletin-number-6.html>
- Government of Canada. (2016). *Canada's Marine Coasts in a Changing Climate*. Récupéré sur https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Coastal_Assessment_FullReport.pdf
- Government of Canada. (2018). *Municipalities across Canada to receive support for 67 new infrastructure initiatives*. Récupéré sur <https://www.canada.ca/en/office-infrastructure/news/2018/03/backgrounder-municipalities-across-canada-to-receive-support-for-67-new-infrastructure-initiatives.html>

- Government of Canada. (2018). *Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change*. Récupéré sur <https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/pan-canadian-framework.html>
- Green Infrastructure Ontario Coalition. (2016a). *Green Infrastructure*. Récupéré sur <http://greeninfrastructureontario.org/>
- Green Infrastructure Ontario Coalition. (2016b). *Green Roofs*. Récupéré sur <https://greeninfrastructureontario.org/green-roof/>
- Green Infrastructure Ontario Coalition. (2016c). *Health, Prosperity and Sustainability: The Case for Green Infrastructure in Ontario*. Récupéré sur http://greeninfrastructureontario.org/wp-content/uploads/2016/04/HPS_GI.pdf
- Green Infrastructure Ontario Coalition. (2016d). *Stormwater Systems*. Récupéré sur <https://greeninfrastructureontario.org/stormwater-systems/>
- Green Infrastructure Ontario Coalition. (2016e). *Urban Forests*. Récupéré sur <https://greeninfrastructureontario.org/urban-forests/>
- Green Infrastructure Ontario Coalition. (2017). *A Green Infrastructure Guide for Small Cities, Towns and Rural Communities*. Récupéré sur https://d3n8a8pro7vhmx.cloudfront.net/greenbelt/pages/5202/attachments/original/1504021812/Green_Infrastructure_Final.pdf?1504021812
- Healthy Air Living. (2011). *Urban Heat Island Mitigation: An innovative way to reduce air pollution and energy usage*. Récupéré sur <http://www.valleyair.org/programs/fasttrack/2011/urban%20heat%20island%20mitigation.pdf>
- Indigenous Circle of Experts (ICE). (2018). *We Rise Together: Achieving Pathway to Canada Target 1 through the creation of Indigenous Protected and Conserved Areas in the spirit and practice of reconciliation*. Récupéré sur https://static1.squarespace.com/static/57e007452e69cf9a7af0a033/t/5ab94aca6d2a7338ecb1d05e/1522092766605/PA234-ICE_Report_2018_Mar_22_web.pdf
- Infrastructure Canada. (2018, May 17). *Disaster Mitigation and Adaptation Fund*. Consulté le June 6, 2018, sur <http://www.infrastructure.gc.ca/dmaf-faac/index-eng.html>
- Intact Centre on Climate Adaptation. (2017). *When the Big Storms Hit: The Role of Wetlands to Limit Urban and Rural Flood Damage*.
- Komali Yenneti, M. S. (2017). *Cooling Cities Strategies and Technologies to Mitigate Urban Heat*. Récupéré sur http://www.lowcarbonlivingcrc.com.au/sites/all/files/event_file_attachments/discussion_paper_cooling_cities_final.pdf
- Krishnaswamy, A., Simmons, E., & Joseph, L. (2012). *Increasing the Resilience of British Columbia's Rural Communities to Natural Disturbances and Climate Change*. Récupéré

- sur BC Journal of Ecosystems & Management: http://fness.bc.ca/wp-content/uploads/documents/Ajit_Krishnaswamy_et_al.pdf
- Kumar, R. T. (2017). *Wetlands for disaster risk reduction: Effective choices for resilient communities*. Récupéré sur https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/rpb_wetlands_and_drr_e.pdf
- Lamont, G., Readshaw, J., Robinson, C., & St-Germain, P. (2014). *Greening Shorelines to Enhance Resilience, An Evaluation of Approaches for Adaptation to Sea Level Rise*. Récupéré sur Prepared by SNC-Lavalin Inc. for the Stewardship Centre for B.C.: http://www.stewardshipcentrebc.ca/PDF_docs/greenshores/Resources/Greening_Shorelines_to_Enhance_Resilience.pdf
- LEAF - Local Enhancement & Appreciation of Forests. (2018). *Tree Benefits Estimator*. Récupéré sur <https://www.yourleaf.org/estimator>
- Lee, J. P.-J. (2009). Restorative effects of viewing real forest landscapes, based on a comparison with urban landscapes. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24(3). doi:10.1080/02827580902903341
- Lesnikowski, A. (2014). *Adaptation to Urban Heat Island Effect in Vancouver, BC: A case study in analyzing vulnerability and adaptation opportunities*. Récupéré sur <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/graduateresearch/310/items/1.0075852>
- Local Governments for Sustainability. (2014). *Biodiver Cities: A Primer on Nature in Cities*. Récupéré sur http://www.icleicanada.org/images/icleicanada/pdfs/biodiverCities_A%20Primer%20on%20Nature%20in%20Cities.pdf
- Maas, J. V. (2006). Green space, urbanity, and health: how strong is the relation? *Journal of Epidemiology and Community Health*, 60(7), 587-592. Récupéré sur <http://jech.bmj.com/content/60/7/587.info>
- McClearn, M. (2018, May 14). *In Tuktoyaktuk, residents take a stand on shaky ground against the Beaufort Sea's advance*. Consulté le June 5, 2018, sur The Globe and Mail: <https://www.theglobeandmail.com/canada/article-in-tuktoyaktuk-residents-take-a-stand-on-shaky-ground-against-the/>
- Minister of Health, Canada. (2015). *Health Canada is Collaborating with Canadian Communities to Reduce the Urban Heat Island Effect*. Récupéré sur https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/pdf/pubs/climat/adapt_bulletin-adapt6/adapt_bulletin-adapt6-eng.pdf
- Mitchell, R. a. (2008). Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study. *The Lancet*, 372(9650), 1655-1660. Récupéré sur [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(08\)61689-X/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(08)61689-X/fulltext)
- Municipal Natural Assets Initiative. (2017). *Defining and Scoping Municipal Natural Assets*. Récupéré sur <http://institute.smartprosperity.ca/sites/default/files/finaldesignedsept18mnai.pdf>

- National Geographic. (s.d.). *Flood Plain*. Consulté le May 31, 2018, sur National Geographic Society: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/flood-plain/>
- National Institutes of Health. (2015). Making green infrastructure healthier infrastructure. *Infection Ecology and Epidemiology*, 5. doi:10.3402/iee.v5.30082
- Native Plant Solutions. (2016). *Riparian zone restoration*. Consulté le June 6, 2018, sur <http://www.nativeplantsolutions.ca/what-we-do/riparian-zone-restoration/>
- Native Plant Solutions. (s.d.). *St-Adolphe Riparian Revegetation*. Consulté le June 6, 2018, sur <http://www.nativeplantsolutions.ca/our-work/st-adolphe-riparian-revegetation/>
- Natural Capital Project. (2018). *InVEST: Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*. Récupéré sur <https://www.naturalcapitalproject.org/invest/>
- Natural Infrastructure for Business. (2015). *Checklist - How do I appropriately evaluate infrastructure investment alternatives?* Récupéré sur <https://www.naturalinfrastructureforbusiness.org/checklist/>
- New Brunswick. (2010, October 18). *Salt marsh restoration project launched*. Consulté le June 6, 2018, sur http://www2.gnb.ca/content/gnb/en/news/news_release.2010.10.1657.html
- New Brunswick Natural Resource and Energy, Environment and Local Government. (2002). *New Brunswick Wetlands Conservation Policy*. Récupéré sur <http://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Wetlands-TerreHumides/WetlandsTerresHumides.pdf>
- New York City, Department of Environmental Protection. (2018). *Rain Barrel Giveaway Program*. Récupéré sur <http://www.nyc.gov/html/dep/html/stormwater/rainbarrel.shtml>
- NRDC. (2012). *Looking Up: How Green Roofs and Cool Roofs Can Reduce Energy Use, Address Climate Change, and Protect Water Resources in Southern California*. Récupéré sur <https://www.nrdc.org/sites/default/files/GreenRoofsReport.pdf>
- Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry. (2018a, March 27). *Conservation Land Tax Incentive Program*. Consulté le June 5, 2018, sur <https://www.ontario.ca/page/conservation-land-tax-incentive-program>
- Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry. (2018b, April 24). *Managed Forest Tax Incentive Program*. Consulté le June 5, 2018, sur <https://www.ontario.ca/page/managed-forest-tax-incentive-program>
- Park People. (2017). *Resilient Parks, Resilient City: The role of green infrastructure and parks in creating more climate-adaptive cities*. Récupéré sur https://parkpeople.ca/wp-content/uploads/2017/07/Resilient-Parks-Resilient-City_Park-People-1.compressed.pdf
- Public Health Agency of Canada. (2018, February 21). *Climate Change and Public Health Factsheets: Climate change, floods and your health*. Récupéré sur Environmental Public Health and Climate Change: <https://www.canada.ca/en/public-health/services/health-promotion/environmental-public-health-climate-change/climate-change-public-health-factsheets-floods.html>

- Queen's Printer for Ontario. (2018). *Climate change strategy*. Récupéré sur <https://www.ontario.ca/page/climate-change-strategy>
- Reep Green Solutions. (2018). *RAIN Smart Neighbourhoods Project*. Récupéré sur https://reepgreen.ca/what_we_offer/community-action/rain/rain-smart-neighbourhoods/
- Schollen & Company Inc. et al. (2017). *Toronto Green Streets Technical Guidelines*. Récupéré sur https://www.toronto.ca/ext/digital_comm/pdfs/transportation-services/green-streets-technical-guidelines-document-v2-17-11-08.pdf
- SNC Lavalin. (2014). *Greening Shorelines to Enhance Resilience: An Evaluation of Approaches for Adaptation to Sea Level Rise*. Récupéré sur Prepared by SNC-Lavin Inc. for the Stewardship Centre for British Columbia and submitted to Climate Change Impacts and Adaptation Division, Natural Resources Canada (AP040), 46p.: http://www.stewardshipcentrebc.ca/PDF_docs/greenshores/Resources/Greening_Shorelines_to_Enhance_Resilience.pdf
- Spalding, M. D. (2014). The role of ecosystems in coastal protection: Adapting to climate change and coastal hazards. *Ocean & Coastal Management*, 50-57. doi:10.1016/j.ocecoaman.2013.09.007
- Stewardship Centre for British Columbia. (2010). *Green Shores for Coastal Development: Credits and Ratings Guide for waterfront properties*. Récupéré sur http://stewardshipcentrebc.ca/PDF_docs/greenshores/Resources/GSCD_CreditsandRatingsGuide2016.pdf
- Stewardship Centre for British Columbia. (2015). *Green Shores for Homes - Washington and British Columbia: Credits and Rating Guide*. Récupéré sur http://stewardshipcentrebc.ca/PDF_docs/greenshores/reports/GSHCreditsandRatingsGuide.pdf
- Sutton-Grier, A. E. (2015). Future of our coasts: The potential for natural and hybrid infrastructure to enhance the resilience of our coastal communities, economies and ecosystems. *Future of our coasts: The potential for natural and hybrid infrastructure to enhance the resilience of our coastal communities, economies and ecosystems*, 137-148.
- TD Bank Group and the Nature Conservancy of Canada. (2017). *Putting a Value on the Ecosystem Services Provided by Forests in Canada: Case Studies on Natural Capital and Conservation*. Récupéré sur http://www.natureconservancy.ca/assets/documents/nat/Natural-Capital_2017_draft.pdf
- Terton, A. (2017). *Building a Climate-Resilient City: Urban Ecosystems*. Récupéré sur <http://prairieclimatecentre.ca/wp-content/uploads/2017/04/pcc-brief-climate-resilient-city-urban-ecosystems.pdf>
- The Chicago Metropolitan Agency for Planning. (2016). *Climate Resilience*. Récupéré sur <http://www.cmap.illinois.gov/documents/10180/517388/Climate+Resilience+Strategy+Paper.pdf/dd610883-d00f-407d-808b-484f9800a3f6>

- The Maritime Natural Infrastructure Collaborative. (2018a). *How to Talk About Ecosystem Services: A Guidebook for Environmental Organizations*. Récupéré sur <https://drive.google.com/file/d/1wslBclphcCz4Im6rH2Kwd3Z6CKwIH8Ei/view>
- The Maritime Natural Infrastructure Collaborative. (2018b). *Working with Nature*. Récupéré sur <http://planwithnature.ca/>
- The Nature Conservancy. (2014). *Reducing Climate Risks with Natural Infrastructure*. Récupéré sur <https://www.nature.org/ourinitiatives/regions/northamerica/unitedstates/california/ca-green-vs-gray-report-2.pdf?redirect=https-301>
- The Trust for Public Land. (2016). *The Benefits Of Green Infrastructure For Heat Mitigation And Emissions Reductions In Cities*. Récupéré sur <https://www.tpl.org/sites/default/files/Benefits%20of%20GI%20for%20heat%20mitigation%20and%20emissions%20reductions%20in%20cities.pdf>
- Toronto and Region Conservation Authority. (2017). *Sustainable Technologies Evaluation Program: Low Impact Development Series: Fairford Parkette, Toronto Green Streets Case Study*. Récupéré sur https://sustainabletechnologies.ca/app/uploads/2017/08/Fairford-Parkette-Case-Study_2017.pdf
- Toronto and Region Conservation Authority. (2018a). *Cost Analysis Resources*. Récupéré sur https://wiki.sustainabletechnologies.ca/wiki/Cost_analysis_resources
- Toronto and Region Conservation Authority. (2018b). *Low Impact Development Management Planning and Design Guide Wiki*. Récupéré sur https://wiki.sustainabletechnologies.ca/wiki/Main_Page
- Toronto and Region Conservation Authority. (Undated). *Sustainable Technologies Evaluation Program: Low Impact Development*. Récupéré sur <https://sustainabletechnologies.ca/home/urban-runoff-green-infrastructure/low-impact-development/>
- Toronto and Region Conservation for the Living City. (2011). *Brock Lands: Restoration Plan*. Récupéré sur <http://www.trca.on.ca/dotAsset/120175.pdf>
- Town of Gibsons. (2015). *Toward an Eco-Asset Strategy in the Town of Gibsons*. Récupéré sur http://waterbucket.ca/wscblog/files/2015/10/Town-of-Gibsons_Eco-Asset-Strategy_cover.jpg
- Town of Gibsons. (2017). *Advancing Municipal Natural Asset Management*. Récupéré sur <http://gibsons.ca/wp-content/uploads/2018/01/GibsonsFinancialPlanningReportJan2018-PRINT.pdf>
- Town of Gibsons. (s.d.). *Gibsons' Natural Asset Management Journey*. Récupéré sur 2018: <http://gibsons.ca/sustainability/natural-assets/gibsons-natural-asset-management-journey/>

- TRCA. (2015). *Lower Don River West Remedial Flood Protection Project*. Récupéré sur Toronto and Region Conservation for the Living City: <https://trca.ca/conservation/green-infrastructure/lower-don-river-west-remedial-flood-protection-project/>
- TRCA. (2018). *Don Mouth Naturalization and Port Lands Flood Protection Project*. Récupéré sur Toronto and Region Conservation for the Living City: <https://trca.ca/conservation/green-infrastructure/don-mouth-naturalization-port-lands-flood-protection-project/>
- Treasury Board of Canada Secretariat. (2007). *Canadian Cost-Benefit Analysis Guide: Regulatory Proposals*. Récupéré sur <http://regulatoryreform.com/wp-content/uploads/2015/02/Canada-Cost-Benefit-Analysis-Guide-2007.pdf>
- Tree Canada. (Undated). *Tree Planting Guide*. Récupéré sur <https://treecanada.ca/resources/tree-planting-guide/>
- Trois-Rivières . (2018). *Le grand projet de la rue Saint-Maurice*. Récupéré sur <http://www.v3r.net/services-au-citoyen/environnement/lutte-aux-changements-climatiques/le-grand-projet-de-la-rue-saint-maurice>
- Tzoulas, K. K.-P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: a literature review. *Landsc. Urban Plan.*, 167-178.
- U.S. Department of Agriculture. (2006). *i-Tree Tools for Assessing and Managing Forests and Community Trees*. Récupéré sur <https://www.itreetools.org/about.php>
- United Nations Climate Change. (2016). *The Paris Agreement*. Récupéré sur <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- United Nations Environment Programme. (2014). *Green Infrastructure Guide for Water Management: Ecosystem-based management approaches for water-related infrastructure projects*. Récupéré sur <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9291/-Green%20infrastructure:%20guide%20for%20water%20management%20%20-2014unep-dhigroup-green-infrastructure-guide-en.pdf?sequence=3>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction*. Récupéré sur https://www.unisdr.org/we/coordinate/sendai-framework?utm_source=socialih&utm_medium=medium&utm_campaign=march_blog_wenbuilding
- University of Toronto. (Undated). *GRIT Lab*. Récupéré sur <http://grit.daniels.utoronto.ca/>
- Value of Nature to Canadians Study Taskforce. (2017). *Completing and Using Ecosystem Service Assessment for Decision-Making: An Interdisciplinary Toolkit for Managers and Analysts*. Ottawa, ON: Federal, Provincial, and Territorial Governments of Canada. Récupéré sur http://publications.gc.ca/collections/collection_2017/eccc/En4-295-2016-eng.pdf



- van Ham , C., & Klimmek, H. (2017). *Partnerships for Nature-Based Solutions in Urban Areas – Showcasing Successful Examples*. Récupéré sur https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-56091-5_16.pdf
- Water Canada. (2017). Récupéré sur Urbanization Effect on Hydrology: <https://www.watercanada.net/feature/urbanization-effect-on-hydrology/>
- Webb, B. S. (2018). *White Paper: Nature-Based Solutions for Coastal Highway Resilience*. Consulté le April 19, 2018, sur https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/green_infrastructure/nature_based_solutions/#toc504670180
- Winkelman, S. E. (2017). *Taking Action on Green Resilience: Climate Change Adaptation and Mitigation Synergies*. Récupéré sur http://act-adapt.org/wp-content/uploads/2017/11/ACT_ALTGR_Web4.pdf