



Canadian Council
of Ministers
of the Environment

Le Conseil canadien
des ministres
de l'environnement

CADRE DE L'INFRASTRUCTURE NATURELLE : CONCEPTS, DÉFINITIONS ET TERMES CLÉS

**N° DE PIÈCE 1630
ISBN 978-1-77202-080-9 PDF**

NOTE AU LECTEUR

Le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) est le principal forum intergouvernemental qui, sous la direction des ministres de l'Environnement, mène une action concertée dans des dossiers environnementaux d'intérêt national et international. Les 14 membres du gouvernement collaborent pour élaborer des normes et des pratiques environnementales cohérentes à l'échelle nationale.

Le CCME tient à remercier Horizon Advisors et Stratos Inc. pour leur contribution à l'élaboration du présent document.

TABLE DES MATIÈRES

NOTE AU LECTEUR	i
INDEX DES TERMES	iii
RÉSUMÉ	iv
ACRONYMES.....	vii
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 TERMINOLOGIE GÉNÉRALE	2
2.1 Terminologie contextuelle.....	2
2.2 Types d'infrastructure	4
3.0 DÉFIS EN MATIÈRE D'INFRASTRUCTURE : TYPES DE SOLUTIONS D'INFRASTRUCTURE NATURELLE ET DE SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE.....	9
3.1 Protection contre les dangers côtiers	10
3.1.1 Type de solution : Renforcement de la résilience côtière	12
3.2 Gestion des inondations riveraines.....	18
3.2.1 Type de solution : Gestion globale des bassins hydrographiques.....	19
3.3 Gestion des eaux pluviales municipales.....	25
3.3.1 Type de solution : Infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales.....	26
3.4 Conditions et épisodes de chaleur extrême	33
3.4.1 Type de solution : Projets de foresterie urbaine et d'écologisation	34
4.0 CONCLUSION	38
5.0 RÉFÉRENCES.....	40
ANNEXE : TERMINOLOGIE CONNEXE SUPPLÉMENTAIRE.....	46
Ressources	46
Principes et pratiques.....	49

INDEX DES TERMES

Adaptation aux changements climatiques.....	2	Infrastructure grise.....	9
Adaptation fondée sur les écosystèmes (AfE) .	50	Infrastructure hybride	14
Aménagement à faible impact (AFI)	27	Infrastructure naturelle (IN).....	7
Aménagements paysagers résilients.....	30	Infrastructure verte (IV).....	8
Applications de rétention	28	Infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales.....	26
Arbres urbains.....	32	Infrastructures vertes et bleues	15
Atténuation des changements climatiques	3	Jardins de pluie	32
Avantages connexes.....	49	Marais artificiels.....	29
Bandes tampons/bandes filtrantes.....	30	Marais côtiers	17
Biens écosystémiques	51	Méthodes non structurelles.....	13
Biodiversité.....	49	Murs végétalisés	37
Biomimétisme.....	49	Noues.....	29
Capital naturel.....	48	Pavages perméables.....	31
Captage et utilisation ou réutilisation des eaux pluviales.....	29	Paysages humanisés.....	22
Cellules de sol.....	35	Recharge de plage.....	14
Collecte des eaux de pluie.....	32	Résilience climatique.....	3
Comptabilisation du capital naturel	48	Ressources améliorées.....	46
Conception avec la nature	50	Ressources artificielles	46
Corridors naturels.....	52	Ressources écologiques	46
Défenses côtières	12	Ressources naturelles.....	47
Écologisation urbaine.....	35	Ressources naturelles municipales	47
Écosystème	51	Restauration des dunes	16
Écosystèmes remis en état ou préservés	18, 23	Rives côtières vivantes	17
Espaces verts (EV).....	36	Rives vivantes.....	20
Exhumation de cours d'eau.....	22	Services écosystémiques (SE)	51
Forêts	20	Solutions climatiques naturelles (SCN).....	4
Forêts côtières	16	Solutions fondées sur la nature (SFN).....	4
Forêts urbaines.....	34	Structures de défense côtière	13
Gestion globale des bassins hydrographiques..	19	Système de patrimoine naturel.....	52
Gestion intégrée de l'eau	20	Systèmes d'infiltration souterrains	33
Habitat.....	52	Terres humides	21
Herbiers de zostères	17	Terres humides côtières	16
Infrastructure.....	4	Toits verts.....	30, 36
Infrastructure écologique	50		

RÉSUMÉ

En 2018, le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) a élaboré *Pratiques exemplaires et ressources relatives à l'infrastructure naturelle résistante au climat*. En plus de décrire les pratiques exemplaires et les principales ressources disponibles pour appuyer les solutions d'infrastructure naturelle (IN), le rapport cerne plusieurs défis qui limitent l'adoption de ces solutions. Il s'agissait notamment d'un manque de sensibilisation à l'infrastructure naturelle et à ses avantages et un manque d'uniformité dans la terminologie utilisée par les différents secteurs pour décrire les possibilités connexes et les concepts clés.

Pour combler ces lacunes, un *Cadre de l'infrastructure naturelle* a été élaboré afin d'offrir un vocabulaire commun à divers utilisateurs, comme les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux, qui s'intéressent à l'IN et aux solutions fondées sur la nature (SFN) plus globales.

Les SFN sont définies comme des mesures fondées sur la nature qui protègent, restaurent et gèrent durablement les écosystèmes naturels ou modifiés par l'humain, dans le but de maintenir ou d'améliorer les services fournis aux collectivités humaines et les bénéfices pour la biodiversité. L'IN est un segment spécifique de la catégorie générale de SFN qui utilise des caractéristiques et des matériaux préservés, restaurés ou améliorés de l'écosystème (p. ex., l'eau, les espèces de végétation indigènes, le sable et la pierre) pour atteindre les résultats visés en matière d'infrastructure, tout en offrant une série d'avantages connexes pour l'environnement, l'économie, la santé et le bien-être de la collectivité.

Le présent Cadre a été élaboré pour appuyer les décideurs et les praticiens en raison de l'intérêt croissant pour l'utilisation des SFN pour aider les gouvernements à relever les défis émergents en matière d'infrastructure, surtout à la lumière des pressions accrues découlant des conditions climatiques changeantes. Le Cadre vise à communiquer la vaste gamme d'IN et de SFN connexes, en utilisant des termes communs convenus, et à améliorer la compréhension de l'ensemble des SFN qui peut être mis en œuvre dans l'ensemble des administrations, ainsi que leurs avantages.

Le Cadre décrit les concepts et les termes clés qui portent sur quatre défis distincts en matière d'infrastructure liés au climat. Des exemples de la façon dont les SFN peuvent être utilisées pour relever ces défis sont également fournis. Bien que certaines solutions d'infrastructure puissent mieux convenir à des emplacements géographiques précis (p. ex., celles qui visent à lutter contre l'érosion côtière conviennent le mieux aux régions côtières, notamment les Grands Lacs), le Cadre doit être appliqué à l'ensemble des administrations, dont les régions rurales et nordiques du Canada.

Un résumé des quatre défis et des types de solution est fourni ci-dessous :

1

Gestion des dangers côtiers

Renforcement de la résilience côtière

Dangers côtiers

Le **renforcement de la résilience côtière** devient de plus en plus important dans les efforts d'adaptation au climat dans les régions côtières du Nord, du Pacifique et de l'Atlantique et dans les régions des lacs et des plans d'eau douce du Canada. Augmentant le risque d'inondations, la perte de glace de mer, les ondes de tempête et les changements du niveau de l'eau liés à la modification des tendances d'érosion des rives sont des variables fondamentales de la dégradation des écosystèmes aquatiques et terrestres vulnérables, ainsi que des menaces démontrables pour les biens des collectivités côtières.

Les caractéristiques de l'**IN** (p. ex., des marais salés, des plages restaurées, des dunes de sable et des herbiers marins) fonctionnent généralement en association avec une infrastructure hybride (p. ex., des brise-lames vivants) et des défenses bâties (p. ex., des digues) dans les milieux côtiers afin d'apporter une protection indispensable contre les dangers côtiers.

2

Gestion des inondations riveraines

Gestion globale des bassins hydrographiques

Inondations riveraines

La **gestion globale des bassins hydrographiques** peut jouer un rôle important dans le cadre d'une réponse d'adaptation pour faire face aux inondations riveraines (fluviales) qui touchent les villes, les collectivités rurales, les terres agricoles et autres paysages humanisés situés dans les plaines inondables naturelles.

Les caractéristiques de l'**IN** (p. ex., les zones riveraines et les rives, les forêts, les prairies, les terres humides, les bassins et les rivières) peuvent permettre, par le biais d'efforts de protection ou d'amélioration, un contrôle des inondations en amont et l'atténuation des dégâts tout en soutenant les processus hydrologiques et écosystémiques bénéfiques aux collectivités en aval (p. ex., purification rudimentaire de l'eau, recharge de la nappe phréatique et cycle nutritif). Au niveau des bassins hydrographiques, les aires de conservation (p. ex., les terres humides protégées) sont des sites clés pour la préservation, la restauration et l'amélioration des caractéristiques d'IN.

3

Gestion des eaux pluviales municipales

Infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales

Eaux pluviales municipales

L'**infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales** a été mise en place par certaines municipalités pour assurer la gestion active et quotidienne du cycle précipitations-ruissellements. Dans les scénarios futurs, il est prévu que les dangers liés au climat (p. ex., les inondations pluviales ou terrestres dues aux précipitations ou à la fonte de neige et les inondations soudaines dues à de fortes pluies et à un ruissellement rapide) exercent de nouvelles pressions sur la capacité des égouts pluviaux et sur les systèmes de collecte et d'acheminement.

Les caractéristiques de l'**IN** (p. ex., les jardins de pluie, les noues végétalisées et les zones d'accumulation d'eau en surface) et les éléments gris (p. ex., les systèmes de réservoirs, de fossés et de ponceaux) fonctionnent ensemble pour aider à rétablir l'équilibre initial des fonctions hydrologiques des sites urbains et offrent des avantages connexes pour la qualité de l'eau locale, la naturalisation du paysage et l'habitat de la faune.

Les *projets de foresterie urbaine et d'écologisation* peuvent permettre l'atténuation des effets des épisodes de chaleur plus fréquents et plus intenses ou aider à restaurer la capacité des ressources terrestres et aquatiques à le faire. Les approches d'aménagement urbain traditionnelles ont augmenté la quantité de surfaces imperméables et à faible albédo dans les villes, ce qui accentue les effets de l'augmentation de la température (p. ex., la création d'îlots de chaleur urbains).

Les *caractéristiques de l'IN*, comme les arbres des rues, les cellules de sol, les espaces verts, les toits verts et les aménagements paysagers résilients, peuvent améliorer la régulation de la température dans les milieux à haute densité tout en offrant des avantages pour la gestion des sols et des sédiments, la collecte des eaux pluviales et de crue, la qualité et l'infiltration des eaux souterraines, ainsi que la santé humaine, la sécurité alimentaire et les loisirs. L'écologisation des collectivités canadiennes (p. ex., les initiatives de dépavage et le placement approprié d'espèces de végétation indigènes) aide à réaliser un aménagement du territoire multifonctionnel et peut créer pour la population des occasions d'interagir avec l'environnement naturel.

L'IN a le potentiel de contribuer aux politiques et aux programmes climatiques canadiens, à différentes échelles et à différents niveaux et ordres de gouvernement. Elle offre des SFN pour résoudre des défis complexes en matière d'infrastructures, y compris ceux résultant de l'évolution du climat, souvent à un coût moindre et avec un retour sur investissement plus important que pour l'infrastructure grise. Que les écosystèmes soient intacts et fonctionnent bien ou qu'ils aient subi des répercussions négatives des changements climatiques, l'utilisation d'éléments naturels préservés, restaurés ou améliorés en tant qu'infrastructure appuie la conservation des écosystèmes et génère un flux durable de bénéfices pour la biodiversité et les collectivités humaines.

Le présent document fournit un cadre des concepts, définitions et termes clés pour faire progresser la connaissance de solutions d'infrastructure proches de la nature.

ACRONYMES

AfE	adaptation fondée sur les écosystèmes
AFI	aménagement à faible impact
AMCEZ	autres mesures de conservation efficaces par zone
AMP	aire marine protégée
APCA	aire protégée et de conservation autochtone
DEU	débordement d'égout unitaire
EV	espace vert
GES	gaz à effet de serre
HNM	hausse du niveau de la mer
ICU	îlot de chaleur urbain
IN	infrastructure naturelle
IV	infrastructure verte
SE	service écosystémique
SFN	solution fondée sur la nature

1.0 INTRODUCTION

Les approches de planification et de développement des infrastructures étaient traditionnellement axées sur les éléments durs et gris dans les milieux urbains et les autres milieux à haute valeur ajoutée. Bien que ces éléments continuent d'être au centre de la gestion des ressources dans de nombreuses collectivités canadiennes, de nouvelles pressions se sont fait sentir pour que les infrastructures publiques et privées soient résilientes aux effets des changements climatiques, tels que :

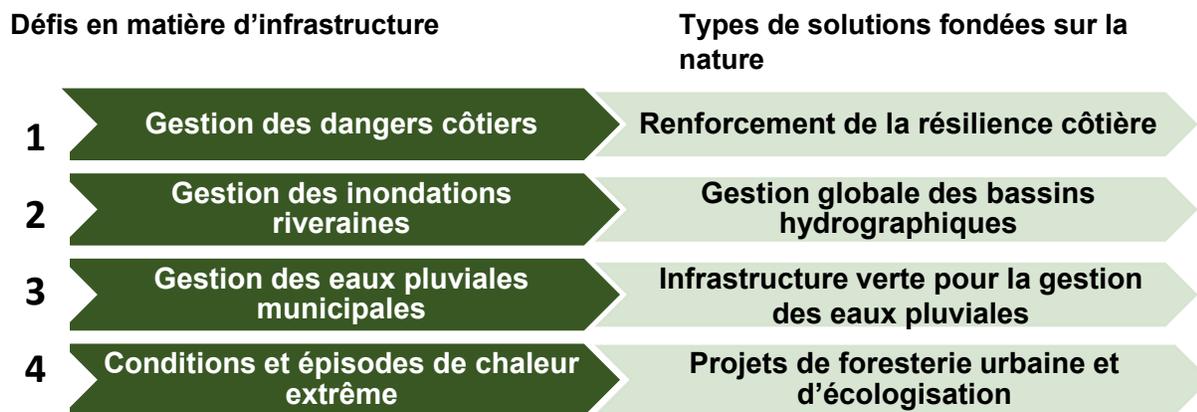
- la variation accrue des précipitations
- le débit de pointe printanier hâtif des cours d'eau et des rivières
- le raccourcissement de la saison de couverture de neige et de glace
- la fonte du pergélisol et de la glace de mer
- l'intensification de l'incidence de la hausse du niveau de la mer
- les conditions d'augmentation de la chaleur et des épisodes de chaleur extrême.

Les infrastructures naturelles (IN) et les autres solutions fondées sur la nature (SFN) peuvent intégrer ou compléter des biens techniques ou bâtis, peuvent prolonger la durée de vie des infrastructures construites contre la détérioration accélérée liée au climat et aider à compenser certaines des répercussions environnementales les plus importantes de l'infrastructure grise existante.

Bien que des initiatives d'IN aient déjà été mises en œuvre avec succès par des gouvernements et des organisations dans tout le pays, il y a place à une adoption accrue pour renforcer la résilience aux changements climatiques. Les décideurs (p. ex., les gouvernements, les autorités de conservation et les propriétaires fonciers) ont intérêt à poursuivre une discussion claire et propre au contexte sur l'ensemble des répercussions des différents investissements en infrastructure, notamment les SFN. Toutefois, il est peu probable qu'ils financent et adoptent une IN s'ils ne connaissent pas l'étendue de ses applications, des avantages qui y sont associés, et des coûts (Guerry et al., 2015). Par exemple, d'après le CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement), [2018], une terminologie incohérente constitue un obstacle important à l'adoption plus large de l'IN. Cependant, dans toute communication, il est important de s'assurer que l'infrastructure fondée sur la nature n'apparaisse pas comme une solution fourre-tout, mais comme un ensemble d'interventions éprouvées, axées sur la gestion des risques et l'amélioration de la préparation des Canadiens et des Canadiennes à l'évolution du climat.

Dans la suite du présent document sera présenté un cadre permettant de comprendre l'IN comme un sous-ensemble des solutions fondées sur la nature (SFN). La première partie du Cadre est consacrée à la terminologie et aux concepts généraux et fournit des distinctions nécessaires à faire entre les principaux termes généraux, et des cas où différentes professions peuvent utiliser des termes identiques à des fins différentes. La seconde partie est consacrée aux applications, techniques et pratiques spécifiques de l'IN utilisées seules ou associées à d'autres SFN connexes afin de permettre ou de soutenir les fonctions de l'infrastructure. Il importe de souligner qu'au fur et à mesure que les IN et les SFN augmentent, de nouveaux termes, de nouvelles technologies et de nouvelles preuves des avantages feront leur apparition.

Afin de situer les SFN dans le programme canadien sur l'évolution du climat, les applications spécifiques sont classées sous forme de réponse à quatre *principaux défis en matière d'infrastructure*, avec les zones de solution correspondantes qui ont été identifiées pour chacun :



Le cadre terminologique est une introduction générale à l'IN et aux vastes SFN qui y sont liées, et il comprend des applications capables de contribuer aux efforts d'adaptation climatique au Canada. Au fur et à mesure que les décideurs et les intervenants s'efforcent d'intégrer les nouvelles technologies, les nouveaux investissements et les nouvelles méthodes de gestion, la portée de la terminologie à des types de solution pourrait dépasser le contenu présenté dans le présent rapport.

2.0 TERMINOLOGIE GÉNÉRALE

Les SFN ont un fort potentiel d'amélioration des réponses aux risques liés aux changements climatiques et aux défis connexes en matière d'infrastructure dans les régions rurales, urbaines et nordiques du Canada. Pour établir le contexte, cette section définit les termes fondamentaux, démontre leur lien avec la résilience climatique et les SFN, et discerne les différences et les interactions entre les concepts clés.

2.1 Terminologie contextuelle

Adaptation aux changements climatiques

L'adaptation aux changements climatiques décrit les ajustements effectués par les systèmes humains et naturels aux conditions climatiques réelles ou prévues et à leurs effets (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [GIEC], 2018; Bush et Lemmen, 2019). Bien que certaines répercussions des changements climatiques peuvent être évitées, réduites ou retardées par des mesures d'atténuation, l'adaptation est nécessaire pour faire face aux effets des conditions climatiques changeantes, déjà inévitables en raison des émissions passées. Dans les systèmes humains, l'adaptation signifie modérer ou éviter les dégâts (p. ex., éviter le développement), ou exploiter les opportunités bénéfiques (p. ex., atteindre les objectifs de conservation). À titre de comparaison,

certains systèmes naturels nécessitent une intervention humaine pour obtenir des résultats positifs en matière d'adaptation (p. ex., préserver la biodiversité). Les SFN (y compris l'infrastructure verte et l'IN) peuvent contribuer directement aux efforts d'adaptation en modérant les effets des changements climatiques et en améliorant la résilience des environnements bâtis et naturels aux répercussions liées au climat.

Atténuation des changements climatiques

De manière générale, les efforts d'atténuation sont des interventions visant à réduire les utilisations négatives ou non durables de l'environnement, des écosystèmes et de la biodiversité (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services [IPBES], 2018). Les mesures d'atténuation visant spécifiquement les changements climatiques comprennent l'ensemble des actions entreprises pour réduire ou prévenir les émissions de gaz à effet de serre (GES), qu'elles résultent de processus naturels ou d'activités humaines. Elles impliquent également la réduction des émissions d'autres substances qui ont un effet de réchauffement sur le climat, ainsi que des efforts pour améliorer l'efficacité des puits de GES¹. Les activités d'atténuation nécessitent souvent la mesure de l'absorption de GES et la production de rapports selon une base de référence définie et conformément à des règles de comptabilisation spécifiques. Bien que l'IN contribue principalement aux efforts d'adaptation au climat, certaines applications peuvent également avoir des retombées positives sur l'atténuation. C'est le cas, par exemple, lorsque les terres humides, les prairies et les forêts stockent du carbone de façon temporaire ou à long terme.

Résilience climatique

La résilience au climat est la capacité d'adaptation d'un système, d'une collectivité ou d'une société exposés à des dangers liés au climat, en résistant ou en changeant afin d'atteindre et de maintenir un niveau acceptable de fonctionnement et de structure. Elle comprend la planification, le développement et la gestion continue réussis de ressources pour qu'elles puissent résister à des dommages et à des perturbations causées par l'évolution des conditions climatiques, y réagir, puis se rétablir rapidement. L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) [2018] observe que les risques climatiques pour l'infrastructure peuvent être réduits en plaçant les infrastructures dans des zones moins exposées aux dangers climatiques (p. ex., en évitant les nouvelles constructions dans les plaines inondables naturelles), ainsi qu'en améliorant la capacité des infrastructures à faire face aux répercussions climatiques lorsqu'elles se présentent (p. ex., en utilisant des aires de rétention des eaux pluviales pour atténuer le risque de débordement des égouts).

¹ Les sources de carbone comprennent les processus naturels et les activités humaines qui produisent du carbone, comme la combustion de charbon, de pétrole, de gaz naturel et de méthane hydraté, et qui libèrent des GES dans l'atmosphère. Les puits de carbone comprennent les réservoirs naturels ou artificiels qui absorbent et stockent le carbone atmosphérique, comme les forêts, les océans, la biomasse végétale des terres humides et des tourbières, ainsi que les sols. Il est important de noter que des éléments d'IN, notamment les arbres et la végétation urbaine, les parcs et les terres humides, sont tous des puits de carbone importants, tout comme les applications d'IV telles que les toits verts et les couverts forestiers urbains.

Solutions fondées sur la nature et solutions climatiques naturelles

L'OCDE (2020) et l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) [2016] définissent les SFN comme des mesures qui protègent, restaurent et gèrent durablement les écosystèmes naturels ou modifiés, dans le but de maintenir ou d'améliorer les services fournis aux collectivités humaines et les bénéfiques pour la biodiversité. Ce concept relie des domaines de connaissances jusqu'alors séparés sur une grande diversité d'interventions et de points de vue quant à ce qui peut être qualifié de fondé sur la nature. Dans le contexte de certaines politiques particulières, c'est un concept généralement utilisé en relation avec des termes connexes tels que l'adaptation fondée sur les écosystèmes (AfE), la réduction des risques de catastrophes écologiques et, immanquablement, l'infrastructure verte (OCDE, 2020), car dans la pratique, les SFN peuvent remplir des fonctions d'infrastructure nécessaires de régulation du débit d'eau, de protection des rives, de refroidissement des villes et de complément à l'infrastructure bâtie (Glebe Community Association [GCA], 2019).

Les SFN ou les solutions climatiques naturelles (SCN) peuvent être utilisées simultanément pour répondre aux défis de la sécurité alimentaire, de l'approvisionnement en eau et de sa qualité, de la gestion des risques de catastrophe et du développement socioéconomique sous la pression des changements climatiques. L'infrastructure verte et l'IN font partie des SFN et des SCN, puisqu'elles partagent un objectif général de soutien aux objectifs de développement des sociétés par des mesures qui améliorent la résilience des écosystèmes, leur capacité de renouvellement et la fourniture de services. Il est essentiel que les solutions d'infrastructure adaptées au climat n'aient aucun coût pour la diversité biologique qui est à la base de l'état et de la résilience de l'environnement; les solutions qui protègent contre les coûts sociaux et économiques associés aux catastrophes naturelles, mais qui sont négatives pour la biodiversité, par exemple, ne constituent pas des SFN ni des solutions climatiques naturelles.

Les intervenants canadiens peuvent tirer parti de la valeur des SFN dans leurs efforts d'adaptation et d'atténuation du changement climatique, puisque presque toutes les interventions qui réduisent les répercussions climatiques augmentent également l'absorption et le stockage de carbone. De plus, de nombreuses SFN et solutions climatiques naturelles sont ancrées dans des formes de connaissances traditionnelles, notamment celles des peuples autochtones, et de connaissances locales, et peuvent être intégrées dans la conception d'une science de la durabilité et d'une planification de la conservation afin de réduire les risques et de se préparer pour un avenir incertain. De façon tout aussi importante, elles sont en accord avec les conventions mondiales en faveur du développement durable et de la protection des habitats et de la biodiversité (p. ex., les objectifs de développement durable des Nations Unies).

2.2 Types d'infrastructure

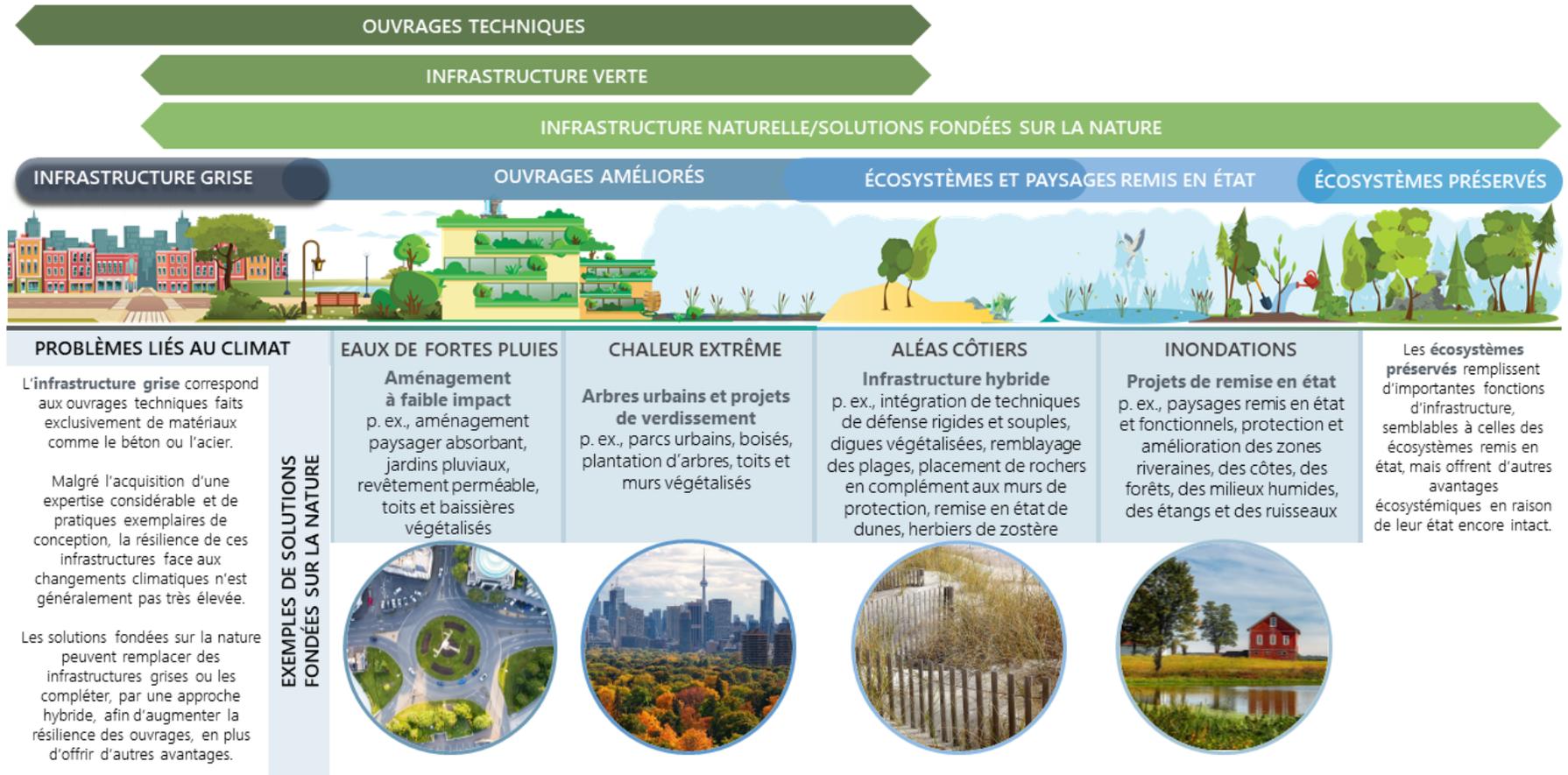
Infrastructure

L'infrastructure désigne les éléments gérés de systèmes interdépendants qui fournissent des biens et services essentiels pour permettre, maintenir ou améliorer les conditions de vie des collectivités humaines. Ces éléments sont, par exemple, les réseaux hydrographiques, les systèmes de gestion des

déchets, les services publics, les transports et les équipements de loisirs. Les scientifiques et les conservationnistes ont avancé l'idée que les écosystèmes constituent un type d'infrastructure important et précieux. Depuis les années 1980, des termes comme « écologique », « naturel », « vert » et « bleu » ont été associés à celui d'« infrastructure » pour décrire une série d'approches en évolution vaguement reliées portant sur la planification du développement et la gestion des ressources. Cependant, la prolifération de la terminologie a fragmenté la compréhension des solutions potentielles aux défis existants et émergents en matière d'infrastructure. De même, un manque de mobilisation des connaissances a également été observé.

La caractérisation comparative des types d'infrastructure fait l'objet de perspectives diverses. La figure 1 donne une perspective globale de la typologie des types d'infrastructure; on y note un recours croissant aux SFN dans la combinaison des éléments d'infrastructure à mesure que l'on se rapproche des écosystèmes préservés. Cette représentation permet également de comparer la position relative des applications d'infrastructure. À cet égard, il est important de noter que chaque application pourrait comporter plus ou moins d'éléments fondés sur la nature, ce qui la rapprocherait ou l'éloignerait des écosystèmes préservés, respectivement.

Figure 1. Typologie des types d'infrastructure



Infrastructure naturelle

L'IN fait référence à l'utilisation d'éléments préservés, restaurés ou améliorés de végétation, de composantes biologiques, terrestres et hydriques connexes et de leurs processus écologiques naturels, ou d'une combinaison de ces éléments, pour atteindre les résultats visés en matière d'infrastructure (CCME, 2018), tels que la protection contre les dangers côtiers, la lutte contre les inondations riveraines, la gestion locale des eaux pluviales et l'atténuation des effets de la chaleur extrême. Elle est différente de l'infrastructure verte, qui est exclusivement composée de caractéristiques et de matériaux naturels de l'écosystème (p. ex., l'eau, les espèces de végétation indigènes, le sable et la pierre), et de l'infrastructure grise, qui n'offre généralement pas une série d'avantages connexes pour l'environnement, l'économie, la santé et le bien-être de la collectivité.

Les origines de l'IN remontent aux années 1980. Le concept était alors utilisé par les conservationnistes pour souligner l'importance des terres humides préservées dans la gestion des réseaux d'eau douce. Depuis lors, il a été un sujet de discussion dans les milieux universitaires et politiques en lien avec le capital naturel, les ressources naturelles, les systèmes de patrimoine naturel et les termes connexes, principalement en ce qui concerne la partie préservée et restaurée de l'infrastructure verte. Depuis ce temps, la préservation, la restauration ou l'amélioration des éléments de l'IN est souvent incorporée aux pratiques en matière d'infrastructures vertes, et de nombreuses caractéristiques de cette dernière peuvent être considérées comme des SFN.

Comme l'infrastructure verte et les SFN de façon plus générale, l'IN exige souvent des interventions gérées, que cela implique la conservation des écosystèmes ou la modification des paysages (dans le cas d'aires fonctionnelles restaurées ou de ressources construites qui intègrent des caractéristiques naturelles). Au-delà des objectifs d'infrastructure pour lesquels ils sont utilisés, les éléments d'IN peuvent améliorer la résilience climatique et la durée de vie globale des infrastructures grises et offrir des retombées positives, notamment l'amélioration de la biodiversité, la protection des habitats, des services écosystémiques, le soutien aux loisirs et à la culture, l'amélioration de la qualité de l'air et de l'eau, la création d'emplois et la stimulation des économies rurales (Roy, 2018). Le caractère polyvalent de l'IN conduit souvent à des évaluations qualitatives plus élaborées de l'ensemble de ses avantages que ce qui est possible pour les projets d'infrastructure grise, lors de l'évaluation des rapports coûts-avantages et d'autres indicateurs de rendement, comme les réductions de GES (p. ex. la séquestration et le stockage du carbone, et les émissions évitées). L'IN peut être mise en œuvre directement en utilisant des approches établies de gestion des ressources, ou indirectement par le biais de politiques, de règlements, de plans et de recommandations de soutien (Municipal Natural Assets Initiative [MNAI], 2017). Par exemple, dans le contexte canadien, les initiatives d'IN ont été soutenues par des programmes fédéraux tels que le volet écologique du programme d'infrastructure « Investir dans le Canada » (exécuté par l'entremise d'ententes bilatérales intégrées conclues avec les provinces et les territoires) et le Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophe (FAAC). Dans le futur, les autorités canadiennes auront des occasions de mieux faire concorder leurs réglementations en matière d'aménagement du territoire, leurs investissements dans l'infrastructure et leurs politiques fiscales avec des objectifs d'adaptation au climat fondés sur la nature.

Infrastructure verte (IV)

L'infrastructure verte désigne les systèmes végétaux naturels, les caractéristiques techniques, les éléments bâtis et les technologies vertes qui, ensemble, fournissent à la société une multitude de résultats économiques, environnementaux et sociaux (Green Infrastructure Ontario [GIO] 2020; Stanley et al. 2019). Certains experts de différents domaines décrivent l'infrastructure verte comme étant principalement des ressources naturelles améliorées, incorporant des caractéristiques de la terre, de l'eau et de la végétation à des éléments créés par l'humain pour soutenir les fonctions et les services écosystémiques. D'autres utilisent le terme de manière interchangeable avec « IN », ou dans un sens plus global pour parler des ressources et des capitaux naturels de toutes sortes. Dans la plupart des cas, l'infrastructure verte se distingue de l'infrastructure grise par sa capacité à imiter de nombreuses fonctions de l'IN.

Une définition de l'infrastructure verte couramment utilisée, d'abord imaginée par des intervenants de la gestion des eaux pluviales en milieu urbains aux États-Unis au début des années 1990, décrit le concept comme l'utilisation stratégique de la végétation, des sols et d'autres éléments et pratiques pour restaurer les processus naturels nécessaires à la gestion des eaux et à la création d'environnements urbains plus sains. Pendant la même période, l'Union européenne a préféré un concept plus large, et l'utilisation du terme « infrastructure verte » par l'Agence européenne pour l'environnement (AEE) [2015] et plus remarquablement la Commission européenne (CE) [2013] est plus proche d'une combinaison d'IN et l'infrastructure verte : « [...] un réseau stratégique constitué d'aires naturelles et semi-naturelles ainsi que d'autres éléments environnementaux, qui est conçu et géré pour fournir un large éventail de services écosystémiques. Il comprend des espaces verts (ou bleus si les écosystèmes aquatiques sont touchés), et d'autres caractéristiques physiques dans les aires terrestres (y compris côtières) et marines. Sur terre, l'infrastructure verte est présente [à la fois] dans les milieux ruraux et urbains. [traduction libre] » En Amérique du Nord et en Europe, les multiples avantages connexes de l'infrastructure verte ont été mis en évidence dans les comparaisons avec les éléments d'infrastructure grise à destination unique.

Actuellement, l'infrastructure verte est encore fortement associée à la philosophie de planification d'aménagement à faible impact (AFI) et aux technologies qui soutiennent les processus écologiques et hydrologiques nécessaires à la gestion des eaux de pluie et de ruissellement dans les villes (MNAI, 2017; Chenoweth et al., 2018; di Marino et Lipintie, 2017; Gouvernement de l'Ontario, 2014). Pour les intervenants en gestion des eaux pluviales urbaines, l'infrastructure verte fait référence à l'amélioration de l'infrastructure grise traditionnelle (p. ex., les systèmes de canalisations, les systèmes de fossés et de ponceaux, et les systèmes de barrages et de réservoirs) avec des éléments fondés sur la nature, afin de parvenir à une gestion active et quotidienne du cycle précipitations-ruissellements. Dans ces applications, l'infrastructure verte doit fournir des fonctions et des services qui vont au-delà d'une simple réponse à un événement climatique extrême (p. ex., une inondation ou une sécheresse) et elle s'appuie généralement sur des innovations en matière d'infrastructure grise (p. ex., la reconstruction des réseaux hydrographiques pour lutter contre les inondations avec du béton armé et spécialisé). Ce ne sont pas des caractéristiques de l'IN en soi, mais elles permettent de restaurer des *fonctions* naturelles (p. ex., stock d'eau de surface distribué pour le contrôle du débit et du volume) tout en apportant des avantages supplémentaires aux écosystèmes (p. ex., l'amélioration de la qualité de l'eau).

L'utilisation de l'infrastructure verte comme descripteur général pour les technologies propres, les infrastructures énergétiques propres et les infrastructures résilientes au climat en général risque d'y inclure de nombreuses ressources d'infrastructure grise. Cette utilisation a entraîné une confusion dans la terminologie, en particulier dans les cas où l'infrastructure verte vise à élargir la catégorie « vert » pour tenir compte de la manière dont les matières vivantes (p. ex., la végétation) peuvent être utilisées en combinaison avec des éléments naturels abiotiques (p. ex., la lumière du soleil, le vent, la roche et le sable) pour atteindre les résultats visés en matière d'infrastructure. À titre de correction, le terme « infrastructure verte vivante » est utilisé par certains intervenants pour distinguer la partie des ressources naturelles de l'infrastructure verte (p. ex., la couverture des arbres urbains) des autres technologies environnementales (p. ex., l'infrastructure des véhicules électriques).

Infrastructure grise

L'infrastructure grise décrit les caractéristiques de l'environnement bâti constitué exclusivement de matériaux tels que le béton et l'acier, notamment les ponts, les barrages, les usines de traitement des eaux, les ponceaux, les fossés et les collecteurs d'eaux pluviales. Les solutions d'infrastructure grise peuvent être comparées aux SFN en fonction de leurs différences dans le principe de conception, les pratiques de gestion, le coût et les avantages. Les éléments d'infrastructure grise sont généralement conçus à des fins uniques et, bien qu'une expertise considérable en matière de pratiques exemplaires ait été acquise au fil du temps pour leur conception et leur gestion, ils ne sont pas très adaptables à des conditions changeantes comme des événements de précipitations extrêmes et ont une durée de vie limitée (Sutton-Grier et al., 2015). De plus, l'infrastructure grise a une importante empreinte carbone en raison des émissions produites par la fabrication de structures en béton et en acier (Bataille, 2019). La mesure des avantages et de la valeur de l'infrastructure grise est généralement simple et s'appuie souvent sur des indicateurs et des paramètres quantitatifs pour l'évaluation de résultats particuliers.

3.0 DÉFIS EN MATIÈRE D'INFRASTRUCTURE : TYPES DE SOLUTIONS D'INFRASTRUCTURE NATURELLE ET DE SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE

Les applications d'IN comportant des éléments préservés, restaurés ou améliorés par l'humain ont été utilisées dans tout le pays, notamment dans les régions urbaines, rurales et nordiques, en réponse aux divers défis en matière d'infrastructure liés au climat (notamment comme défenses des côtes vulnérables) pour protéger contre les inondations, gérer les ressources en eau et atténuer les effets de la hausse des températures.

Bien qu'il n'existe pas de répertoire unique permettant de suivre la mise en œuvre des SFN à l'échelle du pays, de nombreux exemples mettent en évidence leur rôle et les possibilités accrues de renforcer la résilience aux changements climatiques. Le travail qui a été fait jusqu'à maintenant peut être approfondi de manière significative, et ces cas peuvent être modifiés pour répondre à d'autres besoins partout au pays. Par exemple :

- Afin de protéger les littoraux vulnérables, des travaux de restauration des dunes côtières ont été entrepris au Nouveau-Brunswick, des récifs intertidaux ont été aménagés à l'Île-du-Prince-Édouard, des rivages vivants ont été mis de l'avant en Colombie-Britannique et les travaux de restauration des marais salés ont progressé en Nouvelle-Écosse;
- Afin de protéger contre les inondations, des efforts de restauration des bassins versants et des plaines inondables ont été entrepris en Ontario, et une stratégie de ville pluviale a été élaborée pour la ville de Vancouver, utilisant les SFN pour réduire les risques d'inondation;
- Pour gérer les ressources en eau, des travaux ont été entrepris dans les provinces des Prairies pour améliorer la résilience des bassins hydrographiques, notamment pour appuyer l'agriculture;
- Pour atténuer les effets de la hausse des températures, des projets de foresterie urbaine et des aires protégées ont été mis en œuvre partout au pays, y compris en Ontario. De plus, le Conseil canadien des normes a publié un rapport sur la conception de terrains de jeu thermiquement confortables, qui examine des façons de réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain dans les parcs publics;
- En outre, les parcs et les aires protégées ont reçu une attention accrue et ont été mis en œuvre pour atteindre un certain nombre d'objectifs transversaux à l'échelle du pays. Les Territoires du Nord-Ouest, par exemple, ont réalisé des progrès importants dans l'établissement d'aires protégées autochtones, ce qui favorise la résilience grâce à leurs avantages sur le plan de la biodiversité, au maintien des pratiques culturelles locales et à la prestation d'une gamme de services communautaires.

La partie qui suit décrit certains des principaux besoins en matière d'infrastructure liés au climat et présente des exemples d'IN et de SFN connexes qui peuvent être développées et mises à l'échelle pour offrir une solution de rechange ou un complément efficace et rentable aux éléments bâtis et techniques.

3.1 Protection contre les dangers côtiers

Les écosystèmes côtiers se trouvent à la frontière entre la terre et la mer, le long des rives et des formations terrestres comme les estuaires, les baies et les îles-barrières. Certains types de changements environnementaux, comme le déficit en sédiments, la réduction de la couche de glace et la hausse du niveau de la mer (HNM)², augmentent la sensibilité des côtes canadiennes aux dangers liés aux conditions météorologiques et climatiques.

² La HNM est le phénomène par lequel la combinaison du réchauffement des eaux océaniques et de la fonte accélérée de la glace terrestre entraîne une augmentation de la hauteur de l'eau. Ces deux causes sont dues à l'augmentation de la chaleur atmosphérique causée par les émissions anthropiques de carbone, que les océans absorbent. À l'échelle mondiale, la planification de l'adaptation par les gouvernements est recentrée pour prendre en compte une HNM mondiale pouvant atteindre 1 m d'ici 2100 (Atkinson et al., 2016), ce qui augmentera la hauteur et la pénétration des ondes de tempête. L'adaptation à la HNM se divise généralement en trois catégories : protéger (construire des infrastructures pour protéger le développement), s'adapter (construire en cohabitant avec l'eau, p. ex., surélever les maisons) ou se retirer (éloigner les gens du rivage) [Kousky, 2014].

Par exemple, on peut s'attendre à ce que le dégel du pergélisol et l'érosion et le recul des rives³ aient des effets durables sur les communautés inuites du Nord canadien, qui comprend environ 70 % du littoral canadien (Atkinson et al., 2016) ainsi que d'importants écosystèmes côtiers comme les marais et les aires de toundra. L'intégrité des côtes du Canada atlantique est mise en péril par la HNM, l'affaissement du sol régional⁴ et la perte de la glace de mer de l'Atlantique Nord, puisque la force des vagues entraîne l'érosion des falaises exposées, des dépôts glaciaires, des dunes de sable, des langues de sable, des cordons littoraux, des marais et d'autres caractéristiques côtières (Arlington Group et al., 2013). Cependant, les effets des changements climatiques ne touchent pas toutes les régions de la même manière. L'augmentation de l'altitude de la côte du Pacifique (due à l'ajustement isostatique glaciaire), par exemple, devrait compenser une partie de l'ampleur de la HNM et réduire les répercussions sur les écosystèmes côtiers, bien que le risque d'inondations et d'ondes de tempête persiste pour une grande partie de la côte de la Colombie-Britannique (CCME, 2018).

Au cours des prochaines décennies, les pressions liées au climat, comme l'évolution des niveaux d'eau et de la dynamique du littoral, exacerberont la vulnérabilité actuelle des côtes de l'Atlantique et du Pacifique aux dangers naturels, notamment les inondations et les ondes de tempête. Dans le même temps, les changements d'aménagement du territoire utilisant une infrastructure grise peuvent contribuer à l'effet de « coincement côtier » et risquent de compromettre la capacité d'absorption globale de nos rives océaniques. Les villes et les collectivités des Premières Nations sur les côtes nord de l'Ontario et des territoires risquent de plus en plus de constater des dégâts à leurs réserves d'eau dérivées des nappes phréatiques, à leurs routes, à leurs ponts et à leurs aménagements résidentiels et commerciaux en quartier riverain. L'érosion des rives et les inondations récurrentes menacent également la vitalité des écosystèmes aquatiques sensibles dans les estuaires remplis d'eau saumâtre (c.-à-d. les systèmes d'eau douce et d'eau de mer mélangées à la frontière entre les fleuves et la mer). Bon nombre des plus grands réseaux d'eau douce du Canada (p. ex., la région des Grands Lacs des Laurentides) ont également des longueurs de côtes et des populations comparables à celles des côtes océaniques (Gronewold et al., 2013), et la dégradation des écosystèmes aquatiques dans les systèmes lacustres du pays menace les aires de nourricerie et de migration de nombreuses espèces d'oiseaux, de poissons et d'autres animaux.

Il est de plus en plus reconnu que l'adaptation aux changements climatiques et la conservation de la biodiversité devraient constituer la base combinée de la gestion marine et de la protection des paysages côtiers terrestres et marins (Tittensor et al., 2019). Dans le cadre des efforts de protection

³ L'érosion côtière est un processus à la fois progressif et aigu. D'une part, les niveaux d'eau moyens et les facteurs terrestres (notamment le drainage en surface et en subsurface, la perte de végétation littorale, ainsi que la charge et le poids des bâtiments sur les rives des lacs et des côtes) ont tous une répercussion négative sur le substrat du littoral. D'autre part, un changement rapide du littoral peut être déclenché par des tempêtes au niveau d'eau élevé et à forte action des vagues (Atkinson et al., 2016). La HNM et les ondes de tempête peuvent entraîner l'érosion des rives étroites, en particulier lorsque les rives ne peuvent pas reculer vers la terre en réponse à la montée du niveau des eaux. Cela peut entraîner des répercussions irréversibles comme la perte d'habitat pour les oiseaux, les poissons, les plantes et les autres organismes qui utilisent la plage pendant tout ou partie de leur cycle de vie.

⁴ L'affaissement est la perte progressive d'altitude pour certaines régions côtières due aux ajustements crustaux postglaciaires. Le Canada atlantique, par exemple, subit un affaissement de sa masse terrestre causé par la migration d'une zone de soulèvement qui s'est développée autour des glaciers continentaux nord-américains, ainsi que par une charge d'eau supplémentaire sur le fond marin du golfe du Saint-Laurent alors que la HNM mondiale s'est accélérée (Arlington Group et al., 2013). Pour la côte Est du Canada, cela aggrave les effets de la HNM.

des côtes, des mesures non structurelles comme les zones de recul horizontales et verticales offrent des solutions de rechange aux infrastructures grises, et des applications hybrides peuvent protéger les infrastructures existantes ainsi que les actifs de grande valeur contre les événements météorologiques de forte intensité. Bien que ces mesures et applications seront probablement utilisées en priorité dans la planification et la gestion globales des ressources des collectivités côtières, les intervenants s'entendent généralement sur le fait que les écosystèmes côtiers dotés de caractéristiques naturelles peuvent fournir des dimensions de résilience importantes aux effets des ondes de tempête et des inondations qui y sont associées. Par exemple, les éléments d'IN comme les rives végétalisées et les zones tampons ou sacrificielles contribuent à la stabilisation des sols et à la protection contre l'érosion. Les SFN connexes peuvent prendre la forme d'une reconstruction des dunes de sable à l'aide d'un enrochement de protection, du pavage des rives avec de grosses roches pour empêcher le sapement des digues par les marées ou de l'installation de pentes douces de sédiments pour protéger les trottoirs riverains (comme le documente notamment Schafer [2018] à Summerside et Charlottetown [Î.-P.-É.]). Ces combinaisons de mesures procurent des avantages pour l'adaptation à la HNM à long terme, conservent et renforcent la biodiversité et soutiennent les industries maritimes, les loisirs locaux, la culture et l'activité économique.

3.1.1 Type de solution : Renforcement de la résilience côtière

Défenses côtières

Dans les collectivités canadiennes, la défense contre les inondations côtières et l'érosion des côtes a traditionnellement pris la forme de « défenses côtières » ou de « stratégies défensives », c'est-à-dire le retrait des zones à risque ou l'investissement dans des formes d'infrastructure grise pour effectuer l'artificialisation des rives. Comparées aux régions intérieures, ces aires côtières sont susceptibles d'être soumises à des conditions météorologiques et climatiques plus intenses. L'une des stratégies de défense côtière les plus complexes est la relocalisation, également connue sous le nom de « retrait planifié », qui consiste à retirer les maisons et les chalets d'un littoral en érosion ou d'une zone inondable. En 2020, on a procédé à une relocalisation à Tuktoyaktuk en raison de l'érosion des rives. Les zones de recul planifiées, qui interdisent le développement côtier, sont souvent des mesures plus rentables et doivent augmenter en réponse à la HNM et aux autres effets des changements climatiques, sous peine de voir la protection assurée par les solutions grises se détériorer avec le temps (Arlington Group et al., 2013). Les promoteurs des collectivités côtières peuvent également s'engager à adopter des stratégies moins coûteuses, comme la relocalisation stratégique et la protection partielle ou totale des bâtiments contre les inondations. Au-delà de la défense contre les inondations et les ondes de tempête, le renforcement de la résilience aux dangers côtiers implique de garantir l'intégrité des écosystèmes côtiers face aux risques croissants liés au climat.

Structures de défense côtière

Les structures de défense côtière comprennent les applications classiques d'infrastructure grise conçues pour la résilience côtière, c'est-à-dire les brise-lames, les bermes, les digues, les épis et levées de terre. Souvent mises en œuvre dans des zones de grande valeur, les structures de défense côtière fonctionnent particulièrement bien localement pour absorber les ondes de tempête et redistribuer la pression des marées le long des rives. Bien que de nombreuses mesures de contrôle de l'érosion dissipent l'énergie sur les côtes, elles sont rarement conçues pour bloquer les eaux de crue, comme une berme ou une digue. De plus, les structures de défense côtière ont le potentiel de déplacer les pressions d'érosion vers les zones adjacentes, rurales ou potentiellement appauvries. Pour ces collectivités côtières, les options visant à relever les défis physiques avec des structures de défense peuvent nécessiter l'aide du gouvernement, même si, au niveau des ménages, certaines personnes doivent déjà assumer des coûts pour la protection contre les inondations et les ondes de tempête (Vasseur et al., 2017). Dans ce contexte, les applications fondées sur la nature et les applications hybrides peuvent servir à protéger les infrastructures bâties existantes et à préserver les habitations et les entreprises. Il est important de noter que la présence de structures de défense côtière très développées peut favoriser un faux sentiment de sécurité et accentuer le risque de mauvaise planification et d'implantation inadéquate d'infrastructure grise.

Méthodes non structurelles

Les méthodes non structurelles comprennent les éléments d'IN, comme la végétation et les matériaux naturels utilisés pour protéger les écosystèmes côtiers, riverains et marins. Les paysages côtiers et marins comprennent des habitats divers, notamment des forêts et marais intertidaux, des prairies de zostère et des aires de transition vers l'eau douce, ainsi que des ressources naturelles créées par l'interaction du vent, des vagues et des sédiments, comme des dunes de sable et des plages. En tant qu'éléments d'IN, ces écosystèmes sont naturellement résilients aux changements progressifs et peuvent évoluer en réponse aux tempêtes, à la HNM et aux changements du climat des vagues. Toutefois, avec le rythme accéléré des changements climatiques, l'amélioration de la résilience des infrastructures côtières aux inondations et aux tempêtes de forte intensité devient un défi constant. Les applications des méthodes non structurelles comprennent :

- la végétalisation des rives et des écosystèmes;
- la stabilisation des dunes;
- la recharge des plages et l'entretien des réserves de sédiments;
- la gestion des zones tampons et sacrificielles.

Prises ensemble, les approches non structurelles s'avèrent les plus appropriées pour une utilisation à long terme dans des conditions peu ou moyennement intenses. Des solutions techniques ou d'infrastructure grise sont nécessaires pour lutter contre les inondations côtières et les ondes de tempête dans certaines situations, en particulier dans les zones urbaines, mais les défenses efficaces (susmentionnées) peuvent également perturber les processus côtiers et peuvent aggraver des tendances d'érosion localisées, entraînant la dégradation et la perte d'habitats et de services écosystémiques. En comparaison, l'IN et les SFN complémentaires peuvent contribuer à atténuer la détérioration à long terme de l'infrastructure grise ainsi que les coûts économiques importants

qui y sont associés. De plus, comme le soulignent Sutton-Grier et al. (2018), les applications de méthodes non structurelles présentent des avantages connexes comme l'amélioration de la qualité de l'eau, le soutien du cycle nutritif et du transport de la biomasse, la création d'habitats pour les espèces, l'amélioration esthétique et l'accès à des paysages marins naturels qui peuvent accroître le tourisme et les loisirs.

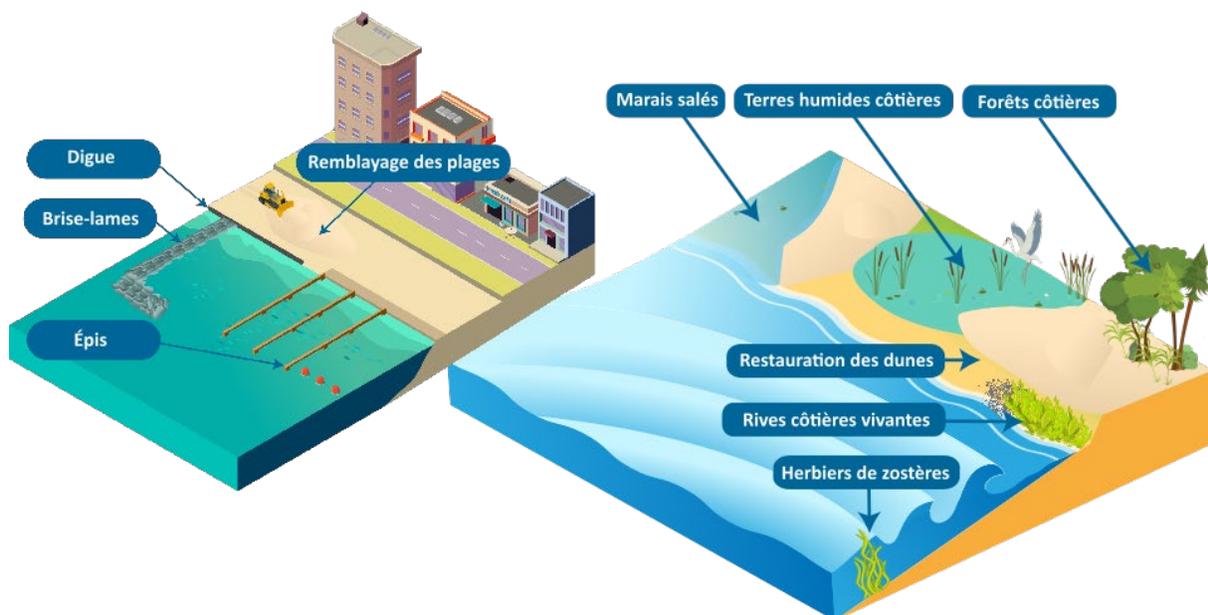
Infrastructure hybride

Les projets d'infrastructure hybride combinent des éléments fondés sur la nature à l'infrastructure grise afin d'améliorer la résilience des infrastructures et des écosystèmes face à des événements de plus grande intensité (CCME, 2018). Dans les régions côtières en particulier, les applications hybrides jouent un rôle croissant dans la défense contre les dangers liés aux changements climatiques extrêmes et comprennent une combinaison de défenses structurelles et non structurelles. Les applications de ce type sont souvent capables d'obtenir des résultats et des avantages supérieurs à ceux des projets d'IN ou d'infrastructure grise seuls. Par exemple, l'utilisation de sable et de roches naturelles dans les applications de recharge des plages peut compléter la capacité d'une digue, d'un enrochement de protection ou d'un ensemble d'épis à dissiper l'énergie des vagues.

Recharge de plage

La recharge de plage désigne le réapprovisionnement en sable et en pierres de zones ciblées de la plage afin de créer une zone tampon durable faite de matières érodables. En cas de tempête, les plages correctement remblayées peuvent aider à dissiper l'énergie des vagues et des eaux de crue, même après avoir été complètement submergées. Des plages plus larges et des plages dont les bermes sont plus hautes peuvent permettre une prévention des inondations et un contrôle des dégâts ciblés (CCME, 2018). La recharge de plage nécessite le transport de sable et de roches compatibles (p. ex., du sable fin, du sable grossier ou des galets) vers la zone ciblée, ainsi qu'un entretien annuel (ou plus fréquent) pour rester efficace. Des plages suffisamment larges et surélevées constituent une autre solution de recharge viable aux éléments d'infrastructure grise tels que les digues, les brise-lames et les épis qui sont généralement construits le long des côtes basses. Au-delà de leur fonction d'atténuation des ondes de crue, les complexes de plages servent de cadre pour s'adonner à des loisirs, abritent une variété d'habitats animaliers et offrent des aires de nidification essentielles aux oiseaux aquatiques et chanteurs. Les plages avec de la végétation permettent également de stabiliser les processus actifs d'érosion des rives.

Figure 2 : Renforcement de la résilience côtière — Exemples d'éléments d'infrastructure naturelle et de solutions fondées sur la nature



Remarque : L'image de gauche est une combinaison de défenses efficaces et d'applications hybrides, p. ex., la recharge de plage comme IN, et une digue comme infrastructure grise. L'image de droite illustre uniquement les solutions d'IN. Lorsqu'il est question de résilience côtière, les approches hybrides sont souvent utilisées pour intégrer à la fois des structures de défense côtière et les mesures non structurelles.

Infrastructures vertes et bleues

Les infrastructures vertes et bleues sont les éléments communs, les liens et les espaces reliés formés entre l'eau et la terre, que ce soit dans un contexte côtier ou intérieur, rural ou urbain. Elles comprennent des éléments comme des lacs, des étangs, des cours d'eau de mer, des rivières et des ruisseaux, ainsi que des éléments aquatiques techniques ou bâtis dans les zones développées.

Le terme « infrastructure bleue » est utilisé principalement pour désigner la conservation et la gestion des écosystèmes d'eau douce et côtiers marins (da Silva et Wheeler, 2017), et est parfois lié aux discussions sur le potentiel d'atténuation des changements climatiques pour le stockage du « carbone bleu ». Ce concept a partiellement remplacé celui d'« infrastructure verte côtière », qui a été défini comme « des systèmes naturels ou fondés sur la nature qui imitent les zones naturelles de végétation, de récifs et de reliefs côtiers dynamiques fournissant naturellement des services de protection côtière ainsi que des avantages pour la santé de divers écosystèmes, des bénéfiques pour le maintien de la biodiversité et des processus naturels (p. ex., la régulation de la température), et des avantages sociaux et économiques aux collectivités [traduction libre] » (Conger et Chang, 2019 : 54).

Forêts côtières

Les forêts côtières comprennent les forêts d'arbres et d'arbustes en hautes terres, mais excluent les marais salés et les estuaires d'eau saumâtre végétalisés. Bien que prises en compte seules, les forêts côtières ne contrôlent que très peu l'étendue de l'inondation du paysage, leur végétation peut renforcer les capacités d'atténuation des digues, des murs de soutènement et des endiguements en cas d'inondation, limitant à la fois la hauteur des vagues et le niveau des pics de débit d'inondation.

Terres humides côtières

Les terres humides côtières se trouvent à l'intérieur des écosystèmes qui commencent au large et se déplacent vers l'intérieur en passant par les estuaires et les marais salés (Évaluation des écosystèmes pour le millénaire [EM], 2005). Leur niveau de saturation généralement élevé limite le stockage des eaux de crue, car elles contiennent de l'eau douce ou sont inondées d'eau salée selon les cycles des marées. Cependant, elles peuvent être herbacées (marais) ou arboricoles (marécages) et la végétation qu'elles encouragent peut dissiper l'énergie des vagues, réduire la vitesse de l'eau, la profondeur et la hauteur des vagues, ainsi que minimiser la perte nette de sédiments lors des inondations (CCME, 2018; Arkema et al., 2013). Les autres avantages des terres humides côtières, dont les marais côtiers, permettent notamment de soutenir le cycle nutritif et le transport de la biomasse, tout en fournissant un habitat essentiel et une meilleure qualité de l'eau pour les poissons, les mollusques et les crustacés. En outre, la plupart des poissons ayant une valeur commerciale se reproduisent et nourrissent leurs petits dans les marais et les estuaires côtiers.

Restauration des dunes

La restauration des dunes fait référence à une SFN utilisant la végétation, le sable et parfois des éléments techniques ou bâtis, comme des clôtures pour stabiliser les dunes de sable et empêcher la migration dynamique des rives. Les dunes de sable préservées contribuent à la protection des rives en tant que digues naturelles et zones tampons contre l'érosion, et permettent d'emmagasiner le sable qui est déplacé pendant les tempêtes et qui est ensuite renvoyé dans les dunes par la marée (Atkinson et al., 2016). Schafer (2018) documente des projets de stabilisation des dunes utilisant des graminées résistantes au sel à Cavendish (Î.-P.-É.) comme moyen de ralentir l'érosion par le vent et les vagues de tempête. Les autres technologies utilisées dans ce domaine comprennent le recouvrement de sable et la création de « dunes fortifiées » hybrides avec un enrochement recouvert de sable et de graminées. Il importe de souligner que l'introduction de plantes non indigènes pour la stabilisation des dunes comporte des risques; elles peuvent se répandre rapidement et entraîner lentement le déplacement des espèces végétales indigènes adaptées à cet environnement, ce qui démontre la nécessité d'une planification minutieuse et de l'utilisation d'espèces indigènes.

Herbiers de zostères

La zostère forme des herbiers marins adaptés à l'eau salée et capable de recycler les nutriments et de transporter la biomasse au large des côtes. Les herbiers et les prairies de zostères sont richement répartis le long des côtes atlantique et pacifique du Canada, stabilisant les sédiments estuariens et favorisant la formation de marais côtiers capables d'atténuer les vagues (Horizon Advisors, 2019). Les prairies étendues réduisent la vitesse du débit d'eau près de la surface des sédiments et favorisent la sédimentation des matières organiques et inorganiques; cela amorce la réduction de sulfates et maintient le cycle du soufre, ce qui est important pour stimuler la croissance des plantes. De plus, les conditions anaérobies (c.-à-d. faibles en oxygène) dans les systèmes racinaires favorisent également la croissance de bactéries fixatrices d'azote, qui améliorent la production primaire au niveau le plus fondamental de la chaîne alimentaire.

Rives côtières vivantes

Les rives côtières vivantes englobent une série de stratégies utilisant la végétation et l'ensemencement des côtes pour préserver, restaurer ou créer des écosystèmes littoraux, améliorer la stabilisation des sédiments, maintenir la dynamique du littoral et minimiser l'érosion. En général, les rives côtières vivantes ont été conçues et mises en œuvre selon une approche collaborative, entre plusieurs ordres de gouvernement, des propriétaires fonciers, des organisations de conservation marine, des écologistes, des architectes paysagistes et des ingénieurs (Arlington Group et al., 2013). Ils utilisent la végétation et les matériaux biotiques connexes pour stabiliser les sédiments, ainsi que des applications hybrides utilisant des épis ou des brise-lames avec du sable, des herbes des marais et d'autres matériaux naturels pour maintenir la dynamique du littoral tout en minimisant les impacts de l'érosion. Les avantages peuvent comprendre une amélioration de la qualité de l'eau (par la capture des sédiments et le filtrage de la pollution), une plus grande abondance et diversité des espèces aquatiques et un meilleur lien entre les écosystèmes aquatiques et littoraux.

Marais côtiers

Les marais côtiers (p. ex., marais salés, marais d'eau salée) sont le type le plus courant de terres humides côtières, caractérisées par une végétation propre à l'eau de mer ou aux eaux saumâtres dans certains estuaires. Ils aident à réguler la profondeur des inondations ainsi que la hauteur et la vitesse des vagues et, par conséquent, à minimiser les pertes de sédiments et l'étendue des inondations liées aux tempêtes. Les marais salés préservés ont la capacité de croître et de rester résilients aux effets de la HNM, en développant des séquences épaisses de sédiments ou de tourbe riches en matières organiques (Atkinson et al., 2016). En général, les terres humides côtières aident à dissiper l'énergie des vagues et des marées, et leur système racinaire agit comme un piège à sédiments, facilitant la formation des terres et réduisant l'érosion. En gagnant des terres sur la mer, les marais salés aident à inverser la perte de superficie d'un espace intertidal, causée par la présence de défenses efficaces ou d'autres obstacles qui empêchent la migration des plages, des dunes et des zones de végétation vers les terres et les coincent entre les marées et les structures côtières immobiles (processus nommé coincement côtier). Souvent, les marais côtiers démontrent bien la

capacité d'adaptation de l'IN par rapport à celle de l'infrastructure grise, qui implique des dépenses permanentes généralement peu flexibles et qui nécessitent un apport continu de ressources. Ils offrent aussi des avantages environnementaux, comme un habitat pour des espèces sauvages et le soutien de processus écologiques tels que le cycle nutritif. L'un des principaux processus soutenus est le mélange de nutriments provenant de sources en amont et des marées, qui forme un gradient de salinité et contribue à maintenir les flux d'eau douce dans les sources ponctuelles locales (EM, 2005).

Écosystèmes remis en état ou préservés

La remise en état ou la préservation des écosystèmes, tels que les marais salés, les forêts côtières, les dunes et les zones humides (voir ci-dessus) peuvent également favoriser la résilience des côtes. Par exemple, les aires marines protégées (AMP) peuvent également être utilisées comme SFN à l'appui de la résilience des côtes. Au Canada, il s'agit d'écosystèmes marins préservés qui sont protégés par la loi et dont l'utilisation est assujettie à des limites en raison de préoccupations liées à la conservation de la biodiversité. Les influences climatiques changeantes du caractère saisonnier et de la pollution marine menacent ces écosystèmes délicats, mais la planification d'IN peut s'orienter vers les AMP afin de protéger ou de remettre en état de l'habitat vulnérable. Les pratiques de zonage et les plans de gestion doivent être révisés pour tenir compte des espèces et de l'habitat déplacés par le climat, et il faut veiller à ce que les écosystèmes marins vulnérables conservent leurs fonctions et leurs services dans le cadre des futurs scénarios climatiques (Tittensor et al., 2019).

3.2 Gestion des inondations riveraines

Les cours d'eau du Canada forment 25 grands bassins hydrographiques, c'est-à-dire des territoires qui recueillent les précipitations dans des plaines inondables naturelles et les déversent dans des masses d'eau communes par des réseaux de cours d'eau et de rivières; ces bassins se divisent en plus de 100 sous-bassins hydrographiques plus petits (Fonds mondial pour la nature [WWF-Canada] s.d.). La pollution, l'usage excessif de l'eau, l'introduction d'espèces envahissantes et la dégradation des habitats représentent des menaces importantes pour la santé des eaux douces du Canada. Dans un même temps, l'altération des débits et la fonte des glaces en excès résultant des changements climatiques ont augmenté les niveaux d'eau saisonniers dans de nombreuses régions du Canada et le risque d'inondations riveraines (fluviales) dévastatrices⁵.

Ce type d'inondation se produit lorsque l'eau déborde sur des propriétés en raison de volumes excessifs dans les rivières et les ruisseaux, de refoulements à cause d'embâcles, ou d'un excès d'eau souterraine. Les inondations résidentielles, comme le résumant Moudrak et Feltmate (2019),

⁵ Il convient de noter que les systèmes lacustres (p. ex., la région des Grands Lacs) risquent eux aussi d'être exposés à des inondations en raison, notamment, de la diminution de la couche de glace saisonnière et de subir les répercussions des eaux de crue, comme l'érosion accélérée des rives.

ont été un facteur important de l'augmentation des primes d'assurance habitation, du stress pour les propriétaires fonciers touchés par les inondations, des taux plus élevés pour les prêts hypothécaires résidentiels et des poursuites judiciaires dirigées contre les constructeurs et les municipalités qui n'ont pas su anticiper et atténuer les risques d'inondation. Les SFN courantes pour contrer les inondations riveraines mettent l'accent sur l'amélioration de la capacité de la plaine inondable naturelle à absorber l'eau et à réguler les débits de pointe. Ce résultat peut être obtenu grâce à des approches de gestion globale des bassins hydrographiques, qui impliquent une combinaison des éléments suivants :

- Préservation ou restauration des terres humides intérieures et d'autres éléments d'IN (p. ex., les prairies, les zones médiolittorales riveraines, les ruisseaux et les caractéristiques des cours d'eau) capables d'atténuer les inondations;
- Surveillance continue du débit fluvial ainsi que prévision des inondations et des sécheresses pour améliorer l'efficacité des fonctions naturelles des plaines inondables;
- Installation de canaux naturalisés dans les plaines inondables pour améliorer l'acheminement des eaux de crue et la protection des habitats;
- Initiatives de végétation riveraine (c.-à-d. dans les zones de transition le long des rivières et des ruisseaux, entre l'eau et les terres non touchées, cultivées ou aménagées), telles que les rives vivantes;
- Zones de recul planifiées, où les infrastructures sont retirées des plaines inondables et le paysage est restauré dans sa configuration historique (CCME, 2018).

Les approches de gestion globale des bassins hydrographiques ont mis l'accent sur la préservation ou l'amélioration des éléments de l'IN tels que les terres humides et les zones riveraines afin d'améliorer des aspects du fonctionnement des bassins hydrographiques plutôt que de seulement renforcer la protection contre les inondations. Parmi les applications spécifiques dans ce domaine, on compte la restauration des processus terrestres et hydrologiques, et des projets fondés sur la nature comme des terres humides bâties, qui peuvent fournir un éventail de biens et services écosystémiques ainsi qu'un habitat essentiel pour la faune sauvage. La planification et la gouvernance de la gestion des bassins hydrographiques sont de plus en plus souvent réalisées dans le cadre de la gestion intégrée des bassins hydrographiques (GIBH), et c'est sur ce point que se concentrent la plupart des politiques et programmes actuels dans ce domaine (CCME, 2016).

3.2.1 Type de solution : Gestion globale des bassins hydrographiques

Gestion globale des bassins hydrographiques

La gestion globale des bassins hydrographiques décrit un processus de planification de la gestion adaptatif, exhaustif, intégré et multiressources qui cherche à équilibrer des conditions écologiques, économiques et socioculturelles au niveau du bassin hydrographique (Red Deer River Watershed Alliance s.d.). Les objectifs de cette approche de planification exhaustive sont de reconnaître et de prendre en compte l'interaction de l'eau, des plantes, des animaux et de l'utilisation par l'humain des terres qui se trouvent dans les limites physiques d'un bassin hydrographique lors du développement et de la gestion des paysages de plaines inondables naturelles. Il peut s'agir de

solutions structurelles (comme indiqué ci-dessous), d'autres mesures non structurelles (p. ex. les zones de recul planifiées des développements résidentiels dans les plaines inondables naturelles) ainsi que de la relocalisation de bâtiments et de l'évitement d'aménagement urbain dans les zones de plaines inondables.

Gestion intégrée de l'eau

Le CCME (2016) définit la gestion intégrée de l'eau comme « l'intégration des décisions et des activités environnementales, sociales et économiques par le biais d'un processus de décision inclusif, qui permet d'assurer la protection, la conservation, la restauration et l'amélioration des caractéristiques et des fonctions des écosystèmes aquatiques et terrestres ainsi que des liens qui les unissent ». Dans la pratique, les approches intégrées de gestion de l'eau englobent souvent des projets interdisciplinaires et collaboratifs, y compris les SFN et l'IN, qui incluent la participation des citoyens locaux. La gouvernance et la gestion au niveau des bassins hydrographiques, soutiennent la formation d'équipes interdisciplinaires et facilitent la production de rapports sur les performances par rapport à des cibles prédéfinies.

Forêts

Les terres forestières peuvent être constituées de formations forestières fermées ou ouvertes, sans autre vocation prédominante du terrain (p. ex., agricole). Bien que les forêts situées dans des zones riveraines et sur des plaines inondables naturelles ne puissent pas arrêter les inondations intérieures catastrophiques et à grande échelle, elles sont des éléments importants de l'IN qui aident à atténuer et à retarder les débits de pointe des eaux de crue, tout en soutenant d'autres processus hydrologiques au niveau des bassins hydrographiques, notamment la filtration et la recharge des aquifères locaux. Des discussions sur les avantages supplémentaires des forêts soulignent généralement que leur végétation et leurs sols sont de précieux puits de carbone et que leurs écosystèmes sont des habitats vitaux pour diverses espèces d'animaux et d'oiseaux. Parmi les avantages environnementaux moins souvent mentionnés, on peut citer la stabilisation des sols et la limitation de l'érosion grâce aux couches de déchets sauvages et au bois mort sur pied. Selon les définitions internationales, une forêt occupe une superficie de plus de 0,5 ha, avec un couvert vertical au sol (ou un niveau équivalent) de plus de 10 % et des arbres capables d'atteindre une hauteur minimale de 5 m à maturité *in situ* pour satisfaire à l'exigence de couvert (IPBES, 2018; Convention sur la diversité biologique [CDB], 2006).

Rives vivantes

Il s'agit d'un terme générique décrivant les applications de restauration des écosystèmes des rives. Dans les zones fluviales et riveraines, le terme est communément associé à la bio-ingénierie des sols qui utilise des combinaisons de végétation et d'ensemencement. Ces pratiques permettent de stabiliser les sols et les rives pour prévenir l'érosion (PNUE, 2014). Les mêmes interventions gérées sont capables d'étendre l'habitat des espèces existantes et il est généralement admis que la naturalisation des rives et des zones riveraines bénéficie à une grande variété d'espèces tout en améliorant les qualités esthétiques.

Terres humides

Au Canada, les terres humides sans marée sont situées sur les terres riveraines, sur les plaines inondables naturelles des bassins hydrographiques, le long des lacs et des étangs et dans les zones de faible altitude où les eaux souterraines sont en contact avec la surface du sol (p. ex., les marécages, les marais et les tourbières, y compris les tourbières minérotrophes et oligotrophes). La quantité d'eau que les terres humides conservent détermine les caractéristiques de leur écosystème. Certaines sont saisonnières : elles sont sèches pendant une ou plusieurs saisons chaque année. D'autres attributs du paysage déterminent leurs fonctions hydrologiques, ce qui entraîne un fonctionnement et des processus de soutien différents pour chaque type de terres humides (p. ex., marais salé, tourbière oligotrophe, tourbière minérotrophe arctique, etc.). Le drainage pour le développement agricole dans les provinces des Prairies, la conversion des terres en développement résidentiel, comme dans les paysages habités du sud de l'Ontario, l'excès de ruissellement de nutriments et de produits chimiques, ainsi que la pollution de l'air et de l'eau constituent des menaces émergentes importantes pour l'avenir des terres humides canadiennes. L'introduction d'infrastructure grise pour le détournement de l'eau, comme des barrages et des canaux, représente également des risques pour les terres humides, car elle empiète sur les plaines inondables naturelles.

En raison de leur capacité à réguler la quantité d'eau (p. ex., en période de sécheresse, de précipitations imprévisibles, de débits de pointe ou de ruissellement important d'eaux de crue), les terres humides peuvent constituer un atout important pour l'atténuation des inondations riveraines, car elles absorbent et retiennent les eaux de crue avant de les déverser progressivement. Les terres humides naturalisées ou bâties peuvent également fournir aux collectivités urbaines et rurales une protection contre les inondations, une purification de l'eau en amont, une assimilation des déchets ainsi qu'une rétention et une évacuation des eaux pluviales (Horizon Advisors, 2019). La capacité potentielle des terres humides à atténuer les débits de pointe des eaux de crue et l'étendue des inondations dépend toutefois fortement des conditions locales. Cela comprend des différences subtiles dans les fonctions hydrologiques, dans l'emplacement, la configuration et la topographie du paysage (p. ex., si un complexe de terres humides est situé en altitude, à la source d'un cours d'eau ou d'un affluent, ou dans une plaine inondable intérieure), dans les caractéristiques du sol, notamment l'humidité, ainsi que dans le statut de gestion (Acreman et Holden, 2013). En conséquence, leur influence sur l'ampleur des inondations est variable; même des terres humides du même type peuvent réduire ou augmenter les inondations en fonction des caractéristiques précises de terres humides individuelles préservées ou restaurées. Des terres humides améliorées ou bâties doivent être mises en place en fonction de critères de placement bien pensés afin d'assurer une influence positive sur le débit des eaux de crue et les dommages qu'elles causent. En règle générale, les terres humides des plaines inondables peuvent aider à contrôler l'étendue des inondations riveraines et intérieures.

Canards Illimités Canada (CIC) a évalué dans quelle mesure les municipalités choisissent de combiner les terres humides avec leurs infrastructures bâties pour réduire le risque d'inondation. L'organisme a découvert que les terres humides combinées aux infrastructures traditionnelles peuvent être plus rentables pour atténuer les inondations que l'infrastructure bâtie seule. Les économies réalisées grâce à l'utilisation de terres humides peuvent être calculées en estimant les

coûts évités qu’auraient entraînés 1) des infrastructures bâties utilisées en remplacement des terres humides pour fournir des services d’atténuation des inondations ou 2) des dommages en cas d’inondation non contrôlée (CIC, 2020). Au-delà de leurs avantages en matière de protection contre les inondations, les terres humides des plaines inondables apportent une contribution essentielle au fonctionnement des écosystèmes au niveau global des bassins hydrographiques, ce qui se traduit par un large éventail d’avantages, notamment la filtration des polluants provenant des eaux pluviales, l’aide à la recharge et à l’évacuation des eaux souterraines en aval, la stabilisation des sédiments, la séquestration de carbone et le cycle nutritif. Ce faisant, elles réduisent le besoin de nouvelle infrastructure grise et soutiennent le DFI du territoire.

Paysages humanisés

Les paysages humanisés comprennent les pâturages pour le bétail, les terres agricoles et les vergers. Lorsqu’ils sont situés dans des plaines inondables naturelles, ces paysages peuvent contribuer à prévenir les dommages à grande échelle et à réduire les répercussions financières des inondations intérieures. Les paysages humanisés, notamment les terres agricoles, peuvent soutenir les objectifs de sécurité alimentaire, de séquestration du carbone et de biodiversité. Il faut toutefois être prudent dans l’aménagement du territoire, car certaines pratiques d’aménagement du territoire, notamment le drainage des terres humides historiques pour le développement agricole, peuvent accroître la vulnérabilité de certaines zones rurales aux inondations (Moudrak et Feltmate, 2019). L’utilisation de paysages humanisés comme les SFN présente des avantages supplémentaires comme le soutien essentiel de processus naturels tels que la pollinisation. Lorsqu’ils sont répartis sur des terres agricoles productives, des parcelles d’habitat semi-naturel fournissent les ressources de fleurs et de nidification nécessaires aux cultures dépendantes des pollinisateurs (IPBES, 2018).

Exhumation de cours d’eau

Exhumation est le terme utilisé pour décrire le retrait de béton, de ponceaux et d’autres obstructions qui recouvrent les rivières, cours d’eau, ruisseaux et chemins de drainage originaux et leur restauration dans des conditions plus naturelles (Wild et al., 2011). Parfois appelée « libération », cette pratique s’inscrit dans une approche plus générale de la gestion de l’eau, associant des mesures de lutte contre les inondations à des fonctions de traitement de l’eau. L’exhumation peut impliquer l’ouverture de cours d’eau dans des sites ruraux ou urbains et peut varier de la forme la plus simple (enlever le « toit » d’un ponceau et conserver les murs de berges existants et le matériau naturel du lit) à la reconstruction majeure du lit et des berges d’une rivière en utilisant des mesures de bio-ingénierie douce et des techniques de restauration des rivières (*ibid.*). La restauration des rivières par exhumation est réalisée dans deux dimensions : la dimension naturelle et la dimension culturelle. L’objectif de la dimension naturelle est de restaurer l’ensemble ou une partie d’un cours d’eau à son état initial sur les plans de l’écologie et de l’habitat; des exemples de pratiques comprennent la renaturalisation d’un cours d’eau urbain, suburbain ou rural pour améliorer le débit de drainage dans les couloirs riverains et sur les plaines inondables naturelles. L’objectif de la dimension culturelle est de célébrer le rôle hydrologique et écologique que joue un cours d’eau pour fournir des services et des avantages à la collectivité par le placement stratégique de marqueurs patrimoniaux, l’art public et des activités éducatives servant à informer le public sur le chemin historique et les fonctions d’infrastructure du cours d’eau.

Au cours du XX^e siècle, les pratiques d'aménagement urbain ont consisté à enfouir les rivières et les ruisseaux sous le béton ou à les incorporer dans les infrastructures d'égouts pluviaux sous les routes ou sous les développements résidentiels, commerciaux et industriels. L'enfouissement des rivières a interrompu le lien naturel entre les cours d'eau, aggravé la pollution et augmenté les coûts associés au traitement de l'eau. Les premiers projets d'exhumation ont été mis en œuvre en Europe et aux États-Unis par des architectes paysagistes dès les années 1980. Ils étaient conçus pour répondre aux préoccupations concernant le ruissellement des eaux de pluie et la pollution par les eaux usées et les produits chimiques. Depuis lors, l'exhumation est devenue une pratique polyvalente de l'IN visant à remplacer ou à protéger les infrastructures hydrologiques vieillissantes des villes qui ont traditionnellement détourné leurs cours d'eau sous terre. Comme pour de nombreux types de projets de restauration de cours d'eau, les résultats des initiatives d'exhumation peuvent varier en fonction des conditions hydrologiques locales et des caractéristiques du paysage, mais le plus souvent, les cours d'eau exhumés contribuent à la lutte contre les inondations en atténuant les pointes de débit des eaux pluviales et de crue. En outre, ils peuvent réduire les coûts de traitement de l'eau en apportant des améliorations de qualité rudimentaires et contribuer à la régulation de la température. Parmi les avantages les plus fréquemment signalés, on peut mentionner : la fourniture d'habitats revitalisés pour les espèces indigènes de plantes, d'oiseaux, de poissons et d'autres animaux; l'embellissement et l'augmentation de la valeur des propriétés; l'amélioration des connexions grâce à la création de nouvelles ceintures vertes et de nouveaux espaces verts; et des avantages culturels tels que l'engagement de bénévoles dans des projets d'exhumation.

Écosystèmes remis en état et préservés

Il existe tout un éventail de possibilités d'utiliser les écosystèmes remis en état et préservés, en tant que SFN, pour favoriser la gestion des bassins versants, notamment par l'entremise des aires protégées et de conservation autochtones (APCA)⁶, des parcs et aires protégées (PAP)⁷ et d'autres mesures de conservation efficaces par zone (AMCEZ)⁸.

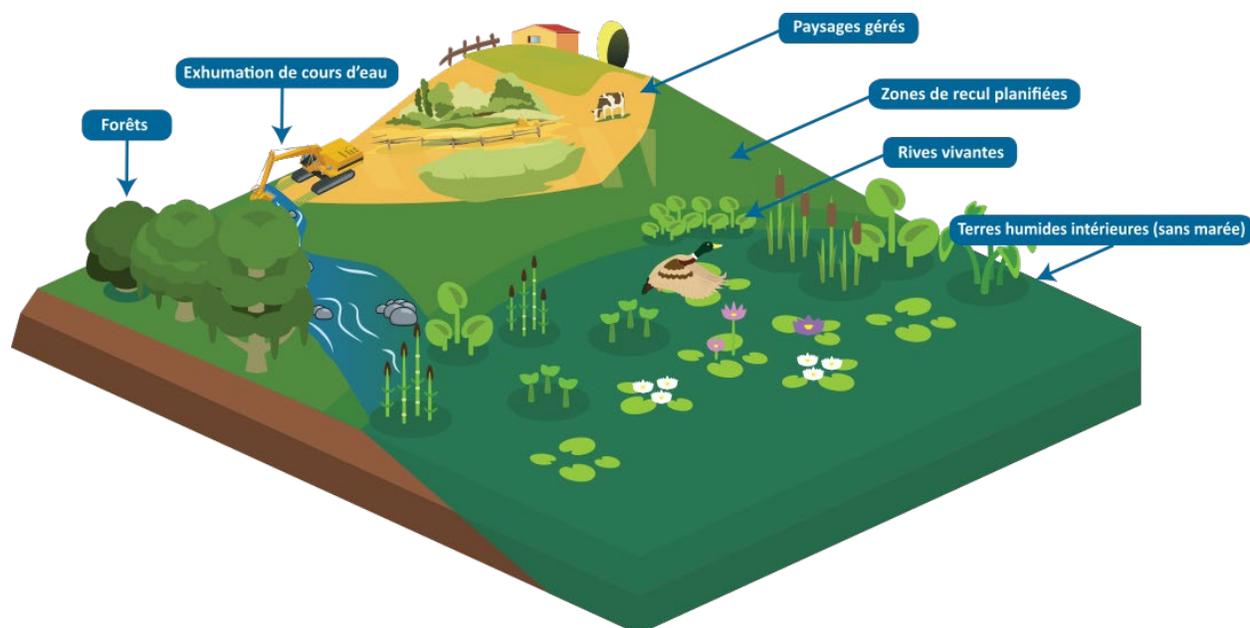
⁶ Les APCA désignent les terres et les eaux que les gouvernements autochtones protègent et préservent par l'entremise de lois, de gouvernance et de systèmes de connaissances autochtones (CAE, 2018). Ailleurs dans le monde, des aires de conservation semblables sont appelées « aires de conservation autochtones et communautaires (ACAC) ». Elles fournissent un modèle instructif pour la gestion des terres et de l'eau qui appuie à la fois les écosystèmes et l'utilisation par les humains des éléments et des processus naturels. Dans les APCA, des efforts sont déployés pour protéger les droits des Autochtones sur les biens et les services fournis par la nature ainsi que pour pratiquer les modes de vie autochtones tout en protégeant la biodiversité.

⁷ Les PAP englobent les parcs nationaux et provinciaux, les réserves de faune et les refuges d'oiseaux, et les écosystèmes terrestres et aquatiques présents dans ces zones constituent un axe important des activités canadiennes de conservation. Le gouvernement du Canada (gouvernement du Canada, 2018 : 38) a présenté une définition des PAP qui est conforme à celle de la CBD et aux catégories d'aires protégées de l'UICN : « un espace géographique clairement défini, reconnu, dédié et géré, par des moyens légaux ou autres, afin de favoriser la conservation à long terme de la nature et des services écosystémiques et des valeurs culturelles qui y sont liés. »

⁸ Au Canada, une AMCEZ doit satisfaire à toutes les exigences d'une : « zone définie géographiquement autre qu'une aire protégée, qui est régie et gérée de manière à obtenir des résultats positifs et durables à long terme pour la conservation *in situ* de la biodiversité, avec les fonctions et services écosystémiques connexes et, le cas échéant, les valeurs culturelles, spirituelles, socioéconomiques et autres valeurs pertinentes à l'échelle locale » (gouvernement du Canada, 2018 : 40). Le gouvernement fédéral a mis en place cette catégorie juridique supplémentaire pour les aires de conservation terrestres ou aquatiques qui ne correspondent pas à la définition officielle des PAP, mais que les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux peuvent reconnaître et déclarer comme étant gérées à l'aide de mesures qui permettent la conservation de la biodiversité. Les sites d'AMCEZ abritent un éventail d'espèces en péril importantes, et englobent des prairies mixtes, des réseaux hydrographiques intérieurs et, surtout, des refuges marins, qui ont toujours été hors de la portée de la gouvernance de la conservation au Canada et partout dans le monde.

Ils peuvent aider à protéger la biodiversité à la lumière des conditions climatiques changeantes, ce qui peut inclure la conservation d'éléments d'IN tels que les éléments d'eau douce, les végétaux, les forêts, la faune, les milieux naturels, les corridors fauniques et les systèmes de patrimoine naturel. Afin de favoriser la résilience de l'habitat des végétaux et des animaux aux effets des changements climatiques, ainsi que des municipalités adjacentes, il est possible d'étudier les utilisations d'IN adaptées aux conditions locales. À l'heure actuelle, les écosystèmes remis en état et protégés constituent un cadre essentiel pour la conservation d'IN et contribuent à maintenir des réseaux entre divers écosystèmes et paysages (Groupe de travail sur le changement climatique du Conseil canadien des parcs, 2018), garantissant ainsi que les systèmes naturels sont plus résilients au changement, ou s'adaptent comme ils sont censés le faire.

Figure 3 : Lutte contre les inondations riveraines – Exemples d'éléments d'infrastructure naturelle et de solutions fondées sur la nature



3.3 Gestion des eaux pluviales municipales

Lorsque le volume des précipitations dépasse la capacité du système de drainage et que les eaux pluviales commencent à s'écouler par voie terrestre, des inondations pluviales se produisent dans les villes. En milieu rural, elles sont généralement causées par de fortes pluies ou la fonte des neiges sur un sol gelé, de sorte que l'eau ne peut être absorbée (Directeur parlementaire du budget [DPB], 2016). Avec l'accélération des changements climatiques, on peut s'attendre à ce que des inondations graves plus fréquentes exercent des pressions considérables sur les infrastructures de gestion des eaux dans tout le pays. Un drainage et un acheminement efficaces sont nécessaires pour protéger les infrastructures, les habitations et les entreprises des risques pour la propriété et la santé publique. L'investissement dans l'infrastructure peut transformer la régulation des débits de pointe lors d'inondations à volume élevé, même lorsqu'elles sont soudaines et que leur ruissellement est rapide. Dans les collectivités plus anciennes qui ne disposent pas d'égouts pluviaux, des ressources fondées sur la nature et des éléments techniques ou bâtis complémentaires aident à prévenir le débordement d'égout unitaire (DEU) de leurs eaux usées sanitaires combinées aux eaux pluviales.

Alors que les solutions traditionnelles d'infrastructure grise pour les inondations et le drainage, comme le détournement des sources d'eau à l'aide de canaux, de réservoirs secs et d'égouts, sont conçues pour remplir une seule fonction, les SFN changent la conception de la gestion locale des eaux pluviales. Le ruissellement n'est pas traité comme un déchet à éliminer, mais plutôt comme une ressource en eau polyvalente captée sur place. Un ensemble établi de mesures structurelles et non structurelles de mesures de contrôle des eaux pluviales est déjà largement mis en œuvre dans les collectivités canadiennes, mais les gestionnaires des eaux urbaines sont également passés à la gestion active et quotidienne du cycle précipitations-ruissellements en utilisant des combinaisons d'IN et d'infrastructure verte. Il peut s'agir de jardins de pluie, de noues végétalisées et de stock d'eau de surface distribué, à côté d'éléments gris, comme les systèmes de réservoirs, les fossés et les ponceaux, pour rétablir l'équilibre initial des fonctions hydrologiques des sites urbains.

Au-delà de l'atteinte des résultats ciblés liés à l'amélioration de la gestion des eaux pluviales, les applications fondées sur la nature offrent une série d'avantages connexes directs et indirects sur les plans économique, environnemental et social. Les avantages connexes directs sont l'amélioration de la qualité des eaux locales, le contrôle accru de l'érosion et des sédiments, ainsi que la possibilité de capter et de réutiliser les eaux pluviales (la collecte des eaux de pluie). Les avantages connexes indirects sont la mise à disposition d'un espace de loisirs grâce à la naturalisation du paysage, l'atténuation des dommages et des coûts liés aux réclamations d'assurance contre les inondations, l'amélioration esthétique ainsi que l'amélioration de la connectivité et de l'habitat de la faune.

3.3.1 Type de solution : Infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales

Infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales

Bien que les solutions d'infrastructure grise et d'autres éléments techniques ou bâtis soient souvent nécessaires pour atteindre les résultats ciblés en matière de gestion locale de l'eau, les intervenants des bassins hydrographiques urbains entreprennent de planifier de manière globale leurs besoins en infrastructures et cherchent à intégrer les ressources naturelles dans leurs pratiques de planification et de gestion. En outre, depuis leur création, les SFN ont été incluses dans la gestion verte des eaux pluviales en tant que discipline spécialisée axée sur la collecte et l'acheminement des eaux pluviales et des eaux de pluie. L'infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales décrit les combinaisons d'éléments d'infrastructure grise et d'éléments d'infrastructure fondée sur la nature utilisée stratégiquement pour la gestion de l'ensemble du cycle précipitations-ruissellements. Le terme est parfois utilisé de manière interchangeable avec les termes infrastructure verte et DFI, mais en pratique, il décrit une approche de la gestion locale de l'eau axée sur la préservation ou la restauration de l'équilibre initial des fonctions hydrologiques d'un site (Office de protection de la nature de Toronto et de la région, 2019)⁹.

Lors des événements de pluie, les débits de ruissellement les plus élevés peuvent rapidement dépasser la capacité des collecteurs d'eaux pluviales, des cours d'eau et des égouts unitaires (dans les collectivités dont les infrastructures sont anciennes), ce qui entraîne des inondations et la possible propagation de polluants toxiques. L'excès de ruissellement de mauvaise qualité peut entraîner l'inondation des surfaces perméables et polluer les aquifères et les réserves d'eau souterraine. L'infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales permet de capter et d'acheminer les eaux pluviales sur place, en redirigeant le ruissellement ou en stockant l'eau aux fins d'évapotranspiration. Les mesures de contrôle des eaux pluviales peuvent être structurelles ou non structurelles, et on peut distinguer les contrôles du volume et de la qualité des eaux pluviales selon deux fonctions : l'acheminement (lorsque le débit d'eau est dans le réseau hydrographique) ou le point de rejet (à la sortie du réseau hydrographique, avant que les eaux pluviales n'atteignent leur cours d'eau récepteur). L'EPA (1999) note que lorsque les précipitations sont gérées comme une ressource au niveau du site et sont conservées, stockées, infiltrées et utilisées aux fins d'irrigation, la nécessité d'un système traditionnel de collecte d'eaux pluviales en bordure de route et dans les gouttières peut être réduite. En conséquence, l'utilisation de l'infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales réduit la nécessité d'une gestion exigeante en matière de capital, de terre et d'entretien des grands débits d'eaux pluviales provenant des bassins hydrographiques aménagés (*ibid.*).

De même, l'infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales atténue les dommages causés par les inondations pluviales en ajoutant le contrôle du volume des eaux pluviales et des améliorations rudimentaires de la qualité des eaux pluviales aux exigences habituelles de gestion

⁹ Ce terme fait référence à l'équilibre entre les précipitations et les autres apports en eau, et l'écoulement de l'eau par l'intermédiaire du ruissellement, de l'évapotranspiration, de la recharge des eaux souterraines et du débit des cours d'eau.

pour le contrôle des taux de drainage et de l'acheminement. Différents intervenants en infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales classent diverses SFN comme IN, par exemple les aménagements paysagers absorbants, les jardins de pluie, les chaussées naturelles perméables, les toits verts, les noues végétalisées, les marais artificiels et les zones de rétention. En englobant certains des principes qu'elle partage avec les applications d'infrastructure verte (comme le biomimétisme et l'écoconception), l'infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales est souvent considérée comme un principe clé d'une infrastructure hydraulique intégrée. Il s'agit également d'un domaine clé pour les applications d'infrastructures hybrides dans le cadre de la gestion des ressources en eau en milieu urbain.

Considérées ensemble, les applications d'IN utilisées dans les infrastructures vertes des eaux pluviales peuvent démontrer des avantages pour : l'adaptation aux tendances météorologiques extrêmes, l'atténuation des dommages causés par les inondations, le cycle de l'eau, la qualité de l'air, la qualité de l'eau et l'esthétique urbaine. En outre, il existe une analyse de rentabilisation convaincante en faveur des SFN pour le contrôle des eaux pluviales. De nombreuses applications d'IN sont moins chères à construire que les applications comparables de l'infrastructure grise, tout en offrant un entretien réduit et une durée de vie prolongée (GIO, 2016c). Les méthodes utilisées peuvent varier en fonction des besoins de la collectivité : une collectivité vulnérable aux dommages causés par les inondations se concentrera sans doute sur le captage et l'acheminement de l'excès d'eau de pluie, tandis qu'une collectivité dépendante des eaux souterraines pour son approvisionnement en eau potable se concentrera probablement sur l'infiltration (CCME, 2018).

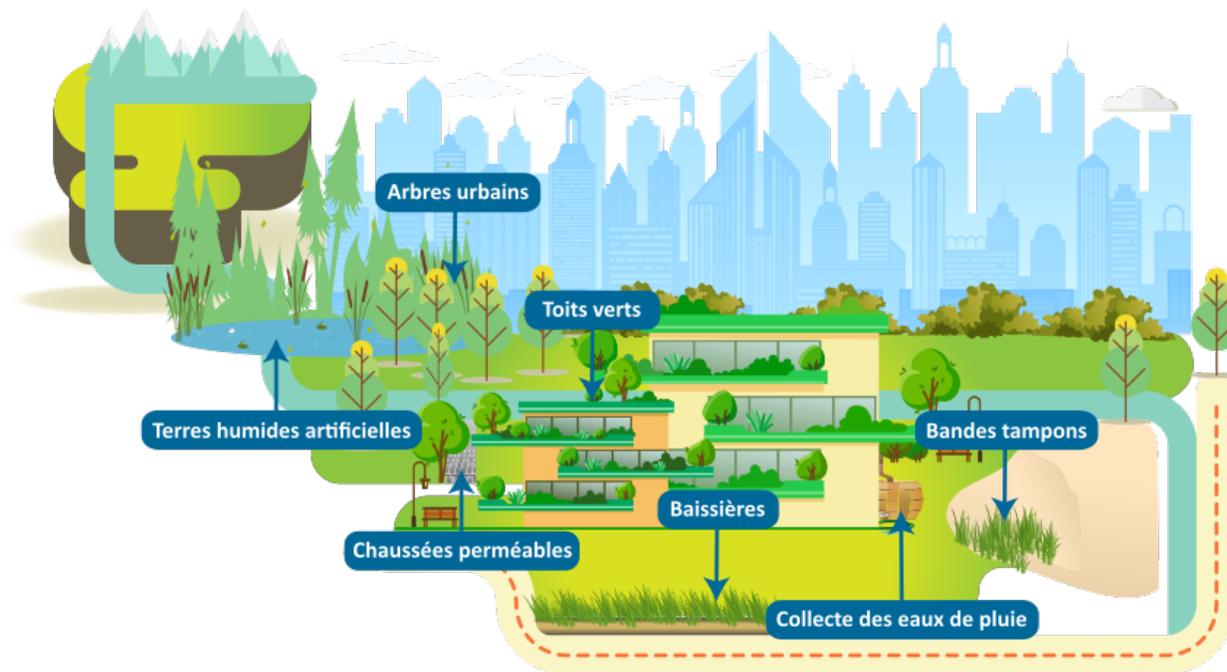
Aménagement à faible impact (AFI)

L'AFI est une approche large d'aménagement urbain généralement utilisée pour des applications de gestion des eaux pluviales, et parfois des pratiques étendues visant à minimiser les incidences sur les écosystèmes de la conception et du développement des services d'eau municipaux en particulier. Dans le domaine de la gestion des eaux pluviales, il implique des stratégies visant à atténuer une pollution accrue des eaux pluviales en gérant le ruissellement le plus près possible de sa source (Sustainable Technologies Evaluation Program [STEP], 2019). À cet égard, l'infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales doit être considérée comme un sous-ensemble du DFI, composé des ressources mixtes naturelles et d'éléments techniques ou bâtis qui rendent le DFI possible. En pratique, le DFI englobe les SFN suivantes :

- La conservation des caractéristiques des écosystèmes comme les terres humides, les voies de drainage naturelles, la végétation et les sols;
- Le recours au contrôle efficace de l'érosion et des sédiments et à la gestion des sols pendant la construction;
- La planification optimisée des sites urbains pour réduire les surfaces imperméables, allonger les voies d'écoulement des eaux pluviales et augmenter la durée de ruissellement;
- La mise en relief des pratiques de gestion non structurelles et de la prévention de la pollution;
- Les caractéristiques des zones distribuées de rétention de l'eau à microéchelle;
- L'augmentation générale de la couverture végétale et de la profondeur des sols;

- Les applications et les pratiques permettant l'évapotranspiration, l'infiltration et le traitement des eaux selon les besoins;
- Les solutions d'IV ou les SFN de préférence aux solutions d'infrastructure grise autant que possible dans l'ensemble du paysage.

Figure 4 : Gestion des eaux pluviales municipales — Exemples d'éléments d'infrastructure naturelle et de solutions fondées sur la nature



Applications de rétention

Les zones de rétention (généralement des bassins ou des dépressions) permettent le stockage des eaux pluviales à court terme (p. ex., de 24 à 48 heures) avec un taux de rejet contrôlé, ce qui signifie que le volume de rejet des eaux pluviales est égal à leur volume d'entrée (Groupe CSA, 2018). Bien que ces zones ne soient pas des éléments d'IN, ce sont des éléments d'infrastructure fondée sur la nature pour les eaux pluviales. Ils permettent aux sédiments de se déposer avant que les eaux pluviales ne soient libérées pour être acheminées vers les cours d'eau. Les zones de rétention offrent un stockage temporaire similaire, mais ont un volume de sortie *inférieur* au volume d'entrée (*ibid.*). L'évapotranspiration se produit pour une partie des eaux pluviales retenues, tandis que l'autre partie peut être dirigée vers la recharge des eaux souterraines. Les bassins de rétention sont d'une conception très adaptable et ils peuvent être naturalisés en y ajoutant de la végétation, ce qui crée un habitat pour certaines espèces ainsi que des espaces polyvalents. Ils peuvent être conçus avec une végétation indigène pour éliminer les polluants des eaux pluviales et avec des éléments d'infrastructure grise (p. ex., les tuyaux de drainage) qui imitent les fonctions hydrologiques naturelles. Dans tous les cas, la taille et la profondeur des bassins de rétention

dépendent de la zone de drainage du bassin hydrographique et des conditions hydrologiques locales.

Captage et utilisation ou réutilisation des eaux pluviales

Dans le cadre du captage et de l'utilisation ou de la réutilisation des eaux pluviales, le ruissellement collecté dans des bassins humides est utilisé (généralement avec un traitement) pour irriguer les paysages afin d'atteindre les cibles de réduction du volume de ruissellement et de contribuer à la réalisation des objectifs de qualité des eaux. La végétation sélectionnée ne *dépend* pas de cette source d'eau supplémentaire, mais elle est plutôt *améliorée* grâce à celle-ci. Il s'agit d'une mesure de contrôle des eaux pluviales très utilisée par les régions et collectivités sujettes à des périodes de sécheresse. À l'aide d'un traitement approprié, d'autres utilisations peuvent s'étendre au-delà de l'irrigation urbaine.

Noues

Les noues sont des éléments de l'infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales conçus comme des fossés de drainage, humides ou secs, généralement creusés le long des rues et des stationnements pour retenir et acheminer les eaux pluviales (GIO, 2016c; CCME, 2018). Les noues végétalisées sont un sous-type de noue sèche dont les composants sont comparables aux systèmes de biorétention. Elles ont une faible pente (généralement de 2 % ou moins) afin d'optimiser les possibilités d'infiltration et de traitement. En plus de leurs avantages en matière de gestion des eaux pluviales, les noues végétalisées aident à réguler la température, rechargent les eaux souterraines et contribuent à l'embellissement urbain. L'efficacité générale des noues pour la gestion des eaux pluviales peut varier en fonction du type de végétation et de sa hauteur, de la tonte effectuée, du type de sol et de sa profondeur, de la pente longitudinale, ainsi que de la forme, de la taille et des caractéristiques de la zone de drainage présente.

Marais artificiels

Les marais artificiels sont des éléments d'infrastructure verte conçus pour imiter les caractéristiques terrestres et aquatiques des terres humides naturelles et pour remplir des fonctions écologiques et hydrologiques similaires. Dans le contexte des zones développées, comme les villes, elles régulent et traitent les eaux pluviales en filtrant et en faisant circuler les sédiments et les polluants. Ces processus empêchent l'infiltration de contaminants dans les cours d'eau et les aquifères locaux. Afin de fournir des avantages connexes comme un habitat pour la faune, les marais artificiels peuvent être naturalisés pour intégrer des éléments comme de la végétation indigène aux écosystèmes locaux. C'est pourquoi certains experts les considèrent comme des exemples d'infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales, bien que leur valeur écologique réelle soit réduite en raison de la mauvaise qualité de l'eau et de leur incidence négative sur le biote résident.

Bandes tampons/bandes filtrantes

Principalement utilisées sur les terres agricoles, ces bandes sont des bandes d'herbe ou de végétation dense plantées sur une pente douce et conçues pour filtrer l'excès de ruissellement des sédiments. Elles peuvent être assimilées à des noues végétalisées simplifiées, sans substrat naturel ou synthétique ni réseau hydrographique.

Aménagements résilients

Ce terme a été créé par les architectes paysagistes pour décrire les techniques visant à éliminer la dépendance à l'eau potable pour l'irrigation tout en atténuant les débits de ruissellement et en offrant des avantages connexes. Certains intervenants incluent les jardins de pluie comme une application de ce type, mais de façon plus générale, les pratiques incluses sont le xéropaysagisme, l'inclusion de la bonne plante au bon endroit, l'utilisation d'espèces végétales indigènes, l'exploitation de sols profonds ou enrichis pour augmenter l'absorption des eaux de pluie et de ruissellement et la direction et la dispersion des descentes de gouttières sur les sols profonds ou enrichis. Certains intervenants appellent la catégorie générale *aménagements paysagers absorbants* ou *aménagements paysagers de fusion*. D'autres considèrent que les aménagements paysagers absorbants correspondent à une sous-pratique englobant l'exploitation de l'horizon superficiel profond et la direction et la dispersion des descentes de gouttières, tandis que d'autres encore considèrent que seule l'exploitation des sols enrichis et profonds correspond à cette notion. La normalisation des termes de cette catégorie est probablement attribuable à la variation du climat, des sols, de la végétation et des objectifs de gestion des eaux pluviales associés, ainsi que du public cible. Il s'agit essentiellement de reconnaître le rôle du sol et des plantes dans l'atténuation du taux et du volume des eaux pluviales, ainsi que dans l'amélioration de la qualité des eaux pluviales. Des programmes qui lient ces pratiques à d'autres objectifs écologiques comme l'habitat des pollinisateurs, la biodiversité et la connectivité des habitats commencent à voir le jour.

Toits verts

Un toit vert est un espace vert confiné qui prolonge un toit traditionnel, partiellement ou complètement recouvert d'un milieu de culture et de végétation plantée sur une membrane imperméable (Center for Neighborhood Technology [CNT], 2010). Il est conçu pour utiliser la végétation afin de capter l'eau de pluie et de stocker le ruissellement dans le substrat pour une transpiration et une évaporation progressives (Johns, 2018; Rowe, 2011), et il peut réduire les eaux pluviales de 50 à 100 % selon la pente du toit, la sélection des espèces végétales et la profondeur du substrat (Rowe, 2011; Kumar et al., 2019). Bien que les toits verts soient plus populaires en Europe et aux États-Unis qu'au Canada à ce jour¹⁰, leurs avantages pour la gestion des eaux

¹⁰ La lente adoption des phénomènes de toits verts urbains au Canada commence cependant à changer. Toronto a été la première ville de l'Amérique du Nord à adopter un règlement sur les toits verts (article 108 de la Loi sur la cité de Toronto) qui, depuis 2010, exige l'installation de toits verts sur les nouveaux bâtiments commerciaux, institutionnels et résidentiels à haute densité (Johns 2018).

pluviales et la réduction de la pollution, en particulier, sont de plus en plus reconnus. Les applications se retrouvent sous forme de modernisations ou de nouvelles installations. Les toits verts peuvent être caractérisés comme extensifs (convenant à divers toits en pente et présentant un poids léger et une faible profondeur) ou intensifs (présentant une profondeur importante de la couche de sol et une grande abondance de végétation) [Berardi et al., 2014]. En retardant le moment où le ruissellement se produit, les toits verts contribuent à réduire le risque d'inondation, de débordement d'égout et d'érosion potentielle en aval causés par les eaux de pluie (Rowe, 2011).

Les fonctions supplémentaires des toits verts comprennent la régulation de la température de l'air, la filtration de la poussière, des particules et des gaz nocifs, la séquestration du carbone et la création d'un habitat pour les oiseaux, les petits mammifères et les insectes. Ils contribuent également à la qualité de la vie humaine, notamment par l'augmentation et l'amélioration esthétique des espaces d'agrément et par la réduction du bruit. De plus, l'adoption de toits verts offre plusieurs avantages économiques estimables, notamment la création d'emplois liés à la fabrication, à l'installation et à l'entretien des toits verts, ainsi que la réduction des dépenses énergétiques liées aux systèmes de refroidissement et de chauffage. Ils ne figurent pas toujours parmi les éléments d'infrastructure verte les plus rentables, car les bâtiments doivent être conçus pour supporter leur poids conformément aux normes de construction établies. En outre, ils peuvent avoir besoin de solutions d'infrastructure grise (systèmes de tuyaux d'irrigation, de pompes et de réservoirs) pour les aider à survivre pendant les périodes de sécheresse ou de chaleur intense. Cependant, ils ne nécessitent pas l'espace supplémentaire requis par d'autres systèmes naturels de gestion des eaux pluviales et peuvent démontrer une durée de vie plus longue que les toits traditionnels (CCME, 2018), tout en évitant de produire des déchets grâce à l'utilisation de matériaux recyclés.

Pavages perméables

Les pavages perméables peuvent inclure des combinaisons d'infrastructures naturelle et grise pour améliorer l'absorption d'eau et les capacités de drainage des surfaces dures (p. ex., les stationnements, les trottoirs et les allées privées) pendant les périodes de fortes pluies et d'eaux pluviales élevées. Elles fonctionnent en permettant aux eaux pluviales de s'écouler dans des réservoirs sous-jacents, où elles sont infiltrées dans les sols sous-jacents ou évacuées par un collecteur d'eau souterrain (Capital Regional District [CRD] s.d.). Il existe toute une série de techniques relatives aux chaussées utilisant des éléments d'infrastructure verte pour permettre aux eaux pluviales de s'infiltrer dans les couches souterraines d'agrégats et de sol (p. ex., les pavés de béton préfabriqués emboîtables et perméables, et les systèmes de grille remplis de sable, de gravier ou de plantes). L'infrastructure grise implique généralement des surfaces imperméables, et d'autres applications ont été mises au point, notamment des mélanges spécialisés d'asphalte et de béton perméables. Les chaussées perméables aident à gérer les volumes de ruissellement les plus élevés tout en présentant des avantages environnementaux, comme la régulation de la qualité et de la température des eaux pluviales (c.-à-d. la réduction de la pollution thermique des plans d'eau récepteurs), la recharge des eaux souterraines et la réduction de ce que l'on appelle souvent globalement la zone imperméable efficace.

Jardins de pluie

Les jardins de pluie sont des bassins peu profonds et végétalisés qui imitent l'hydrologie naturelle et fonctionnent selon le principe de la biorétention. Ils absorbent les eaux pluviales provenant de zones où l'infiltration est faible (p. ex., les toits et les surfaces dures comme les stationnements, les trottoirs et les rues). En tant qu'exemples d'infrastructure verte pour la gestion des eaux pluviales fondée sur la nature, les jardins de pluie permettent de filtrer et de stocker les eaux pluviales, et de réaliser leur infiltration et leur évapotranspiration en utilisant des lits filtrants composés de matières végétales et de milieux de biorétention (p. ex., un substrat de sols spécialisés) [Groupe CSA, 2018]. Dans de nombreuses régions, ils sont privilégiés comme moyen de modernisation pour atténuer les inondations dans les vieux terrains résidentiels, notamment lorsque l'infiltration se produit naturellement dans les sols et est l'objectif premier de l'aménagement. L'US EPA (s. d.) note que les variétés autonomes de jardins de pluie constituent une application polyvalente d'IV et peuvent être installées dans presque tous les espaces, pavés ou non, et sur des propriétés publiques ou privées de toutes tailles.

Collecte des eaux de pluie

Ce terme décrit des applications utilisant généralement des barils ou des citernes pour collecter et stocker les eaux de pluie qui seraient autrement acheminées vers les réseaux hydrographiques d'eaux pluviales, les cours d'eau et les plans d'eau (CNT, 2010). Il s'agit d'une pratique ancienne qui a été utilisée dans les collectivités sujettes à la sécheresse cherchant à réduire leur approvisionnement en eau. Outre le résultat ciblé, à savoir le contrôle des volumes des eaux pluviales et l'atténuation des inondations, les pratiques de collecte des eaux de pluie permettent d'augmenter les réserves d'eau disponibles pour l'irrigation, ce qui entraîne l'accélération de la recharge des eaux souterraines et la réduction de la consommation d'énergie.

Arbres urbains

Les arbres urbains sont un exemple de SFN contribuant à la gestion des eaux dans les villes, lorsque les arbres sont plantés et gérés de manière stratégique. Pour commencer, les arbres ont des effets cumulatifs bénéfiques pour le contrôle local des eaux pluviales : ils aident à atténuer l'ampleur des inondations et à réduire les dommages en stabilisant les sols et en absorbant l'excès d'eau. Ces capacités dépendent de facteurs comme la sélection des espèces, les conditions de plantation et les pratiques d'entretien (CCME, 2018). Dans les collectivités urbaines et rurales du Canada, les répercussions d'événements catastrophiques comme les feux de forêt ont des effets néfastes sur les développements dépendant des terres forestières ou situés à proximité de celles-ci. Les collectivités qui perdent les avantages naturels en matière d'adaptation au climat d'un paysage forestier sain sont plus vulnérables aux événements de pluie violents et risquent de perdre également les avantages des arbres et des forêts sur les infrastructures hydrauliques, l'économie locale, ainsi que la santé et la sécurité publiques.

Systèmes d'infiltration souterrains

Les systèmes d'infiltration souterrains sont des applications d'infrastructure verte qui recueillent et retiennent les eaux pluviales, ce qui permet l'infiltration progressive de l'eau dans les sols sous-jacents. Il existe différents systèmes d'infiltration : les tranchées rocheuses, les galeries d'infiltration, les puits secs, les systèmes de tuyaux perforés et les routes sans égouts. Ils conviennent parfaitement à une installation sous des surfaces pavées comme les stationnements et les routes et nécessitent un dispositif de prétraitement en amont pour assurer une élimination adéquate des sédiments.

3.4 Conditions et épisodes de chaleur extrême

L'aménagement du territoire dans les villes canadiennes a exacerbé les effets de l'augmentation de la température due aux changements climatiques¹¹. Combinés à une pollution atmosphérique concentrée et à un manque ou une perte de verdure dans les paysages municipaux, l'imperméabilité et le faible albédo (c.-à-d. la capacité d'une surface à réfléchir le rayonnement) des surfaces d'infrastructure grise (p. ex., le béton, l'asphalte, l'acier et le verre) augmentent l'absorption de chaleur par les éléments de l'environnement bâti et contribuent directement à l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU)¹². Les hausses de température sont généralement associées à une hausse correspondante de la demande d'électricité, à une augmentation des émissions de GES et à une intensification des effets des changements climatiques.

Les arbres et autres végétaux urbains jouent un rôle important dans les efforts visant à atténuer l'effet d'ICU dans les zones développées, puisque d'après des données probantes, ils peuvent réduire la consommation d'énergie pendant les périodes de forte demande (p. ex., une température plus basse peut réduire la demande de climatisation). À cet égard, les considérations relatives aux caractéristiques du climat local ainsi que le choix des espèces végétales et de leur emplacement sont des facteurs importants. Les arbres et les projets d'écologisation (p. ex., les toits verts, les murs verts et les surfaces perméables) présentent des avantages en matière d'atténuation du climat et d'adaptation au climat, de réduction de la pollution, de prévention des inondations, de santé et de bien-être de la population, d'activités de conservation et d'économie locale. En outre, l'utilisation d'espèces indigènes peut servir à protéger et à favoriser la biodiversité. Le point le plus important est probablement le fait que les projets de verdure urbaine constituent des SFN capables de compenser certains des effets environnementaux les plus dommageables des éléments d'infrastructure grise avec lesquels ils coexistent.

¹¹ Ce défi en matière d'infrastructure est abordé en mettant l'accent exclusivement sur les sites urbains (c.-à-d. les villes), afin de conserver une portée étroite. Il ne traite pas des effets importants de la hausse de température comme la possibilité de sécheresse dans les régions rurales ou arides, ou les contributions à l'augmentation des feux de forêt dans les régions du nord du pays.

¹² Les ICU sont définies comme des zones urbaines qui atteignent constamment des températures plus élevées que les zones rurales en raison de l'absorption et de l'émission de chaleur par les surfaces imperméables (p. ex., le béton, le verre, l'asphalte et l'acier) dans l'environnement bâti. Phénomène étroitement lié aux ICU, les canyons urbains sont des espaces entre les bâtiments densément espacés qui démontrent un flux d'air inadéquat; ils piègent alors les polluants et provoquent une baisse de la qualité de l'air local.

3.4.1 Type de solution : Projets de foresterie urbaine et d'écologisation

Forêts urbaines

Les forêts urbaines sont des groupes d'arbres placés le long des rues, sur les toits, dans les parcs et les terres boisées situés à l'intérieur des limites municipales des villes et des collectivités rurales, mais aussi sur des terrains privés et publics. Il s'agit d'écosystèmes comprenant des arbustes et autres végétaux, ainsi que le sol et l'eau qui favorisent la végétation. Les projets fondés sur la nature qui utilisent des arbres urbains visent notamment la préservation, la restauration ou la création d'espaces forestiers, ainsi que la plantation et l'entretien d'arbres le long des rues, dans les parcs et dans les zones de conservation gérées par les municipalités. Les arbres et la végétation privés sont ceux qui se trouvent dans les cours avant et arrière privées, autour des immeubles d'habitation, dans les stationnements et sur les terrains commerciaux et industriels. Comme le concept de foresterie urbaine (utilisé en conjonction avec la notion de foresterie communautaire dans certains endroits) présente un bilan de réussites appuyées par des documents très cités et évalués par des pairs, il peut constituer une boîte à outils pour l'adoption de l'IN et des SFN au sens large (Escobedo et al., 2019).

Dans le domaine de la régulation de la température, les forêts urbaines et les couverts forestiers (CF) réduisent la température de l'air par évapotranspiration et grâce à leur ombre, ce qui permet de lutter contre l'effet d'ICU en préservant la fraîcheur des bâtiments et des espaces ouverts. Ils constituent une importante mesure d'adaptation au climat tout en favorisant la santé humaine et en réduisant la demande d'énergie pendant les périodes de pointe et de haute température. Il existe une série d'avantages découlant des arbres urbains, qui dépendent de facteurs de sélection et de placement des espèces :

- Gestion des eaux pluviales — l'effet cumulatif d'un grand nombre d'arbres combinés à d'autres espaces verts augmente la rétention des excès de précipitations, qui sont absorbés par les feuilles, les branches et les systèmes racinaires, et réduit le ruissellement. Par conséquent, l'érosion est limitée et les sols locaux sont stabilisés (GIO, 2016d);
- Purification de l'eau — les arbres (mais aussi les herbes, les arbustes, les jardins et les parterres de fleurs) assurent une filtration naturelle efficace de l'eau et favorisent l'infiltration d'eaux souterraines propres
- Qualité de l'air — les applications urbaines d'IN comprenant des arbres (y compris les toits verts) aident à éliminer les polluants de l'air comme le monoxyde de carbone, l'ozone troposphérique et les particules en suspension dans l'air (Hotte et al., 2015)
- Séquestration de carbone — les arbres éliminent le dioxyde de carbone de l'atmosphère
- Réduction de la pollution sonore — la couverture forestière urbaine contribue à atténuer le bruit excessif dû à la circulation et à la construction, ce qui peut être difficile à évaluer sur le plan financier, mais est susceptible d'améliorer la qualité de vie dans les zones développées
- Santé et bien-être de la population — il est prouvé que vivre et travailler près des arbres améliore l'humeur, la concentration et la santé psychologique (Kardan et al., 2015). En outre, les espaces forestiers favorisent les loisirs de plein air, et contribuent à augmenter l'activité physique lorsqu'ils sont conçus et gérés adéquatement à ces fins, ainsi que la sécurité alimentaire dans les cas où des arbres fruitiers sont utilisés.

- Habitat et protection de la biodiversité — sur le plan de la faune, les forêts urbaines représentent une forme essentielle d’habitat naturel pour les espèces vivant ou migrant dans les zones urbaines
- Économie et valeur des propriétés — les forêts et les arbres urbains rehaussent les qualités esthétiques des villes canadiennes, c’est pourquoi ils augmentent la valeur des propriétés.

Les solutions traditionnelles d’infrastructure grise reposant sur l’innovation technologique (p. ex., les applications qui réfléchissent ou absorbent le rayonnement, comme les toits blancs et les chaussées réfléchissantes) cherchent à compenser l’augmentation de la température urbaine avec plus ou moins de succès, mais elles n’offrent pas d’avantages supplémentaires comparables à ceux des forêts urbaines.

Cellules de sol

Parfois appelées cellules structurelles, les cellules de sol sont des structures rigides en polypropylène de forme et de taille fixes, dotées d’un espace vide pouvant être rempli avec de la terre (Ow et Ghosh, 2017). Les cellules sont utilisées pour faire pousser des arbres sains (c.-à-d. des arbres avec une grande biomasse) dans un espace limité, en fournissant une surface compactée qui protège le sol non compacté en dessous. Elles ressemblent à des tables en plastique et créent de longues voûtes de terre entre les arbres et sous les trottoirs pour permettre aux systèmes racinaires d’atteindre de grandes profondeurs. Comme un sol non compacté offre un espace d’enracinement supplémentaire, les arbres urbains qui poussent dans les cellules de sol peuvent atteindre leur plein potentiel. Les systèmes cellulaires n’ont pas besoin de pierre (c.-à-d. de jardinières), car ils sont suffisamment solides pour supporter la charge de la chaussée environnante. Cette innovation d’infrastructure verte permet la croissance d’un couvert forestier urbain mature, qui contribue à réguler la température, à réduire les eaux pluviales, à favoriser l’infiltration, à augmenter l’oxygène et à absorber la pollution atmosphérique.

Écologisation urbaine

Ce terme décrit une approche de l’aménagement du territoire urbain fondée sur l’efficacité et qui repose sur le principe fondamental de l’intégration de multiples aménagements du territoire à faible incidence dans des systèmes urbains socioécologiques complexes où plusieurs actions et réseaux sociaux interagissent avec les éléments des écosystèmes naturels (Dorst et al., 2019). Dans tous les cas, son utilisation dans les documents sur les SFN se limite aux milieux urbains (c.-à-d. les villes) où l’on trouve des densités de population et de développement plus importantes que celles qui caractérisent les petites communautés rurales ou éloignées. Les arbres urbains, les toits verts, les murs végétaux et les initiatives de dépavage sont des exemples de la multifonctionnalité de l’aménagement du territoire. La végétation, la terre et l’eau peuvent favoriser l’adaptation au climat local dans les domaines critiques de la gestion des eaux de crue et de ruissellement et de la régulation de la température, tout en offrant des avantages connexes discernables.

Espaces verts

Le terme espace vert (EV) est utilisé pour décrire les parcs urbains, les zones de conservation, les ravins, les terres à bois, les zones riveraines, les parcs provinciaux et fédéraux, les terrains de jeu, ainsi que les cours d'école et les terrains de golf (GIO, 2016*b*). La couverture étendue des chaussées dans la plupart des villes est associée à un degré de perméabilité à l'eau généralement faible, ce qui contribue à une augmentation de la température. Les espaces verts aménagés avec des arbres, des arbustes et de la terre aident à ralentir l'augmentation localisée de la température grâce à des processus tels que l'évapotranspiration et l'ombrage. La même végétation peut atténuer les débits d'eaux pluviales lors d'événements météorologiques violents, filtrer les sédiments et éliminer les polluants des eaux de pluie.

Les EV offrent une série d'autres avantages connexes environnementaux et socioculturels. Par exemple, ils constituent un habitat précieux pour les espèces végétales indigènes et pour les oiseaux qui migrent dans les corridors urbains. Les parcs de pollinisateurs peuvent être préservés pour fournir un lieu de pollinisation de la végétation indigène et pour permettre aux abeilles d'effectuer la pollinisation nécessaire pour que les agriculteurs locaux assurent la production alimentaire. Ensuite, de nombreux EV sont désignés à des fins récréatives et favorisent l'interaction sociale et l'activité physique. Ils apportent un sous-ensemble d'avantages importants pour la santé et le bien-être de la population et contribuent notamment à l'amélioration des capacités motrices des enfants, à la réduction des risques d'obésité et à l'amélioration générale de la santé mentale. Enfin, les propriétés résidentielles adjacentes aux parcs et aux EV peuvent avoir une valeur supérieure à celle des biens immobiliers comparables situés ailleurs.

Toits verts

En réponse à la hausse des températures, les toits verts sont des éléments d'infrastructure verte qui aident à réguler la température par la saturation, l'évapotranspiration, l'ombrage et la réflexion du rayonnement solaire. En milieu urbain, la proportion de la couverture végétale est faible par rapport aux surfaces imperméables et à la surface du ciel visible. Les surfaces de toit traditionnel constituent une grande partie de la couverture imperméable. Elles retiennent essentiellement la chaleur, car elles sont sèches et absorbent le rayonnement solaire. L'effet d'ICU est renforcé par la construction de bâtiments à proximité immédiate des rues de la ville, dans le cadre d'un développement commercial et résidentiel à haute densité. Les toits verts peuvent contrer l'effet d'ICU grâce au refroidissement par évaporation, fournissant une isolation qui régule la température interne des bâtiments (Filazzola et al., 2019; Moss et al., 2019). La couverture maximale de la surface du toit est un facteur clé de la capacité d'un toit vert à réguler la température, car un feuillage abondant fournit de l'ombre, permet un échange thermique et absorbe l'énergie thermique pendant la photosynthèse de la végétation (Berardi et al., 2014).

Les principaux avantages connexes des applications de toits verts sont la réduction de la consommation d'énergie en hiver et en été, et la réduction de la pollution atmosphérique grâce au filtrage de l'ozone troposphérique et des particules (Rowe, 2011; Kumar et al., 2019). Les toits verts nécessitent un investissement en construction et en entretien moins important que leur

principal équivalent technique, les toits blancs, car ils protègent le toit principal sous-jacent des rayons ultraviolets, des températures extrêmes et des dommages physiques causés par les précipitations. Les toits dont le substrat est suffisamment profond peuvent séquestrer une quantité importante de carbone (Whittinghill et al., 2014). De plus, les toits verts peuvent être utilisés pour les jardins verticaux et l'agriculture urbaine, et ils fournissent ainsi une source de nourriture pour les collectivités humaines, ainsi que pour les oiseaux et les insectes pollinisateurs (GIO, 2016a). Ils convertissent ce qui était peut-être un espace urbain sous-utilisé en un habitat favorable à la faune urbaine (Parkins et Clark, 2015), diminuent la pollution sonore et embellissent les espaces urbains à haute densité.

Murs végétalisés

Parfois appelé mur écologique, mur végétalisé ou mur végétal, un mur vivant est une application d'infrastructure verte dans laquelle la végétation pousse sur le côté d'un bâtiment et repose sur des structures de soutien (Filazzola et al., 2019). Dans sa forme la plus simple, un mur vivant est un jardin vertical dans lequel les lianes et la végétation grimpante poussent à partir de jardinières et sont fixées par des câbles en acier inoxydable, des grilles métalliques et des treillis. Dans ses formes les plus complexes, le mur vivant est un système spécialisé et technique d'enveloppes où la végétation est plantée, pousse et est irriguée dans des éléments modulaires qui sont fixés ou intégrés au mur d'un bâtiment (CRD s. d.). Pour toute application, le poids des structures, la rétention d'humidité, l'apport de nutriments et la distribution de l'eau sont des éléments importants à prendre en compte dans la conception (*ibid.*).

Pendant la saison estivale et lors d'épisodes de chaleur extrême, les murs végétalisés protègent les parois extérieures des bâtiments contre le rayonnement solaire intense, le transformant en chaleur latente et permettant aux températures de surface de rester relativement fraîches. Les murs végétalisés contribuent également à inverser le phénomène des canyons urbains, en piégeant les polluants atmosphériques qui, autrement, diminueraient la qualité de l'air local (Abijith et al., 2017). Le rapport élevé entre la surface des murs et celle des toits dans les espaces urbains indique que les avantages environnementaux générés par les murs végétaux sont exponentiellement plus importants que ceux des toits verts, bien que la combinaison des deux installations augmente l'efficacité globale de chacune d'entre elles (Alexandri et Jones, 2008). Les toits verts offrent cependant un drainage supérieur et comme les murs végétaux sont constamment humides, il faut veiller à contrôler les moisissures. La végétation doit toujours être composée de plantes indigènes appropriées, sauf s'il existe un risque de surproduction de pollens, qui peuvent être un irritant pour certaines personnes vivant et travaillant à proximité de murs végétalisés.

Figure 5 : Conditions et épisodes de chaleur extrême — Exemples d'éléments d'infrastructure naturelle et de solutions fondées sur la nature



4.0 CONCLUSION

L'IN et les SFN connexes offrent des solutions aux défis complexes en matière d'infrastructure dans le cadre des scénarios climatiques actuels et futurs. Elles permettent d'atteindre des résultats ciblés en matière d'infrastructure dans les milieux urbains et ruraux, de même que dans les collectivités éloignées et nordiques du pays.

Toutefois, le simple fait d'étiqueter la planification et le développement habituels des infrastructures comme étant « fondés sur la nature » risque de limiter les possibilités de mettre en œuvre de nouveaux projets d'IN et d'accroître les interventions existantes. Il faut veiller à privilégier les solutions qui sont considérées comme étant fondées sur la nature parce qu'elles offrent un retour sur investissement précieux et croissant. Ces solutions comprennent des avantages pour la résilience aux changements climatiques par une capacité accrue d'adaptation aux effets des changements climatiques, mais s'étendent également à d'autres avantages multiples, comme le soutien de la biodiversité, la conservation de la nature, la santé des collectivités humaines, et peuvent stimuler la croissance économique propre.

Le présent cadre terminologique constitue une ressource importante pour clarifier la vaste gamme de SFN et ses avantages. Par exemple, il peut servir à informer les fonctionnaires et les praticiens de toutes les administrations qui conçoivent ou exécutent des programmes liés aux SFN. Il peut également aider à faciliter le dialogue et à diffuser l'information au grand public.

Étant donné que le Cadre est axé sur la clarification de la terminologie, il ne fournit pas d'études de cas précises sur la façon dont les SFN sont mises en œuvre dans l'ensemble des secteurs de compétence. Il reconnaît toutefois les avantages et les possibilités généralisés pour les SFN, qui peuvent s'appliquer aux régions urbaines, rurales, nordiques, côtières et intérieures. Il sert d'outil aux fonctionnaires et aux praticiens de toutes les administrations pour comprendre l'éventail des options de SFN disponibles et les utiliser afin d'éclairer les décisions de planification et d'élaboration. Le Cadre ne met pas particulièrement l'accent sur la gestion des risques d'incendie, les sécheresses ou les collectivités éloignées et nordiques, étant donné qu'il ne s'agissait pas des quatre défis distincts et des solutions abordés dans le rapport. Bien qu'un grand nombre de SFN puisse s'appliquer à ces domaines et à ces fins, d'autres travaux sont nécessaires dans ce domaine.

5.0 RÉFÉRENCES

- Abhijith, K.V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., Broderick, B., Di Sabatino, S. et Pulvirenti, B. (2017). « Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built up street canyon environments — A review ». *Atmospheric Environment* **162** : 71–86.
- Acreman, M. et Holden, J. (2013). « How Wetlands Affect Floods ». *Wetlands* **33**(5) : 773–86.
- AEE — Agence européenne pour l’environnement (2015). *Exploring nature-based solutions: The role of green infrastructure in mitigating the impacts of weather and climate change-related natural hazards*. Rapport technique n° 12 de l’AEE. Disponible à <https://www.preventionweb.net/publications/view/46560> (consulté le 12 janvier 2020).
- Alexandri, E. et Jones, P. (2008). « Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates ». *Building and Environment* **43**(4) : 480–93.
- Arkema, K.K., Guannel, G., Verutes, G., Wood, S.A., Guerry, A., Ruckelshaus, M., Kareiva, P., Lacayo, L. et Silver, J.M. (2013). « Coastal habitats shield people and property from sea-level rise and storms ». *Nature and Climate Change* **3** : 913–18.
- Arlington Group Planning + Architecture Inc., EBA, DE Jardine Consulting and Sustainability Solutions Group (2013). *Sea Level Rise Adaptation Primer: A Toolkit to Build Adaptive Capacity on Canada’s South Coasts*. Préparé pour le ministère de l’Environnement de la Colombie-Britannique.
- Arsenault, D. et Sood, A. (2007). *Resilience: A Systems Design Imperative*. Document de travail de février 2007 sur l’importance d’un programme de protection de l’infrastructure. Arlington, Virginie : George Mason University.
- Atkinson, D.E., Forbes, D.L. et James, T.S. (2016). « Un littoral dynamique dans un contexte de climat en mutation »; p. 27–68 dans *Le littoral maritime du Canada face à l’évolution du climat*, éd. D.S. Lemmen, F.J. Warren, T.S. James et C.S.L. Mercer-Clarke. Ottawa, Ontario : Gouvernement du Canada. Disponible à https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/assess/2016/Coastal_Assessment_Rapport_complet.pdf (consulté le 21 décembre 2019).
- Bataille. 2019. Low and zero emissions in the steel and cement industries: barriers, technologies and policies. Issue paper, OECD Green Growth and Sustainable Development Forum. Disponible en ligne : https://www.oecd.org/greengrowth/GGSD2019_IssuePaper_CementSteel.pdf (consulté le 10 octobre 2020).
- Berardi, U., Ghaffarian Hoseini, A.H. et Ghaffarian Hoseini, A. (2014). « State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs ». *Applied Energy* **115**(15) : 411–28.
- Bataille, (2019). *Low and zero emissions in the steel and cement industries: barriers, technologies and policies*. Issue paper, OECD Green Growth and Sustainable Development Forum. Available online: https://www.oecd.org/greengrowth/GGSD2019_IssuePaper_CementSteel.pdf (viewed October 10, 2020)
- Bush, E. et D.S. Lemmen, éd. (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*. Gouvernement du Canada; Ottawa, Ontario. Disponible à https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/energy/Climate-change/pdf/RCCC_FULLREPORT-FR-FINAL.pdf (consulté le 21 décembre 2019).
- CAE – Cercle autochtone d’experts (2018). *Nous nous levons ensemble : Atteindre En route vers l’objectif 1 du Canada en créant des aires protégées et de conservation autochtones dans l’esprit et la pratique de la réconciliation*. Disponible à https://static1.squarespace.com/static/57e007452e69cf9a7af0a033/t/5abaa653562fa7dface1caa9/1522181723865/PA234-Rapport-ICE_FR_mar_22_2018_web.pdf (consulté le 9 février 2020).
- Canada (2018). *Unis avec la nature : Une approche renouvelée de la conservation des terres et de l’eau douce au Canada. Un rapport des ministères fédéraux, provinciaux et territoriaux responsables des parcs, des aires protégées, de la conservation, de la faune et de la biodiversité du Canada*. Disponible à <https://static1.squarespace.com/static/57e007452e69cf9a7af0a033/t/5c6b0c981905f44fe48d3a84/1550519450986/Pathway-Report-Final-FR.pdf> (consulté le 7 janvier 2020).

- CCME (2018). *Pratiques exemplaires et ressources relatives à l'infrastructure naturelle résistante au climat*. Winnipeg, Manitoba : ICF pour le CCME. Disponible à <https://ccme.ca/fr/ressources> (consulté le 19 décembre 2019).
- CCME – Conseil canadien des ministres de l'environnement (2016). *Synthèse des approches de gestion intégrée par bassin versant au Canada*. Winnipeg, Manitoba. Disponible à <https://ccme.ca/fr/ressources> (consulté le 9 janvier 2020).
- CDB (2009). *Connecting biodiversity and climate change mitigation and adaptation: Report of the second ad hoc technical expert group on biodiversity and climate change*. Secrétariat de la CDB. Série de documents techniques.
- CDB – Convention sur la diversité biologique (2006). *Rapport du Groupe spécial d'experts techniques sur la diversité biologique des forêts*. Disponible à <https://www.cbd.int/forest/definitions.shtml> (consulté le 9 février 2020).
- CE – Commission européenne (2013). *Rapport de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions : Infrastructure verte — Renforcer le capital naturel de l'Europe*. Bruxelles : Commission européenne.
- Chenoweth, J., Anderson, A.R., Kumar, P., Hunt, W.F., Chimbwandira, S.J. et Moore, T.L.C. (2018). « The interrelationship of green infrastructure and natural capital ». *Land Use Policy* **75** : 137–144.
- CIC — Canards Illimités Canada (2020). *Natural Infrastructure for a Climate-Ready Ontario: Building the Case for Leveraging Wetlands to Reduce Flood Risk*. Disponible à <https://www.ducks.ca/assets/2020/01/natural-infrastructure-pages.pdf> (consulté le 12 janvier 2020).
- CNT – Center for Neighborhood Technology (2010). *The Value of Green Infrastructure: A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits*. Disponible à https://www.cnt.org/sites/default/files/publications/CNT_Value-of-Green-Infrastructure.pdf (consulté le 21 décembre 2019).
- Conger, T. et Chang, S.E. (2019). « Developing indicators to identify coastal green infrastructure potential: The case of the Salish Sea region ». *Ocean & Coastal Management* **175**(1) : 53–69.
- CRD — Capital Regional District (s. d.) *Green Stormwater Infrastructure*. Disponible à <https://www.crd.bc.ca/education/green-stormwater-infrastructure> (consulté le 12 janvier 2020).
- CSA – Groupe CSA (2018). *Norme nationale du Canada W200:18 : Conception des systèmes de biorétention*. Octobre 2018; ICS 93.010; ISBN 978-1-4883-1430-8.
- da Silva, J.M.C. et Wheeler, E. (2017). « Ecosystems as Infrastructure ». *Perspectives in Ecology and Conservation* **15**(1) : 32–35.
- di Marino, M. et Lapintie, K. (2017). « Exploring the concept of green infrastructure in urban landscape: Experiences from Italy, Canada and Finland ». *Landscape Research* **43**(1) : 139–49.
- Dorst, H., van der Jagt, A., Raven, R. et Runhaar, H. (2019). « Urban greening through nature-based solutions: Key characteristics of an emerging concept ». *Sustainable Cities and Society* **49** : 1–8.
- Douglas, I. (2019). « 50 years change in urban land use and ecological planning globally in the era of design with nature ». *Ecosystem Health and Sustainability* **5**(1) : 185–98.
- DPB – Directeur parlementaire du budget (2016). *Estimation du coût annuel moyen des Accords d'aide financière en cas de catastrophe causée par un événement météorologique*. Ottawa : Gouvernement du Canada. Disponible à http://www.pbo-dpb.gc.ca/web/default/files/Documents/Reports/2016/DFAA/DFAA_FR.pdf (consulté le 14 février 2020).
- ECCC – Environnement et Changement climatique Canada (2019). *Convention sur la diversité biologique — Participation du Canada*. Disponible à <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/organisation/affaires-internationales/partenariats-organisations/convention-diversite-biologique.html> (consulté le 21 décembre 2019).

- EM – Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (2005). *Les écosystèmes et le bien-être humain : synthèse*. Washington, District de Columbia : Island Press.
- EPA (1999). *Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices*. EPA Office of Water. Washington, District de Columbia; publication EPA-821-R-99-012. Disponible à https://www3.epa.gov/npdes/pubs/usw_c.pdf (consulté le 9 mars 2020).
- EPA — United States Environmental Protection Agency (2016). *What is Green Infrastructure?* Disponible à <http://www.epa.gov/green-infrastructure/policy-guides> (consulté le 21 décembre 2019).
- Escobedo, F.J., Giannico, V., Jim, C.Y., Sanesi, G. et Laforteza, R. (2019). « Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors? ». *Urban Forestry & Urban Greening* **37** : 3–12.
- Farr, D. (2011). *Sustainable Urbanism: Urban Design with Nature*. Hoboken : Wiley & Sons.
- Filazzola, A., Shrestha, N. et MacIvor, J.S. (2019). « The contribution of constructed green infrastructure to urban biodiversity: A synthesis and meta-analysis ». *Journal of Applied Ecology* **56**(9) : 2131–43.
- Friends of the Greenbelt Foundation and the Green Infrastructure Ontario Coalition (2017). *A Green Infrastructure Guide for Small Cities, Towns and Rural Communities*. Disponible à https://greeninfrastructureontario.org/app/uploads/2016/04/Green_Infrastructure_Final.pdf (consulté le 4 février 2020).
- GCA – Global Commission on Adaptation (2019). *Adapt Now: A Global Call for Leadership on Climate Resilience*. Global Commission on Adaptation and World Resources Institute (WRI). Disponible à https://cdn.gca.org/assets/2019-09/GlobalCommission_Report_FINAL.pdf (consulté le 11 février 2020).
- GIEC – Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat (2018). *Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité — Résumé à l’intention des décideurs*. Disponible à https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_fr.pdf (consulté le 13 février 2020).
- GIO (2016a). *Green Roofs*. Disponible à <https://greeninfrastructureontario.org/green-roof/> (consulté le 11 janvier 2020).
- GIO (2016b). *Parks and Open Spaces*. Disponible à <https://greeninfrastructureontario.org/parks-and-open-spaces/> (consulté le 11 janvier 2020).
- GIO (2016c). *Stormwater Systems*. Disponible à <https://greeninfrastructureontario.org/stormwater-systems/> (consulté le 11 janvier 2020).
- GIO (2016d). *Urban Forests*. Disponible à <https://greeninfrastructureontario.org/urban-forests/> (consulté le 11 janvier 2020).
- GIO — Green Infrastructure Ontario Coalition (2020). « Let’s Make Green Infrastructure the New Normal ». Disponible à <https://greeninfrastructureontario.org/> (consulté le 7 février 2020).
- Gouvernement de l’Ontario (2014). *Déclaration de principes provinciale de 2014; Article 6.0 : Définitions*. Disponible à <https://www.ontario.ca/fr/document/declaration-de-principes-provinciale-de-2014> (consulté le 11 janvier 2020).
- Gronewald, A.D., Fortin, V., Lofgren, B., Clites, A., Stow, C.A. et Quinn, F. (2013). « Coasts, water levels and climate change: A Great Lakes perspective ». *Climatic Change* **120** : 697–711.
- Groupe de travail sur le changement climatique du Conseil canadien des parcs (2018). *Promoting Parks and Protected Areas as Natural Solutions to Climate Change*. Disponible à <https://cpcil.ca/knowledge-base/promoting-parks-and-protected-areas-as-natural-solutions-to-climate-change/> (consulté le 13 février 2020).
- Guerry, A.D., Polasky, S., Lubchencof, J., Chaplin-Kramer, R., Daily, G.C., Griffin, R., Ruckelshausa, M., Bateman, I.J., Duraiappahk, A., Elmqvist, T., Feldman, M.W., Folke, C., Hoekstra, J., Kareiva, P.M., Keeler, B.L., Shuzhuo, L., McKenzie, E., Ouyang, Z., Reyers, B., Ricketts, T.H., Rockström, J., Tallis, H. et Vira, B.

- (2015). « Natural capital and ecosystem services informing decisions: From promise to practice ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **112**(24) : 7348–55.
- Gunnell, K., Mulligan, M., Francis, R.A. et Hole, D.G. (2019). « Evaluating natural infrastructure for flood management within the watersheds of select global cities ». *Science of the Total Environment* **670** : 411–24.
- Horizon Advisors (2019). *Avantages liés à l'adoption d'infrastructures naturelles : Comparaison des solutions d'infrastructure naturelle et grise*. Ottawa, Ontario : Élaboré pour Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). Disponible à <https://www.horizonadvisors.org/natural-infrastructure-benefits> (consulté le 21 décembre 2019).
- Hotte, N., Nesbitt, L., Barron, S., Cowan, J. et Cheng, Z.C. (2015). *The Social and Economic Values of Canada's Urban Forests: A National Synthesis*. Vancouver, Colombie-Britannique : University of British Columbia. Disponible à <http://urbanforestry.sites.olt.ubc.ca/files/2016/09/TheSocial-and-Economic-Values-of-Canada%E2%80%99s-Urban-Forests-A-National-Synthesis-2015.pdf> (consulté le 12 janvier 2020).
- IPBES — Secretariat of Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (2018). *The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas*, éd. J. Rice, C.S. Seixas, M.E. Zaccagnini, M. Bedoya-Gaitàn, et N. Valderrama. Bonn, Allemagne.
- Johns, C. (2018). *Green Infrastructure and Stormwater Management in Toronto: Policy Context and Instruments*. Center for Urban Research and Land Diversity, Ryerson University. Disponible à <https://www.ryerson.ca/content/dam/cur/pdfs/JohnsGIandSWMTorontoFinalDec18.pdf> (consulté le 11 janvier 2020).
- Kardan, O., Gozdyra, P., Misic, B., Moola, F., Palmer, L.J., Paus, T. et Berman, M.G. (2015). « Neighborhood greenspace and health in a large urban center ». *Scientific Reports* **5** : 11610. Disponible à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4497305/> (consulté le 13 février 2020).
- Koc, C.B., Osmond, P. et Peters, A. (2017). « Towards a comprehensive green infrastructure typology: A systematic review of approaches, methods and typologies ». *Urban Ecosystems* **20**(1) : 15–35.
- Kousky, C. (2014). « Managing shoreline retreat: A US perspective ». *Climatic Change* **124**(1–2) : 9–20.
- Kumar, P., Abhijith, K.V. et Barwise, Y. (2019). *Implementing Green Infrastructure for Air Pollution Abatement: General Recommendations for Management and Species Selection*. Surrey, Royaume-Uni : Global Centre for Clean Air Research, University of Surrey.
- Mettler, C. (2017). *Water Sustainability and the City: Leveraging B.C.'s Water Sustainability Act in Support of Urban Watershed Management*. The Canadian Freshwater Alliance — Tides Canada. Disponible à <https://d3n8a8pro7vhmx.cloudfront.net/freshwateralliance/pages/2029/attachments/original/1534810289/CFWA-WaterSustainabilityAndTheCity-D05.compressed.pdf?1534810289> (consulté le 13 janvier 2019).
- MNAI (2017). *Defining and Scoping Municipal Natural Assets*. Disponible à <https://mnai.ca/media/2018/02/finaldesignedsept18mnai.pdf> (consulté le 9 janvier 2020).
- MNAI (2018). *Towards an Eco-Asset Strategy in the Town of Gibsons*. Disponible à https://mnai.ca/media/2018/01/EcoAsset_Strategy.pdf (consulté le 13 janvier 2020).
- MNAI — Municipal Natural Assets Initiative (2019). *What Are Municipal Natural Assets: Defining and Scoping Municipal Natural Assets — June 2019 Decision-Maker Summary*. Disponible à https://mnai.ca/media/2019/07/SP_MNAI_Report-1- June2019-2.pdf (consulté le 29 janvier 2020).
- Molnar, M., Kocian, M. et Batker, D. (2012). *Nearshore Natural Capital Valuation: Valuing the Aquatic Benefits of British Columbia's Lower Mainland*. Fondation David Suzuki et Earth Economics. Disponible à <https://davidsuzuki.org/wp-content/uploads/2012/11/nearshore-natural-capital-valuation-aquatic-benefits-british-columbia-lower-mainland.pdf> (consulté le 8 février 2020).
- Moss, J.L., Doick, K.J., Smith, S. et Shahrestani, M. (2019). « Influence of evaporative cooling by urban forests on cooling demand in cities ». *Urban Forestry & Urban Greening* **37** : 65–73.

- Moudrak, N. et Feltmate, B. (2019). *Élaborer une norme canadienne pour rendre les zones résidentielles existantes résilientes face aux inondations*. Waterloo, Ontario : Centre Intact d'adaptation au climat. Disponible à <https://www.centreintactadaptationclimat.ca/wp-content/uploads/2019/01/Surmonter-La-Temp%C3%AAt.pdf> (consulté le 21 décembre 2019).
- Natural Capital Coalition (s. d.). *What is Natural Capital?* Londres, Royaume-Uni. Disponible à <https://naturalcapitalcoalition.org/natural-capital-2/> (consulté le 9 janvier 2020).
- OCDE (2018). *Climate-resilient Infrastructure*. Document d'orientation n° 14 de l'OCDE sur l'environnement. Disponible à <http://www.oecd.org/environment/cc/policy-perspectives-climate-resilient-infrastructure.pdf> (consulté le 9 janvier 2020).
- OCDE – Organisation de coopération et de développement économiques (2020). *Nature-based solutions for adapting to water-related disaster risks*. Document de travail, groupe de travail sur le climat, les investissements et le développement. Paris : OCDE
- ONU — Nations Unies (1992). Texte de la *Convention sur la diversité biologique*. Disponible à <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-fr.pdf> (consulté le 6 janvier 2020).
- Ow, L.F. et Ghosh, S. (2017). « Urban tree growth and their dependency on infiltration rates in structural soil and structural cells ». *Urban Forestry & Urban Greening* **26** : 41–47.
- Parkins, K.L. et Clark, J.A. (2015). « Green roofs provide habitat for urban bats ». *Global Ecology and Conservation* **4** : 349–57.
- PNUE — Programme des Nations unies pour l'environnement (2014). *Green Infrastructure Guide for Water Management: Ecosystem-based management approaches for water-related infrastructure projects*. Disponible à <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> (consulté le 6 janvier 2020).
- Qin, Y. (2015). « A review on the development of cool pavements to mitigate urban heat island effect ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **52** : 445–59.
- Red Deer River Watershed Alliance (s. d.). *What is Watershed Management?* Disponible à <https://www.rdrwa.ca/node/27> (consulté le 9 février 2020).
- Rowe, D.B. (2011). « Green roofs as a means of pollution abatement ». *Environmental Pollution* **159**(8–9) : 2100–110.
- Roy, D. (2018). « The Multiple Benefits of Natural Infrastructure ». Publication du blogue datée du 27 août; Institut international du développement durable. Disponible à <https://www.iisd.org/blog/multiple-benefits-natural-infrastructure> (consulté le 21 décembre 2019).
- Schafer, C.T. (2018). « Perspective on Warm Climate Intervals and Their History: How Might Coastal Canada Adapt to an Ocean-Related and Potentially Negative Impact of Predicted Warmer Conditions? ». *Proceedings of the Nova Scotian Institute of Science* **49**(2) : 205–28.
- SNAP — Société pour la nature et les parcs du Canada (2018). *Des « solutions nature » pour le climat : Six étapes pour lutter contre les changements climatiques et la perte de la biodiversité au Canada*. Disponible à https://snapcanada.org/wp-content/uploads/2018/02/CPAWS_FindingCommonGrd_report_FR_v4.pdf (consulté le 21 décembre 2019).
- Stanley, M., Puzyreva, M. et Roy, D. (2019). *Advancing Natural Infrastructure in Canada: A forum report*. Winnipeg, Manitoba : Institut international du développement durable. Disponible à <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/advancing-natural-infrastructure-canada.pdf> (consulté le 9 janvier 2020).

- STEP — Sustainable Technologies Evaluation Program (2019). *Definition of Low Impact Development*. Disponible à https://wiki.sustainabletechnologies.ca/wiki/Definition_of_Low_Impact_Development (consulté le 9 mars 2020).
- Sutton-Grier, A.E, Wowk, K. et Bamford, H. (2015). « Future of our coasts: The potential for natural and hybrid infrastructure to enhance the resilience of our coastal communities, economies and ecosystems ». *Environmental Science & Policy* **51** : 137–48.
- Sutton-Grier, A.E., Gittman, R.K., Arkema, K.K., Bennett, R.O., Benoit, J., Biltch, S., Burks-Copes, K.A., Colden, A., Dausman, A., DeAngelis, B.M., Hughes, A.R., Scyphers, S.B. et Grabowski, J.H. (2018). « Investing in Natural and Nature-Based Infrastructure: Building Better Along Our Coasts ». *Sustainability* **10**(2), 523; 11 p. Disponible à <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/2/523/htm> (consulté le 14 janvier 2020).
- TEEB — The Economics of Ecosystems and Biodiversity (s.d.). *Ecosystem Services*. Disponible à <http://www.teebweb.org/resources/ecosystem-services/> (consulté le 9 janvier 2020).
- Tittensor, D.P., Beger, M., Boerder, K., Boyce, D.G., Cavanagh, R.D., Cosanday-Godin, A., Crespo, G.O., Dunn, D.C., Ghiffary, W., Grant, S.M., Hannah, L., Halpin, P.N., Harfoot, M., Heaslip, S.G., Jeffery, N.W., Kingston, N., Lotze, H.K., McGowan, J., McLeod, E., McOwen, C.J., O’Leary, B.C., Schiller, L., Stanley, R.R.E., Westhead, M., Wilson, K.L. et Worm, B. (2019). « Integrating climate adaptation and biodiversity conservation in the global ocean ». *Science Advances* **5** : 1–15.
- TRCA – Office de protection de la nature de Toronto et de la région (2019). Page d’accueil de *Sustainable Technologies Evaluation Program*. Disponible à <https://sustainabletechnologies.ca/lid-slider/> (consulté le 8 février 2020).
- Turner, K., Badura, T. et Ferrini, S. (2019). « Natural capital accounting perspectives: A pragmatic way forward ». *Ecosystem Health and Sustainability* **5**(1) : 237–41.
- UICN – Union internationale pour la conservation de la nature (2016). *Congrès mondial de la nature 2016-RES-069-FR, Définition des solutions fondées sur la nature*. Disponible à https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2016_RES_069_FR.pdf (consulté le 21 décembre 2019).
- Vasseur, L., Thornbush, M. et Plante, S. (2017). « Climatic and Environmental Changes Affecting Communities in Atlantic Canada ». *Sustainability* **9**(8); 1293 : 10 p. Disponible à <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/8/1293/htm> (consulté le 18 janvier 2020).
- WBCSD — World Business Council for Sustainable Development (2016). *The business case for natural infrastructure*. Disponible à https://www.naturalinfrastructureforbusiness.org/wp-content/uploads/2016/02/WBCSD_BusinessCase_jan2016.pdf (consulté le 21 décembre 2019).
- Whittinghill, L.J., Rowe, D.B., Schutzki, R. et Cregg, B.M. (2014). « Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems ». *Landscape and Urban Planning* **123** : 41–48.
- Wild, T.C., Bernet, J.F., Westling, E.L. et Lerner, D.N. (2011). « Deculverting: reviewing the evidence on the ‘daylighting’ and restoration of culverted rivers ». *Water and Environment Journal* **25**(3) : 412–21.
- WWF Canada — Fonds mondial pour la nature (s.d.). Base de données des rapports sur les bassins versants. Disponible à <http://watershedreports.wwf.ca/fr/#canada/by/threat-overall/profile> (consulté le 18 janvier 2020).
- Yu, K. (2012). « Ecological infrastructure leads the way: The negative approach and landscape urbanism for smart preservation and smart growth »; p. 152–69 dans *Applied Urban Ecology: A Global Framework*, éd. M. Richter et U. Weiland. Oxford, Royaume-Uni : Blackwell.

ANNEXE : TERMINOLOGIE CONNEXE SUPPLÉMENTAIRE

La présente *annexe* décrit les principaux termes qui ont trait aux SFN et qui se recoupent avec elles. Les termes ont été divisés en deux groupes : (1) ressources, et (2) principes et pratiques.

Ressources

Ressources écologiques

Il s'agit d'un terme utilisé dans le contexte des initiatives municipales réussies en matière d'IN dans la ville de Gibsons, en Colombie-Britannique, et intégré dans les programmes de gestion des ressources de la collectivité¹³. Il est utilisé de manière interchangeable avec le terme ressources naturelles et le terme ressources naturelles municipales, et fait référence aux caractéristiques des écosystèmes et des paysages qui permettent d'offrir des services à la population. Bien que le terme ait été repris par certains défenseurs des infrastructures fondées sur la nature au Canada et ailleurs, son adoption à grande échelle a été déconseillée par les partenaires fondateurs de l'initiative Gibsons, car il met l'accent sur les résultats environnementaux plutôt que sur l'offre de services écosystémiques. Les SFN, y compris l'infrastructure verte et l'IN, cherchent surtout à atteindre les objectifs définis en matière d'offre de services tout en soutenant l'apport d'avantages connexes pour la biodiversité, l'environnement et le climat.

Ressources artificielles

Il s'agit d'un terme générique désignant les éléments d'infrastructure créés par l'humain. Dans cette vaste catégorie, il existe un ensemble d'éléments allant de l'infrastructure grise d'un côté, à l'infrastructure verte (comme les chaussées perméables, les toits verts et les murs végétaux) de l'autre. Les éléments techniques ou bâtis peuvent être conçus pour imiter de nombreuses fonctions des écosystèmes et des paysages, et ils peuvent être plus ou moins naturalisés selon des facteurs comme l'étendue et l'orientation de la gestion humaine, le passage du temps et les changements des conditions locales des écosystèmes. Ils constituent des ressources dans la mesure où leurs coûts et leurs avantages peuvent être soumis à une évaluation.

Ressources améliorées

Faisant partie des SFN en Amérique du Nord et en Europe, les ressources améliorées occupent un point médian sur l'ensemble des ressources représentant l'IN (éléments d'écosystème et de paysage préservés ou restaurés) et l'infrastructure verte bâtie qui produit des résultats comparables ou complémentaires. Pour illustrer les distinctions parfois très subtiles qui sont faites ici, la catégorie des ressources naturelles se compose des forêts, des terres humides, des rivières, des

¹³ Les projets pilotes de Gibsons, en Colombie-Britannique, supervisés par la Municipal Natural Assets Initiative (MNAI) et les partenaires fondateurs, dont la Fondation David Suzuki, fournissent certaines des meilleures données probantes disponibles de la bonne gestion locale des applications d'IN liées. Voir MNAI 2018.

ruisseaux, des lacs, des champs et des sols, et celle des ressources améliorées se compose des éléments d'infrastructure verte restaurés ou autrement construits par l'humain, comme les plantations stratégiques d'arbres urbains, les jardins de pluie, les noues végétalisés et les bassins d'eaux pluviales (MNAI, 2019).

Ressources naturelles municipales

Les ressources naturelles municipales sont les réserves de ressources naturelles et d'éléments d'écosystèmes qui sont (ou pourraient être) indispensables à une municipalité, à un district régional ou à une autre forme de gouvernement local et qui sont gérées par une telle entité pour assurer l'offre durable de services municipaux (MNAI, 2017). Au Canada, la gouvernance et la gestion des ressources naturelles se font généralement au niveau du bassin hydrographique, de la région ou de la localité, comme c'est la pratique courante pour les éléments d'infrastructure traditionnels. L'adoption de cette pratique reste toutefois limitée et des disparités considérables subsistent entre les provinces relativement à l'autorité conférée aux municipalités pour la gestion des ressources naturelles. Cela s'explique par le fait qu'au Canada, la législation habilitante de l'administration municipale ne confère pas explicitement l'autorité sur les pratiques de conservation de la nature. Bien que la désignation d'un élément comme ressource naturelle puisse aider à mettre en relief sa valeur en tant qu'infrastructure, les administrations locales doivent en fin de compte s'appuyer sur l'utilisation des termes de l'IN et de l'infrastructure verte pour démontrer que les services municipaux sont offerts grâce à des systèmes et des processus naturels.

Ressources naturelles

Parfois appelées actifs de capital naturel, les ressources naturelles décrivent les écosystèmes ou leurs composants (p. ex., les rives, les terres humides et les espaces verts) en fonction de leur valeur pour la société, notamment pour les avantages qu'ils procurent, comme le cycle nutritif, le drainage des eaux de pluie et l'atténuation des inondations. La nature fournit de nombreux services qui relèvent des autorités locales et des structures de gestion et qui peuvent être évalués et gérés pour garantir des résultats d'infrastructure continus et d'autres avantages. Étant donné que les services fournis par les paysages naturels et marins peuvent différer de ceux fournis par les éléments techniques ou bâtis, les ressources naturelles n'ont pas été historiquement traitées sur un pied d'égalité ou incluses dans les plans de gestion des ressources municipales (MNAI, 2017). La gouvernance et la gestion des ressources naturelles peuvent nécessiter une certaine collaboration, car plusieurs ressources traversent des propriétés privées ou empiètent sur celles-ci.

Lorsqu'elles sont intégrées avec succès dans les plans de gestion, les ressources naturelles peuvent être soumises à une évaluation qui consiste à estimer leur importance relative, leur valeur ou leur utilité pour les collectivités humaines, du point de vue qualitatif, quantitatif ou financier, ou selon une combinaison de ces éléments. Dans ce contexte, l'évaluation qualitative peut se baser sur les préférences de la population ou les contraintes liées aux ressources (c.-à-d. lorsque les indicateurs du marché ne s'appliquent pas ou n'existent pas), les approches quantitatives peuvent reposer sur un bilan des ressources, et l'évaluation financière tient compte de la valeur pécuniaire des produits et services découlant de la nature, qui est déterminée par le marché. Le calcul de la valeur

pécuniaire des avantages de l'IN peut être utile aux décideurs et au public (Guerry et al., 2015), bien qu'il soit difficile de déterminer le prix des avantages connexes. En même temps, comme la valeur de l'IN en tant que ressource municipale ou privée est renforcée par d'autres avantages que ceux de l'offre d'un seul service (p. ex., ses avantages tangibles et intangibles pour la population et la biodiversité), il est utile que les intervenants puissent modéliser et mesurer ces résultats et valeurs supplémentaires.

Jusqu'à présent, les efforts visant à évaluer l'IN et les SFN ont eu un succès mitigé en ce qui concerne la quantification de la valeur des avantages connexes et des coûts associés. La comparaison avec les résultats de l'infrastructure grise représente une façon de faire, et la méthode des coûts évités (c.-à-d. la mesure des coûts liés à l'infrastructure si la ressource naturelle était perdue et que les gouvernements devaient résoudre le problème en utilisant l'infrastructure grise) en représente une autre. Il est également courant de quantifier l'éventail des avantages sociaux liés à des valeurs économiques comparables (ce qu'on appelle le « triple résultat ») dans le cadre de l'analyse des coûts par rapport aux avantages.

Capital naturel

Souvent utilisé de manière interchangeable avec le terme ressources naturelles, le capital naturel est un autre terme qui désigne les réserves de ressources physiques et biologiques renouvelables et non renouvelables (p. ex., l'air, l'eau, les sols, les minéraux, les espèces végétales et animales, etc.) qui se combinent pour donner plusieurs avantages à la population (Natural Capital Coalition s. d., Chenoweth et al., 2018). Le concept repose sur une métaphore économique : l'idée que l'environnement naturel fournit de précieux biens (p. ex., le bois) ou services (p. ex., le cycle nutritif) qui, s'ils sont utilisés de manière durable, peuvent permettre aux collectivités humaines de s'épanouir.

Comptabilisation du capital naturel

La comptabilisation du capital naturel est un terme générique qui désigne les efforts visant à utiliser un cadre comptable pour systématiquement mesurer les réserves de capital naturel et produire des rapports sur le sujet (Turner et al., 2019). Ces efforts reposent sur le principe que les ressources naturelles sont importantes pour la société et fournissent des résultats d'infrastructure comparables aux ressources artificielles. Leur quantité, leur état et leur valeur devraient donc être gérés et suivis en ayant comme objectif à long terme de les intégrer pleinement dans le système de comptabilité nationale du pays. Il est normal que la comptabilisation du capital naturel englobe les réserves de ressources naturelles, tant biotiques (p. ex., les poissons et le bois) qu'abiotiques (p. ex., l'eau et les minéraux), les éléments des écosystèmes (p. ex., les forêts et les terres humides), les niveaux de biodiversité et les services écosystémiques.

Principes et pratiques

Biodiversité

La Convention sur la diversité biologique (CDB) des Nations Unies définit la biodiversité comme « la variabilité des organismes vivants de toute origine, y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes » (Nations Unies [ONU], 1992). Dans cette optique, la biodiversité englobe les variations des attributs génétiques, phénotypiques, phylogénétiques et fonctionnels, ainsi que les changements d'abondance et de répartition dans le temps et l'espace, au sein des espèces, des communautés biologiques et des écosystèmes et entre eux (IPBES, 2018).

La biodiversité est à la base des systèmes et des processus naturels : elle soutient la santé de la végétation et de la faune qui sont à l'origine des écosystèmes locaux (Société pour la nature et les parcs du Canada [SNAP], 2018), et sa préservation fait partie intégrante de la gestion de l'IN, de l'infrastructure verte et des SFN au sens large. Le Canada abrite une biodiversité importante à l'échelle mondiale, comme la forêt boréale, des millions d'oiseaux migrateurs et des espèces animales, entre autres le caribou et l'ours polaire, qui sont particulièrement menacées par les répercussions des changements climatiques (Environnement et Changement climatique Canada [ECCC], 2019). Les effets des changements climatiques ont et continueront d'avoir des répercussions sur l'état et la résilience en général de la biodiversité.

Biomimétisme

Dans le contexte des SFN, le biomimétisme fait référence à un principe de conception dans lequel l'infrastructure verte est conçue pour imiter de nombreuses caractéristiques et fonctions des systèmes et processus naturels. Le concept s'est fait connaître avec la publication en 1997 du livre *Biomimétisme : quand la nature inspire des innovations durables* de la biologiste américaine Janine Benyus. Les travaux de base dans ce domaine mettent l'accent sur deux aspects principaux de la bonne adaptation des systèmes naturels et des preuves qu'ils apportent sur la conception supérieure des systèmes humains (Arsenault et Sood, 2007). Premièrement, les caractéristiques présentes dans la nature sont appropriées aux conditions de l'écosystème local et sont donc capables de maintenir la diversité des éléments nécessaires pour améliorer leurs chances de survie. Deuxièmement, elles font preuve de résilience au fil du temps : leur succès s'explique par leur durabilité, et leur durabilité, par leur succès.

Avantages connexes

Il s'agit des résultats positifs obtenus par l'IN au-delà d'une fonction d'infrastructure particulière. Ces avantages sont à la fois quantitatifs et qualitatifs. Certains sont des biens écosystémiques, et d'autres peuvent être classés formellement comme des services écosystémiques, qui préservent l'environnement, l'économie et la santé humaine à différents degrés.

Conception avec la nature

Il s'agit d'un concept qui remonte aux origines de l'architecture du paysage et qui, depuis les années 1960, est au cœur des mouvements d'urbanisme durable aux États-Unis et en Europe. Aujourd'hui, ce concept persiste dans des discours sur la conception et la planification qui mettent l'accent sur la création d'espaces urbains verts et sur les aspects de la continuité entre le développement et la nature (Douglas, 2019). Dans son livre influent, Farr (2011) décrit la conception avec la nature comme un urbanisme fondé sur une combinaison de transports actifs, de bâtiments écoénergétiques et d'éléments d'IV à haute efficacité. L'infrastructure verte fait toujours partie intégrante de la planification et de la conception urbaines durables et peut inclure des applications fondées sur la nature pour l'embellissement du patrimoine naturel, le drainage et la gestion fondés sur la nature des débits d'eaux pluviales, ainsi que l'élimination du pavage inutile.

Infrastructure écologique

Il s'agit d'un concept lié aux discours sur le développement durable dans les années 1980 et 1990, en particulier comme principe directeur pour la planification de la conservation dans les villes dites « écologiques »¹⁴. L'infrastructure écologique fait référence aux éléments structurels naturels ou semi-naturels des écosystèmes et des paysages qui sont importants pour l'offre de services écosystémiques, et est donc parfois décrite comme semblable à l'infrastructure verte. Au tournant du millénaire, le terme était lié à des applications des écosystèmes et des paysages comme les corridors verts, les réseaux écologiques, les corridors naturels, les corridors de conservation, les modules à usages multiples et d'autres zones d'habitat naturel (da Silva et Wheeler, 2017) qui favorisent des processus comme le mouvement, la reproduction et la pollinisation des espèces. Ces applications englobent la plupart des caractéristiques naturelles qui procurent des avantages aux personnes vivant dans les villes. Plus récemment, le terme « infrastructure écologique » a été utilisé de manière interchangeable avec le terme « IN » pour décrire une combinaison de structures et de répartitions spatiales qui préservent les écosystèmes et les paysages, fournissent des services écosystémiques durables et protègent le patrimoine culturel et les activités récréatives (Yu, 2012).

Adaptation fondée sur les écosystèmes (AfE)

L'AfE est définie comme « l'utilisation durable de la biodiversité et des services écosystémiques dans le cadre d'une stratégie d'adaptation globale visant à aider la population à s'adapter aux effets néfastes des changements climatiques qui peut être rentable et générer des avantages connexes sociaux, économiques et culturels et contribuer à la conservation de la biodiversité [traduction libre] » (CDB, 2009). Dans cet usage, les SFN ou les SCN appliquées à l'adaptation au climat sont toutes deux des sous-ensembles de l'AfE, une approche stratégique visant à garantir que la résilience climatique des collectivités humaines se renforce mutuellement avec l'utilisation durable des ressources et la protection de la diversité biologique.

¹⁴ Des villes de ce type ont été aménagées à Dongtan, en Chine, et à Masdar, aux Émirats arabes unis, à partir des années 2005 et 2006, et ont été accueillies avec enthousiasme par de nombreux conservacionnistes et urbanistes du monde entier.

Écosystème

Il s'agit d'un complexe dynamique de communautés de plantes, d'animaux et de microorganismes ainsi que de l'environnement non vivant qui interagissent en tant qu'unité fonctionnelle (EM, 2005). Un écosystème peut être un environnement intact, comme une forêt naturelle, un paysage qui fait l'objet de modes d'utilisation humaine mixtes, ou une zone intensivement modifiée et gérée par l'humain, comme les terres agricoles.

Biens écosystémiques

Les biens écosystémiques comprennent tous les produits et matériaux tangibles découlant de l'environnement naturel, comme les aliments, l'eau, les fibres et les ingrédients pharmaceutiques. Ils sont généralement mesurés en quantités physiques (p. ex., en nombre, en volume, en poids ou en débit) produites par un écosystème au cours d'une période donnée (p. ex., la quantité d'eau produite par seconde, ou les pieds-planche de bois coupé au cours d'un cycle de 40 ans), et peuvent nécessiter différents niveaux d'intervention humaine pour être maintenus (Molnar et al., 2012).

Services écosystémiques (SE)

Les services écosystémiques (SE) sont les conditions et les processus par lesquels les écosystèmes naturels (et les espèces qui les composent) assurent un ensemble d'avantages directs ou indirects pour la population (Molnar et al., 2012). Ils comprennent les avantages résultant des processus des écosystèmes (p. ex., la protection contre les inondations, le cycle nutritif, la filtration de l'eau et la régulation du climat) ainsi que les avantages socioculturels (p. ex., les loisirs, l'esthétique, le patrimoine culturel et les pratiques culturelles).

Un certain nombre d'organismes dans le monde entier participent activement à la normalisation des concepts, des classifications et des règles nécessaires à l'évaluation des ressources naturelles et des services qu'elles fournissent. Pour ces organismes, la nature est composée de ressources dont la valeur est comparable aux éléments d'infrastructure grise, ce qui peut constituer une justification adéquate pour la mise en œuvre d'une IN dans de nombreux cas.

Le modèle de classification¹⁵ le plus connu distingue quatre types principaux de SE (TEEB s. d.; PNUE, 2014) :

- *Les services d'approvisionnement* qui apportent des contributions matérielles et énergétiques directes à la population, comme le poisson, la biomasse ou les plantes utilisées dans la fabrication de produits pharmaceutiques

¹⁵ Parmi les autres exemples de protocoles modernes de classification des SE, on peut citer la classification internationale commune des services écosystémiques (Common International Classification of Ecosystem Services [CICES]) élaborée par l'Agence européenne pour l'environnement (pour faciliter l'inclusion des services écosystémiques dans le système de comptabilité nationale), ainsi que le système final de classification des biens et services écosystémiques (Final Ecosystem Goods and Services Classification System [FEGS-CS]) et le système national de classification des services écosystémiques (National Ecosystem Services Classification System [NESCS]), tous deux élaborés par l'US EPA.

- *Les services de régulation* qui résultent de la capacité des écosystèmes à réguler les cycles écologiques, hydrologiques et biochimiques, par exemple lorsque les terres humides absorbent, filtrent et purifient l'eau de pluie, séquestrent le carbone ou aident à réguler la température locale
- *Les services de soutien ou d'habitat* qui fournissent un habitat à diverses espèces de plantes et d'animaux, préservent la diversité génétique et soutiennent des processus comme la pollinisation et la migration des oiseaux, des poissons et des insectes
- *Les services culturels* qui sont fournis par les écosystèmes et les paysages aux collectivités humaines sous forme d'avantages récréatifs, intellectuels et symboliques pour la santé et le bien-être, la connaissance et la spiritualité.

De nombreux SE figurent parmi les principaux avantages de l'adoption de solutions d'IN, et d'autres représentent de précieux avantages connexes.

Habitat

Un habitat est un lieu ou un type de site où une population ou un organisme est naturellement présent (IPBES, 2018). Le terme est également utilisé pour désigner les attributs environnementaux dont les espèces résidentes ont besoin directement ou indirectement pour compléter leur cycle de vie, c'est-à-dire se reproduire, hiberner, croître, migrer et se nourrir.

Système de patrimoine naturel

Un système de patrimoine naturel est un système composé de caractéristiques et de zones de patrimoine naturel, ainsi que de liens destinés à assurer la connectivité (de la région ou du site) et à soutenir les processus naturels qui sont nécessaires pour maintenir la diversité biologique et géologique, les fonctions naturelles, les populations viables d'espèces indigènes et les écosystèmes (Gouvernement de l'Ontario, 2014). Ces systèmes peuvent comprendre des zones désignées du patrimoine naturel, des parcs fédéraux et provinciaux, des réserves de conservation et d'autres éléments du patrimoine naturel, des terres qui ont été restaurées ou qui peuvent être restaurées à l'état naturel, des zones qui soutiennent les fonctions hydrologiques (p. ex., les réseaux de lacs) et des paysages fonctionnels qui assurent la poursuite des fonctions écologiques. Le concept apporte une contribution importante à la terminologie de l'IN en soulignant le rôle des systèmes naturels à grande échelle et des éléments à l'échelle du paysage (comme les corridors naturels et les corridors verts).

Corridors naturels

Ce terme géographique est bien établi dans les documents sur les SFN et est parfois utilisé de manière interchangeable avec le terme corridors verts pour décrire les liens d'habitat qui facilitent le mouvement de la faune et assurent la continuité globale des collectivités humaines avec l'environnement naturel ou un système de patrimoine naturel plus large (di Marino et Lapintie, 2017; Koc et al., 2017). Il s'agit d'un terme général désignant les espaces naturels qui relient les écosystèmes, les paysages et les habitats d'espèces : les systèmes de bassins

hydrographiques, d'escarpements et de ravins, ainsi que les plans d'eau interconnectés comme les systèmes lacustres. Les corridors naturels offrent des avantages pour la santé et le bien-être de la population, des avantages socioculturels connexes, comme les espaces permettant aux individus et aux familles de participer à des activités récréatives dans la nature, ainsi que des voies de transport essentielles à l'économie locale et régionale.