COMMISSION
DE COOPÉRATION
ENVIRONNEMENTALE

Solutions fondées sur la nature pour réduire les risques d'inondation côtière

Suivi de l'efficacité

Série de documents d'orientation :

Avantages connexes

Adaptation des infrastructures existantes

Suivi de l'efficacité : méthodes et indicateurs proposés

Citer comme suit :

> CCE. 2025. *Suivi de l'efficacité - Solutions fondées sur la nature pour gérer les risques d'inondation côtière*. Montréal, Canada, Commission de coopération environnementale, viii+39 p.

La présente publication a été préparée par DHI Water and Environment Inc. pour le Secrétariat de la Commission de coopération environnementale (CCE). La responsabilité de l'information que contient ce document incombe aux auteurs, et cette information ne reflète pas nécessairement les vues des gouvernements du Canada, du Mexique ou des États-Unis.

Le présent document peut être reproduit en tout ou en partie sans le consentement préalable du Secrétariat de la CCE, à condition que ce soit à des fins éducatives et non lucratives et que la source soit mentionnée. La CCE souhaiterait néanmoins recevoir un exemplaire de toute publication ou de tout écrit dont le présent document a servi de source.

Sauf indication contraire, le contenu de cette publication est protégé en vertu d'une licence Creative Common : Paternité – Pas d'utilisation commerciale – Pas de modification

© Commission de coopération environnementale, 2025

ISBN : 978-2-89700-360-9

Available in English – ISBN : 978-2-89700-359-3

Disponible en español – ISBN : 978-2-89700-361-6

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2025

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives Canada, 2025

Renseignements sur la publication

Type de publication : document de projet

Date de parution : avril 2025

Langue d'origine : anglais

Processus d'examen et d'assurance de la qualité :
Ultime examen par les parties : octobre, 2024

QA379

Projet : Plan opérationnel pour 2021/Solutions fondées sur la nature pour lutter contre les inondations dans les villes côtières

Renseignements supplémentaires :

Commission de coopération environnementale
1001, boulevard Robert-Bourassa, bureau 1620
Montréal (Québec) H3B 4L4
Canada
Tél. : 514 350-4300 Téléc. : 438 701-1434
info@cec.org/www.cec.org

Table des matières

Résumé ..... **iii**

Sommaire ..... **iii**

Préface ..... **vii**

Remerciements ..... **viii**

1 Introduction **1**
1.1 Objectifs et portée 2
1.2 Valeur du suivi des solutions fondées sur la nature 2
1.3 Lacunes dans les données existantes et obstacles au suivi 3
1.4 Lectures complémentaires 5

2 Processus de suivi **7**
2.1 Étapes du projet pour mettre en œuvre des SFN 7
2.2 Étapes de planification pour le suivi des SFN 7
2.3 Étapes du suivi 8
2.4 Relation avec la gestion adaptative 11

3 Aspects administratifs du plan de suivi **13**
3.1 Cadrage 13
3.2 Rôles et responsabilités 14
3.2.1 Qui devrait participer au projet? *14*
3.3 Financement 17
3.4 Accès aux données, stockage et diffusion 20

4 Aspects techniques d'un plan de suivi **22**
4.1 Indicateurs et mesures 22
4.2 Méthodes et techniques 25
4.3 Échelle physique et emplacements 26
4.4 Échelle temporelle et fréquence 26
4.5 Analyse des données 27

5 Efficacité du suivi **28**
5.1 Incidence de l'emplacement des sites 28
5.2 Effets des changements climatiques 28
5.3 Comparaisons avec les infrastructures conventionnelles 29

6 Possibilités et orientations futures **31**

7 Conclusions **34**

Bibliographie **35**

Liste des figures

Figure 1 – Cadre d'élaboration d'un projet SFN 7
Figure 2 – Mesures de l'élévation 10
Figure 3 – Photos aériennes de Swan Island en 2017 (avant les travaux) et en 2019, 2020 et 2021 (après les travaux) 10
Figure 4 – Modèle conceptuel des données de suivi d'élévation de la plage qui alimentent les décisions en matière de gestion adaptative 11
Figure 5 – Aménagement d'une dune après la construction (gauche) et après deux saisons d'érosion hivernale (droite) 12
Figure 6 – Théorie du changement pour les projets de GRI 13
Figure 7 – Nuage de mots illustrant les réponses des spécialistes ayant participé à la série d'ateliers de la CCE sur les SFN, lorsqu'il leur a été demandé qui devrait participer à la planification et à la mise en œuvre du suivi 15
Figure 8 – Conception du projet de la rivière Onslow-North 16
Figure 9 – Exemples de sources de financement potentielles pour le suivi et la mise en œuvre des SFN 17
Figure 10 – Structure du programme de fiducie 19
Figure 11 – Stations CoastSnap 21
Figure 12 – Cadre de surveillance 24
Figure 13 – Modèle conceptuel de la performance variable au cours de la vie utile de deux solutions de GRI 30

Résumé

La gestion des risques d'inondation est une source de préoccupation majeure dans les zones urbaines et périurbaines côtières, en particulier à cause de l'élévation du niveau de la mer causée par les changements climatiques. Les solutions fondées sur la nature (SFN) permettent d'atteindre plusieurs des objectifs de gestion des risques d'inondation, tout en générant des avantages connexes sur le plan social, économique et environnemental. Or, l'incertitude qui entoure leur efficacité limite l'adoption et la mise en œuvre des SFN. Pour promouvoir leur mise en œuvre, l'effet des SFN doit être évalué au moyen d'un processus d'amélioration continue et conçu pour approfondir les connaissances fondamentales ou en générer de nouvelles, et officialiser leur utilisation dans les instruments de politique. Le suivi des SFN en vue de prouver les réussites ainsi que tout enseignement tiré est l'un des outils dont peuvent se servir les personnes qui prennent les décisions pour gérer et lever les incertitudes que suscitent les SFN.

Le présent document encourage les collectivités côtières du Canada, du Mexique et des États-Unis à adopter les SFN et fournit des renseignements et conseils pratiques aux personnes qui prennent les décisions sur le suivi des SFN. Outre le processus de suivi global, les aspects administratifs et techniques de l'élaboration d'un plan de suivi y sont décrits. L'information provenant de documents de référence et de lignes directrices clés est aussi résumée. Des études de cas servent à illustrer les applications pratiques du processus de suivi. L'incidence des changements climatiques et de l'emplacement des sites sur le suivi est aussi résumée, et les différences entre le suivi des infrastructures grises (infrastructures matérielles) conventionnelles et les SFN sont brièvement examinées. Enfin, comme important point à retenir, le rapport fournit une liste des occasions possibles d'aider les personnes qui prennent les décisions à combler les lacunes et à écarter les obstacles relatifs au suivi des SFN.

Sommaire

Les collectivités côtières au Canada, au Mexique et aux États-Unis sont exposées aux risques côtiers, notamment les inondations et l'érosion. Il est prévu que la densification des populations près des littoraux et que les effets des changements climatiques augmenteront les risques d'inondation côtière. Les solutions fondées sur la nature (SFN) offrent une solution de rechange aux méthodes conventionnelles de gestion des risques d'inondation (GRI) – digues, levées et ouvrages longitudinaux, par exemple. Ces méthodes s'appuient généralement sur des structures et des matériaux « durs » et pourraient dévaluer les avantages connexes sur le plan environnemental, social et économique. En revanche, les SFN utilisent des matériaux et des processus naturels ou fondés sur la nature qui offrent de surcroît des avantages connexes sur le plan environnemental, social et économique. Le suivi est un volet essentiel de la mise en œuvre des SFN qui vise divers objectifs et présente de nombreux avantages potentiels :

- évaluation de la performance de la GRI;
- évaluation des avantages connexes;
- évaluation des effets imprévus;
- informer une gestion adaptative;
- respect des exigences du projet (p. ex., en matière de financement);
- échange de connaissances (p. ex., recherche et élaboration de directives);
- accroître la transparence et l'adhésion du public;
- faciliter la comparaison des solutions de GRI;
- renforcement des capacités et création d'emplois.

Malgré ces nombreux avantages, plusieurs obstacles et écarts des savoirs nuisent au suivi des SFN; ces obstacles peuvent être répartis en quatre grandes catégories :

- obstacles sociaux/comportementaux (p. ex., perception du suivi en tant que dépense inutile);
- obstacles techniques (p. ex., manque de professionnels compétents ou diffusion inadéquate des données);
- obstacles environnementaux (p. ex., variabilité à long terme des systèmes naturels);
- obstacles institutionnels (p. ex., manque de financement ou obstacles réglementaires).

Le présent document vise à aider les personnes qui prennent les décisions et les spécialistes de la GRI dans la mise en œuvre et le suivi global des SFN. Plus précisément, il vise à écarter les obstacles et à combler les écarts des savoirs connus, à résumer l'information existante et à fournir des conseils pratiques pour planifier, évaluer et mettre en œuvre des programmes utiles de suivi des SFN. Il ne s'agit ni d'un guide technique détaillé ni d'un examen exhaustif d'une documentation de plus en plus abondante sur les SFN.

Processus de suivi

Les activités de suivi et l'élaboration d'un plan de gestion adaptative doivent commencer aux étapes initiales (cadrage) du projet SFN. Le programme de suivi doit être détaillé et rigoureux, mais assez souple pour permettre toute adaptation jugée nécessaire durant le cycle de vie du projet. Les principales étapes de ce programme s'inspirent des étapes de mise en œuvre des SFN en général :

1. Cadrage
2. Planification
3. Conception
4. Mise en œuvre
5. Production de rapports
6. Évaluation

Les activités de suivi doivent préférablement se dérouler durant le cycle de vie complet du projet et comprendre la collecte de données historiques, de référence, de conformité et opérationnelles. La collecte de données opérationnelles est particulièrement importante pour la gestion adaptative des SFN pour assurer la performance de la GRI et confirmer la réalisation des avantages connexes. Par conséquent, il doit exister un lien direct entre les paramètres et mesures de suivi, et les objectifs de performance du projet. En outre, les données opérationnelles à long terme pourront fournir des données et des connaissances pour d'autres projets.

La gestion adaptative est essentielle au succès à long terme des SFN et permet d'améliorer continuellement le projet SFN dans son ensemble ainsi que le programme de suivi lui-même. Le suivi est essentiel pour obtenir les données nécessaires à l'évaluation de la performance des SFN et déterminer si des interventions s'imposent.

Aspects administratifs et techniques

De nombreux aspects administratifs et techniques doivent être pris en compte pour élaborer et mettre en œuvre un plan de suivi. Les aspects administratifs comprennent des tâches comme le cadrage du projet, la définition des rôles et responsabilités et de l'accès aux données et leur diffusion, et la détermination de sources de financement. Les aspects techniques comprennent les activités de planification, comme l'établissement d'indicateurs, de mesures et de méthodes de suivi, des techniques de suivi, la détermination d'échelles physiques et temporelles nécessaires pour le suivi, et l'élaboration d'un programme d'analyse et de présentation des données. Le présent rapport aborde ces aspects en détail, et nous les résumons brièvement ci-dessous :

- Cadrage : à ce stade, l'équipe de projet doit déterminer les besoins, les priorités et les concessions à faire, ainsi qu'une théorie du changement.

- Rôles et responsabilités : il importe de désigner les membres de l'équipe et les parties prenantes dès le début du processus de planification. Les parties prenantes et organisations à inclure dans l'élaboration du plan de suivi peuvent comprendre (entre autres) : les membres de la communauté concernés, les leaders autochtones, des groupes communautaires locaux, des organismes sans but lucratif, de personnes représentant le gouvernement, le milieu universitaire et des membres de l'industrie.
- Financement : le financement est l'un des principaux facteurs limitants des projets de suivi. Il est donc essentiel de déterminer dès le départ les besoins de financement et d'élaborer une stratégie de financement. Les sources de financement potentielles comprennent les institutions financières internationales, les institutions gouvernementales, les organismes sans but lucratif et les sources privées.
- Indicateurs et mesures : les indicateurs de performance relatifs aux SFN doivent inclure la performance technique (p. ex., la gestion des risques d'inondation), ainsi que des indicateurs écologiques, sociaux et économiques. Les indicateurs sélectionnés doivent être mesurables, réalisables et abordables, et satisfaire aux contraintes de disponibilité des ressources. Des mesures pour définir les cibles (ou objectifs) du projet doivent être établies, y compris des mesures qui indiqueront quand une intervention s'impose.
- Méthodes et techniques : les mesures peuvent être directes ou indirectes et fournir des mesures d'évaluation qualitatives, semi-quantitatives ou quantitatives. Le document d'orientation complémentaire intitulé *Suivi de l'efficacité : méthodes et indicateurs proposés* propose et décrit une méthode et des indicateurs normalisés.
- Échelle physique et emplacements : l'échelle physique du programme global de suivi doit être adaptée pour chacun des projets selon l'ampleur de l'intervention, les objectifs et incertitudes du projet, l'ampleur de l'effet attendu et le financement alloué au suivi.
- Échelle temporelle et fréquence : les données de suivi peuvent être collectées selon quatre fréquences caractéristiques : collecte continue, à la demande, ponctuelle ou périodique. La fréquence et l'échelle temporelle (durée) du suivi doivent aussi être modifiées en fonction du projet de manière à satisfaire aux besoins globaux du projet (par exemple, les contraintes de financement et les caractéristiques physiques de la zone), ce qui inclut le plan de gestion adaptative.
- Analyse des données : les procédures d'analyse des données diffèrent selon le type de donnée de suivi collectée. Quoi qu'il en soit, la mise en place des procédures d'assurance et de contrôle de la qualité est essentielle tôt dans l'élaboration du plan de suivi. Ces procédures doivent inclure le stockage de l'ensemble de l'information et des métadonnées pertinentes, ainsi que documenter toutes les formes de maniement des données.
- Accès aux données et diffusion : il faut prendre en considération l'accès aux données et leur diffusion dès les étapes de cadrage et de planification du programme de suivi. Dans la mesure du possible, les données doivent être publiées dans des formats accessibles au plus grand nombre. Il existe de nombreuses façons de présenter et de diffuser les données et résultats : articles scientifiques, rapports, présentations lors de conférences, webinaires, médias sociaux, portails de données et entrevues, entre autres.

Efficacité du suivi des SFN en fonction de divers sites et des changements climatiques

Des conditions environnementales et de site variables, ainsi que l'évolution des conditions climatiques peuvent influer sur la qualité et la fiabilité des résultats du suivi. Les caractéristiques des sites susceptibles de réduire l'efficacité du suivi peuvent inclure des fenêtres maréométriques ou un nombre limité d'heures d'éclairement, une croissance ou une couverture excessive de la végétation, la couverture de glace, une accumulation de débris, des dommages causés par les tempêtes, le vandalisme touchant l'équipement, une proximité limitée des ressources (p. ex., dans les zones éloignées), et l'accès général au site. Les changements climatiques peuvent également réduire l'efficacité du programme de suivi en nuisant au fonctionnement de l'équipement et aux techniques de suivi, et en

modifiant les conditions de base et cibles des indicateurs de performance. Le suivi est essentiel pour comprendre pourquoi et comment les conditions propres au site changent, et permettra de mieux comprendre les effets des changements climatiques pour éclairer les interventions futures.

Une approche de gestion adaptative pluriannuelle du suivi est recommandée, combinée à une enquête sur les effets potentiels des changements climatiques, afin de faciliter la gestion des effets des changements climatiques. Ce plan à long terme doit chercher avant tout à établir des jalons et à déterminer des moments charnières où il faudra peut-être revoir et modifier le plan de suivi, ou encore réévaluer les objectifs de performance et les conditions de base.

Possibilités et initiatives futures

Pour combler les lacunes dans les données et écarter les obstacles connus, le présent rapport décrit en détail les possibilités et les initiatives futures que pourraient exploiter les personnes qui prennent les décisions. En particulier, la création de voies de financement additionnelles permanentes pour le suivi et la gestion adaptative à long terme serait particulièrement efficace pour lever les obstacles à la mise en œuvre. D'autres possibilités clés sont résumées brièvement ci-dessous :

- Élaborer ou reconnaître des normes et lignes directrices techniques particulières pour suivre l'utilisation de SFN.
- Préparer des séances d'information publiques et du matériel accessible sur le suivi et la gestion adaptative.
- Renforcer (à l'aide de programmes de formation) les capacités techniques des membres des collectivités locales et des spécialistes, notamment en ce qui touche les pratiques de suivi à distance.
- Établir une communauté de pratique afin d'encourager l'échange de connaissances.
- Assurer l'accessibilité et la centralisation des données historiques, actuelles et futures, ainsi que des études de cas publiques dans un lieu de référence.
- Accentuer le suivi, la gestion adaptative et la diffusion publique des données (ou les rendre obligatoires) dans les lignes directrices, les exigences en matière de financement, les permis, les demandes d'autorisation et de propositions.
- Simplifier les processus de délivrance de permis (c'est-à-dire fournir des processus accélérés) pour la construction, le suivi et la gestion adaptative des SFN.
- Créer des voies de financement additionnelles pour les projets qui prévoient un suivi, l'analyse et la diffusion des données et la gestion adaptative à long terme.

Préface

La Commission de coopération environnementale (CCE) est une organisation trilatérale qui facilite la coopération entre le Canada, Mexique et les États-Unis en vue de conserver, de protéger et d'améliorer l'environnement nord-américain. En 2021, la CCE a lancé un projet pour guider la mise en œuvre plus vaste des solutions fondées sur la nature (SFN) en vue de gérer les risques d'inondation (GRI) dans les collectivités côtières d'Amérique du Nord. Ce projet comprend les trois grandes étapes suivantes :

1. **Une série d'ateliers intersectoriels** qui jette les bases d'une communauté de pratique nord-américaine, réunit des spécialistes pour déterminer les besoins et possibilités, et cerne les obstacles à la mise en œuvre des SFN.
2. **Un ensemble de documents d'orientation** qui comble l'écart des savoirs, exploite les occasions relevées dans le cadre de la série d'ateliers et oriente les pratiques exemplaires de mise en œuvre des SFN.
3. **Des webinaires** qui accroissent l'adoption et l'utilisation des documents d'orientation.

Durant la première phase du projet, DHI Water and Environment Inc. (DHI) a préparé et animé la série d'ateliers. Celle-ci comprenait sept séances réparties sur cinq semaines en mai et juin 2022. Ces séances portaient sur les sujets suivants :

- 1A et 1B : avantages connexes des SFN
- 2A et 2B : modernisation des infrastructures existantes à l'aide de SFN
- 3A et 3B : suivi de l'efficacité des SFN
- 4 : résumé de l'atelier

La série d'ateliers a réuni 95 spécialistes, qui représentaient le milieu universitaire, le secteur privé, les gouvernements et les organisations non gouvernementales (ONG) de toute l'Amérique du Nord. Afin de susciter un sentiment de communauté, étoffer des idées, recueillir des commentaires et cerner les lacunes et les occasions, les ateliers comprenaient les activités de groupe suivantes : des discussions sur six études de cas différentes, quatre ensembles d'activités collaboratives en ligne et deux séries de questions interactives. Le taux de participation et les idées présentées par des personnes aux expériences et profils divers ont permis de jeter de solides bases pour établir une communauté de pratique et élaborer des documents d'orientation consacrés aux SFN en Amérique du Nord.

La deuxième phase du projet consistait à combler les écarts des savoirs cernés durant les ateliers grâce à l'élaboration et à la publication d'une série de documents d'orientation sur les SFN dans un contexte de zones urbaines et périurbaines en Amérique du Nord. Le présent document fait partie d'une série de documents d'orientation. Cette série est à consulter dans son ensemble et comprend les documents suivants :

- Avantages connexes (le présent document)
- Adaptation des infrastructures existantes
- Suivi de l'efficacité
- Suivi de l'efficacité : méthodes et indicateurs proposés

Remerciements

Nous remercions toutes les personnes qui ont participé à divers titres à la série d'ateliers de la CCE consacrés aux solutions fondées sur la nature pour gérer les risques d'inondation côtière dans les collectivités d'Amérique du Nord.

Le présent rapport a été préparé par les personnes suivantes :

- Aline Kaji, scientifique spécialiste des côtes, DHI
- Jessica Wilson, gestionnaire de projet et ingénieure des travaux maritimes, DHI
- Denise Devotta, scientifique de l'environnement, DHI
- Christian M. Appendini, conseiller externe, DHI et professeur à l'Université nationale autonome du Mexique (UNAM)
- Danker Kolijn, responsable, Solutions marines et côtières (Amériques), DHI
- Tom Foster, vice-président, Solutions marines et côtières (Amériques et Pacifique), DHI

L'Université Saint Mary's (SMU) et CB Wetlands and Environmental Specialists Inc. (CBWES) nous ont généreusement soumis d'autres idées et ont revu nos travaux. Nous remercions tout particulièrement :

- Danika Van Proosdij, professeure au Département de géographie et d'études environnementales et directrice, Adaptations, Centre for Nature-Based Solutions (TCA), SMU
- Jennie Graham, vice-présidente et spécialiste principale de la restauration, CBWES

Nous remercions tout spécialement le comité directeur de la CCE, qui nous a prodigué de précieux conseils tout au long du projet :

- John Sommerville et Mary-Ann Wilson, Ressources naturelles Canada
- Laurence Forget-Dionne et Catherine Lafleur, Infrastructure Canada
- Enda Murphy, Conseil national de recherches du Canada
- Gloria Cuevas Guillaumin et Martha Niño Sulkowska, *Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales* (SEMARNAT, ministère de l'Environnement et des Ressources naturelles)
- Pedro Joaquín Gutiérrez et Maxime Le Bail, *Procuraduría Federal de Protección al Ambiente* (PROFEPA, Bureau du procureur fédéral chargé de la protection de l'environnement)
- Leonel Álvarez Balderas, Isabel Selene Benítez Ávila et Juan Domingo Izabal Martínez, *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático* (INECC, Institut national de l'écologie et des changements climatiques)
- Trisha Bergmann, *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, Administration océanique et atmosphérique nationale)
- Julien Katchinoff, *United States Department of State* (département d'État des États-Unis)

1 Introduction

Les infrastructures de gestion des risques d'inondation (GRI) sont utilisées partout au Canada, au Mexique et aux États-Unis pour protéger les zones urbaines et rurales contre les inondations et l'érosion. La défaillance de ces infrastructures pourrait être catastrophique. Par exemple, pendant l'ouragan Katrina en 2005, le système de digues a lâché à La Nouvelle-Orléans (États-Unis). Cette défaillance a entraîné des inondations et des dommages généralisés. Plus de 1 100 personnes ont perdu la vie, plus de 400 000 ont été déplacées et les dégâts matériels se sont chiffrés en milliards de dollars (ASCE 2007). Les risques d'inondations côtières devraient encore augmenter en Amérique du Nord au cours des prochaines décennies, étant donné les densités de population à la hausse près du littoral et les effets des changements climatiques (Bush et Lemmen, 2019 ; EPA, 2017; INECC, 2019).

Les infrastructures de GRI existantes se fondent en grande partie sur des méthodes structurales, comme les digues, levées et ouvrages longitudinaux. Ces méthodes sont utilisées depuis fort longtemps et elles figurent amplement dans la littérature, les lignes directrices et les normes scientifiques. Étant donné leur longue histoire et l'abondance de documentation sur leur conception et leur performance, le public fait confiance à ces techniques et croit qu'elles produiront les résultats escomptés. En revanche, les solutions fondées sur la nature (SFN) s'appuient sur des matériaux et des processus naturels ou sur des caractéristiques fondées sur la nature (hybrides). Elles combinent des éléments naturels et structuraux pour assurer la gestion des risques d'inondation, et offrent en plus des avantages connexes sur le plan social, environnemental et économique (Bridges et coll., 2021b; Tien et coll., 2020). Il est complexe de travailler avec les processus naturels, et le recours aux SFN engendre toutes sortes de nouveaux défis sur le plan de la conception, du suivi et de la gestion. Malgré des progrès marquants qui ont été réalisés récemment, l'élaboration des directives et normes de conception progresse toujours (par exemple, Bridges et coll., 2021b; Doswald et coll., 2021).

L'incertitude quant à l'efficacité des SFN limite leur adoption et mise en œuvre, en particulier dans les contextes suivants :

- les événements extrêmes, comme les violentes tempêtes, les ouragans ou les inondations graves;
- les environnements physiques divers qui ne permettent pas nécessairement une utilisation standard des SFN;
- la prise en compte des variations temporelles de la performance durant l'année;
- les changements climatiques.

Une gestion adaptative et un suivi efficaces sont essentiels pour lever ces incertitudes.

La gestion adaptative est une approche structurée et itérative qui permet aux utilisateurs de réviser continuellement les mesures de gestion (telles que l'entretien) pour tenir compte des conditions changeantes et de la performance variable des projets (Bridges et coll., 2021b). La gestion adaptative est un thème intégral et transversal relativement à la mise en œuvre des SFN (Bridges et coll., 2021b; Silva Zuniga et coll., 2020; Banque mondiale, 2017). Un suivi régulier et à long terme constitue le fondement d'une gestion adaptative efficace et de la mise en œuvre future des SFN.

Le présent document encourage les collectivités côtières à adopter les SFN en fournissant aux responsables des renseignements pratiques et des outils sur les avantages connexes des SFN, et en abordant plusieurs lacunes dans les données et obstacles connus. Il fait partie d'une série de documents préparée par DHI Water and Environment Inc. (DHI) pour le compte de la Commission de coopération environnementale (CCE). Cette série est à consulter dans son ensemble pour soutenir la mise en œuvre des SFN pour gérer les risques d'inondation côtière en Amérique du Nord. Ces documents portent sur les thèmes suivants :

- Avantages connexes
- Adaptation des infrastructures existantes
- Suivi de l'efficacité (le présent document)
- Suivi de l'efficacité : méthodes et indicateurs proposés

1.1 Objectifs et portée

DHI a organisé une série d'ateliers intersectoriels au printemps de 2022, dans le cadre d'un projet en cours de la CCE afin de soutenir la mise en œuvre des SFN pour gérer les risques d'inondation côtière dans les collectivités nord-américaines (DHI, 2022). Cette série d'ateliers comprenait sept séances qui ont réuni 95 spécialistes du Canada, du Mexique et des États-Unis. Deux de ces séances portaient précisément sur le suivi des SFN. Durant celles-ci, les spécialistes ont présenté des idées et cerné les lacunes dans les données, les obstacles et les possibilités liées au suivi des SFN.

Le présent document analyse les lacunes dans les données et les obstacles relevés durant les ateliers, résume l'information existante et fournit des conseils pratiques pour planifier, évaluer et mettre en œuvre des programmes de suivi constructifs associés aux SFN employées pour gérer les risques d'inondation dans les collectivités côtières. Il fait partie d'un ensemble de documents d'orientation qui visent à aider les personnes qui prennent les décisions à mettre en œuvre les SFN pour gérer les risques d'inondation côtière en Amérique du Nord.

Plus précisément, ce document vise à :

- faire une proposition de valeur pour l'investissement dans le suivi;
- résumer les principaux aspects administratifs des plans de suivi, y compris les rôles et responsabilités, les défis en matière de financement et l'accès aux données et leur diffusion;
- résumer les principaux aspects techniques des plans de suivi, soit les indicateurs, les méthodes, les divers environnements physiques, et les échelles spatiales et temporelles;
- fournir des études de cas portant sur le rôle du suivi dans l'évaluation de l'efficacité, de la performance et de la résilience des SFN;
- dans la mesure du possible, combler les lacunes et écarter les obstacles relevés durant la précédente série d'ateliers intersectoriels.

Le présent document vise à fournir des données probantes et des outils pour soutenir les personnes jouant un rôle décisionnel dans la mise en œuvre des SFN afin de gérer les risques d'inondation dans les collectivités côtières. Il offre des conseils pour aider les responsables à prendre des décisions à toutes les étapes du projet, de la conceptualisation à la conception et à l'exploitation. Ce document ne se veut pas un guide technique détaillé et ne présente pas d'examen exhaustif d'une documentation de plus en plus abondante sur les SFN.

D'autres lectures et documents clés sur le suivi des SFN sont identifiés dans la section 1.4 du présent document.

1.2 Valeur du suivi des solutions fondées sur la nature

Dans le cadre de la série d'ateliers de la CCE sur les SFN (DHI, 2022), il a été demandé à des spécialistes du Canada, du Mexique et des États-Unis de décrire la valeur du suivi des SFN. Leurs réponses ont été regroupées dans les catégories générales décrites dans l'encadré 1.

Encadré 1 – Activités qui bénéficient du suivi ou nécessitent un suivi

- **Évaluer la performance de la GRI**
- **Évaluer les avantages connexes**
- **Évaluer les effets imprévus**
- **Éclairer la gestion adaptative**
- **Respecter les exigences du projet** (p. ex., en matière de financement)
- **Partager les connaissances** (p. ex., recherche et élaboration de directives)
- **Accroître la transparence et l'adhésion du public**
- **Faciliter la comparaison des solutions de GRI** (p. ex., comparer les SFN par rapport aux méthodes structurelles conventionnelles)
- **Renforcer les capacités et créer des emplois**

L'incertitude qui entoure la performance des SFN au fil du temps, dans divers contextes et à différentes échelles, constitue un important obstacle connu à leur mise en œuvre (voir la section 1.3). Le suivi et la gestion adaptative permettent d'assurer une gestion proactive de tout défaut, de manière à réduire le risque de performance inadéquate de la GRI ou de non-réalisation des avantages connexes souhaités. La diffusion de ces données pourrait améliorer l'adhésion du public et soutenir la recherche sur les SFN dans le futur. L'échange de connaissances peut générer de nouvelles idées sur le fonctionnement des SFN, et à terme, l'élaboration de nouveaux guides techniques sur la mise en œuvre future des SFN (Connop et coll., 2016; Raymond et coll., 2017). De plus, l'échange de connaissances peut favoriser des changements de politiques fondés sur des données probantes.

Dans la pratique, il doit y avoir un lien entre la portée et l'ampleur des travaux de suivi et les besoins globaux du projet, les risques qu'il comporte et les limites de financement. Par conséquent, la valeur du suivi dépend des détails propres au projet et du type de SFN employé. Les spécialistes qui ont participé à la série d'ateliers (DHI, 2022) ont en outre été interrogés quant à l'importance du suivi relativement à une gamme de solutions de GRI. Ces personnes ont indiqué que le suivi est important pour tous les projets de GRI; cependant, il est plus important dans le cas de projets qui s'appuient davantage sur des éléments naturels et fondés sur la nature, et donc qui se situent plus près de l'extrémité « verte » du spectre «gris-vert ». Le document d'orientation intitulé *Adaptation des infrastructures existantes* comprend une définition du spectre « gris-vert » et plus d'information sur ce sujet.

1.3 Lacunes dans les données existantes et obstacles au suivi

L'encadré 2 présente les obstacles relevés durant la série d'ateliers de la CCE sur l'efficacité des SFN (DHI, 2022). Les spécialistes semblent s'entendre pour dire que le suivi et la gestion adaptative sont essentiels à l'efficacité des SFN appliquées à la gestion des risques d'inondation. Or, il semblerait aussi que le public et certaines personnes qui prennent les décisions perçoivent le suivi comme étant facultatif, ou plutôt qu'il n'est pas fondamental. Cette perception se traduit par un manque de financement pour le suivi et la gestion adaptative à long terme. Dans les cas où ce financement est prévu, il ne couvre souvent qu'une courte période suivant la construction, allant généralement d'un à

cinq ans. De plus, il semble que le suivi et la gestion adaptative soient omis dans les exigences obligatoires des projets (DHI, 2022).

Le présent rapport vise à aborder plusieurs lacunes dans les données et obstacles cernés (indiqués dans l'encadré 2), dans la mesure du possible, ou du moins à déterminer des méthodes pour y remédier grâce à d'autres initiatives (voir la section 6). Les obstacles qui font l'objet du présent rapport sont des types sociaux/comportementaux et techniques qui peuvent être levés (en partie) grâce à de l'information ou à des conseils additionnels. Les obstacles qui nécessitent des mesures additionnelles de la part des personnes qui prennent les décisions (comme l'établissement de sources de financement) ne sont pas abordés dans le présent rapport.

Les documents d'orientation complémentaires intitulés *Avantages connexes* et *Adaptation des infrastructures existantes* décrivent d'autres lacunes dans les données et obstacles liés aux avantages connexes des SFN et à l'adaptation des SFN aux infrastructures existantes. Dumitru et Wendling (2021) fournissent une liste exhaustive d'écarts des savoirs selon différents points de vue (p. ex., spécialistes, scientifiques, membres de la collectivité et secteur privé).

Encadré 2 – Obstacles au suivi de l'efficacité des SFN

Type d'obstacle	Priorité (présent rapport)
Social/comportemental	
• Suivi perçu comme un coût additionnel ou inutile	✓
• Méfiance à l'égard des données qualitatives et du suivi participatif	✓
Technique	
• Non-intégration du suivi et de la gestion adaptative aux étapes de planification, de conception et de mise en œuvre	✓
• Absence de conseils définitifs en matière de suivi, de manière à entraîner des approches incohérentes	✓
• Nécessité de faire appel à des spécialistes de plusieurs disciplines pour faire un suivi efficace des avantages connexes (p. ex., spécialistes des sciences sociales)	✓
• Manque de personnel professionnel formé et compétent	○
• Capacités et disponibilité du personnel	○
• Besoins en équipement spécialisé et coûteux	✓
• Difficulté à gérer la logistique à long terme	○
• Contraintes d'accès physique	✓
• Distribution inadéquate des données (p. ex., manque de transparence)	✓
• Données incomplètes ou manquantes (p. ex., absence de données de base)	✓
• Absence d'études de cas et d'inventaires à jour et utilisables (qui illustrent aussi bien les succès que les échecs)	
Environnemental	
• Variabilité saisonnière et à long terme des systèmes naturels	○
Institutionnel	
• Manque de financement	○
• Programmes existants sans exigences obligatoires en matière de suivi	○
• Priorité accordée à une vision à court terme des programmes existants	○
• Obstacles réglementaires qui imposent des contraintes en matière d'échéancier, de financement et d'accès	○
• Conflit entre les exigences gouvernementales et celles d'organismes	○
• Corruption	

Source : adapté des obstacles relevés durant la série d'ateliers intersectoriels sur les SFN, organisée par DHI pour le compte de la CCE au printemps de 2022

1.4 Lectures complémentaires

De nombreuses publications ont été examinées et citées en référence pour préparer le présent rapport. Ces documents, de même que la série d'ateliers de la CCE sur les SFN, ont été utilisés pour élaborer les considérations, les conseils et les processus et énoncés dans le rapport. Les principaux documents de référence, énumérés ci-dessous, pourraient fournir aux lecteurs et aux lectrices davantage de renseignements et des conseils techniques.

- *Evaluating the Impact of Nature-Based Solutions - A Handbook for Practitioners,* Commission européenne (Dumitru et Wendling, 2021)
- *Increasing Infrastructure Resilience with Nature-based Solutions (NbS): A 12-Step Technical Guidance Document for Project Developers*, Banque interaméricaine de développement (BID) (Silva Zuniga, 2020)
- *International Guidelines on Natural and Nature-based Features for Flood Risk Management,* United States Army Corps of Engineers (Bridges et coll., 2021b)
- *Nature-Based Solutions for Coastal and Riverine Flood and Erosion Risk Management*, Association canadienne de normalisation (Groupe CSA) et Conseil national de recherches du Canada (Vouk et coll., 2021)

2 Processus de suivi

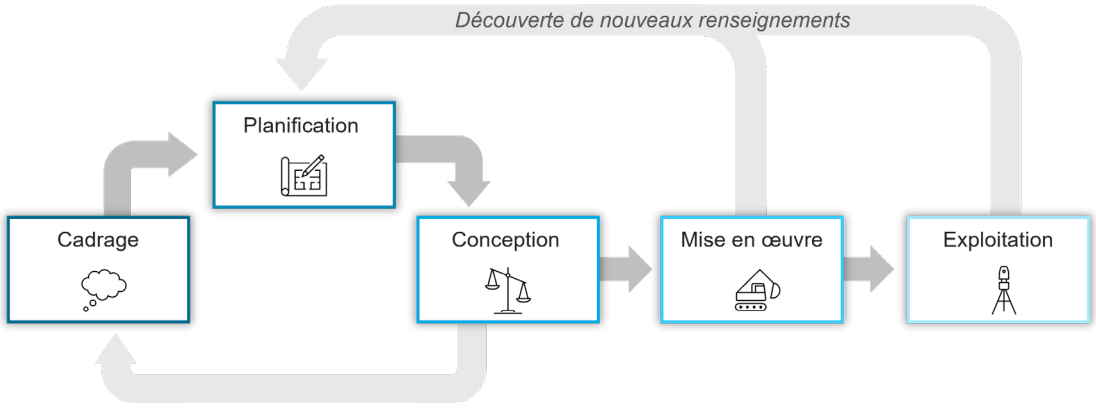
Étant donné la nature dynamique des SFN, s'attendre à des changements et pratiquer une gestion adaptative constituent l'un des principes clés de tout projet SFN réussi (Bridges et coll., 2021b). C'est pourquoi le suivi est un élément essentiel du cycle du projet SFN. Le présent chapitre donne un aperçu du processus global de mise en œuvre des SFN, détaille les étapes de planification pour le suivi en particulier, décrit les différentes étapes du suivi, et explique la relation avec la gestion adaptative. Le présent chapitre comprend des études de cas pour illustrer les concepts clés liés à la conception et à la mise en œuvre des travaux de suivi.

2.1 Étapes du projet pour mettre en œuvre des SFN

Un cadre type d'élaboration d'un projet SFN comprend cinq grandes étapes : cadrage, planification, conception, mise en œuvre et exploitation (Figure 1) (Bridges et coll., 2021b). Ces étapes ne constituent pas un processus linéaire, mais plutôt cyclique. Ce processus cyclique favorise la réévaluation et la mise à jour continues des plans à n'importe quel stade d'élaboration du projet.

Pour les projets conventionnels de GRI, le suivi fait normalement partie de l'étape d'exploitation; cependant, pour les SFN, il est essentiel d'établir les plans de suivi et les exigences en matière d'évaluation de la performance tôt dans le cycle de projet, aux étapes de cadrage et de planification. Il est aussi important de lancer le programme de suivi pour acquérir suffisamment de données de base avant la mise en œuvre du projet.

Figure 1 – Cadre d'élaboration d'un projet SFN



Source : adapté de Bridges et coll., 2021b

2.2 Étapes de planification pour le suivi des SFN

Le suivi peut servir à surveiller le processus de mise en œuvre, de manière à fournir de l'information pour la gestion adaptative, et à évaluer la performance des SFN par rapport aux résultats attendus, afin de mesurer la progression vers des cibles prédéfinies, et les changements observés par rapport aux conditions de base (Dumitru et Wendling, 2021). La section 1.2 décrit de nombreux autres avantages que peut générer le programme de suivi des SFN.

La conception d'un plan de suivi et de gestion adaptative doit commencer dès l'étape de cadrage du projet. De Looff et coll. (2021) proposent un cadre exhaustif pour élaborer un plan de gestion adaptative. Ce cadre inclut des actions clés, telles que la définition du champ d'application et des mesures de performance, l'élaboration de stratégies de financement, la conception d'un programme de suivi, la détermination de mesures et de scénarios d'adaptation. En résumé, les principales étapes du suivi sont :

1. Cadrage : déterminer l'ampleur et la portée du plan de gestion adaptative, prioriser les mesures à prendre, définir les titulaires de droits et les parties prenantes, et élaborer des stratégies de financement.
2. Planification : déterminer les paramètres de préoccupation, établir des mesures de performance, faire l'inventaire des réseaux de suivi existants, cerner les lacunes dans les données, et déterminer les ressources et le personnel potentiels pour exécuter le programme de suivi.
3. Conception : élaborer un programme de suivi (y compris un suivi des conditions de base) avant la mise en œuvre du projet, déterminer le type de suivi qui convient à chaque mesure de performance, établir des protocoles de collecte et de gestion des données.
4. Mise en œuvre : effectuer régulièrement des levés et des inspections de construction, assurer un suivi et une évaluation périodiques des résultats.
5. Production de rapports : examiner, résumer et présenter les données, communiquer les constatations à l'équipe de projet et à l'entrepreneur durant les étapes de construction et d'exploitation, et informer les autres parties prenantes.
6. Évaluation : assurer le suivi et l'évaluation périodiques des résultats, évaluer la performance des SFN, proposer des modifications à apporter aux SFN (gestion adaptative) et réévaluer et adapter le programme de suivi.

La conception du programme de suivi doit être détaillée et rigoureuse, mais suffisamment souple pour permettre son adaptation, tout au long de sa durée de vie et à mesure que change le climat. Ce programme doit également être pratique et économique, de manière que son financement et sa mise en œuvre ne deviennent pas trop coûteux au fil du temps (Palinkas et coll., 2022). Un plan de suivi bien défini présente d'énormes avantages : il améliore la communication au sein de l'équipe de projet et permet de faire une évaluation systématique de la performance (voir l'étude de cas 1).

L'ampleur et la complexité du projet, ses possibilités de financement et d'autres particularités du projet dicteront le niveau d'attention qui doit être apporté au suivi. Les chapitres 3 et 4 décrivent en détail les aspects administratifs et techniques de l'élaboration d'un plan de suivi.

2.3 Étapes du suivi

Le suivi doit avoir lieu tout au long du cycle de vie du projet SFN, soit comme un processus continu, soit déclenché par des événements ou des besoins précis (p. ex., levé post-construction ou données collectées avant et après une tempête). Le suivi peut être divisé en quatre grandes étapes :

1. **Suivi historique :** éclaire le cadrage et la planification du projet, et peut être basé sur des travaux de suivi effectués par d'autres personnes avant la conceptualisation du projet.
2. **Suivi des conditions de base :** établit les conditions préalables, sert de référence pour faire un suivi de la performance et éclaire la conception.
3. **Suivi de la conformité** (y compris le suivi de la construction et les relevés de l'état définitif) : alimente la gestion adaptative durant la construction, éclaire les modifications au

processus de construction et prolonge la post-construction afin de garantir la conformité et d'établir un point de départ pour l'évaluation de la performance.

4. **Suivi opérationnel (à long terme) :** sert à évaluer la performance au fil du temps et à éclairer la gestion adaptative, à déterminer les avantages et les effets des projets, et à éclairer les projets à venir.

L'encadré 3 présente un sommaire des tâches potentielles aux différentes étapes du suivi. Étant donné l'importance d'établir un point de référence fiable pour évaluer la performance future des SFN, il est essentiel de mettre en place et de maintenir des réseaux de suivi régionaux à long terme capables de fournir des données de base pour les projets SFN. Souvent, entreprendre la collecte de données lorsqu'un projet en est toujours à l'étape de conceptualisation pourrait ne pas produire suffisamment d'information pour définir pleinement les conditions de base.

Le document d'orientation complémentaire intitulé *Suivi de l'efficacité : méthodes et indicateurs proposés* comprend des directives plus détaillées sur la méthode de suivi, et traite notamment du modèle de « contrôle d'impact avant-après » (*Before-After-Control-Impact*, BACI).

Encadré 3 – Étapes du suivi et mesures connexes

Historique	Conditions de base	Conformité	Opérationnel
• Rassembler des données historiques, des données de suivi antérieures, et des études pour l'emplacement du projet • Rassembler des données historiques provenant de projets comparables (environnement physique ou type de SFN similaire) • Évaluer les réseaux de suivi existants pour déceler des lacunes (propres au projet) • Déterminer si un suivi additionnel (spatial et/ou temporel) est nécessaire pour éclairer la conception et les conditions de base	• Mettre en œuvre un programme de suivi des conditions de base • Évaluer ce programme par une analyse des données • Comparer les données de suivi des conditions de base aux données historiques • Adapter le programme de suivi des conditions de base, au besoin • Consolider les renseignements à utiliser pour la conception • Établir les conditions de base • Élaborer un plan de communication et de données en appui à la construction • Élaborer des plans de conformité et de suivi opérationnel • Définir des indicateurs et mesures de performance	• Mettre en œuvre un programme de suivi de la conformité (qui inclut généralement des levés et inspections) • Évaluer le suivi de la conformité par rapport aux conditions de base du projet • Assurer une communication claire et fréquente avec l'équipe de projet et l'entrepreneur • Adapter les méthodes de suivi et le processus de construction, au besoin • Établir un point de départ pour l'évaluation de la performance (relevé de l'état définitif)	• Installer des outils de suivi à long terme des installations fixes • Effectuer des études environnementales, socioéconomiques et sur la performance, conformément au plan de suivi • Analyser et rapporter les données recueillies • Évaluer la performance par rapport aux conditions de base et au point de départ • Évaluer les éventuels effets imprévus • Gérer les SFN en fonction des données de suivi et du plan de gestion adaptative • Réévaluer le plan de suivi et l'adapter au besoin

Étude de cas 1 – Restauration de Swan Island

Restauration de Swan Island :
Restauration des services écosystémiques et de la protection côtière

Chesapeake Bay (Maryland)
États-Unis

Swan Island fait partie d'un ensemble d'îles marécageuses dans la baie de Chesapeake qui, entre autres fonctions, agit comme brise-lames naturel pour assure la protection côtière de la ville d'Ewell, dans le Maryland (Whitfield et coll., 2022). Or, les îles côtières et marais de la région disparaissent rapidement en raison des effets conjugués de l'élévation du niveau de la mer, de l'affaissement du sol et d'un apport en sédiments inadéquat.

En 2019, l'US Army Corps of Engineers a placé 60 000 verges cubes (environ 45 900 m^3) de sédiments dragués dans un canal de navigation voisin pour rétablir la superficie et les élévations de Swan Island. Les travaux comprenaient la création des dunes et des zones de haut et bas marais ainsi que la plantation de 200 000 plantes (NOAA-NCCOS, 2022). Une équipe de projet composée de plusieurs organismes a élaboré un plan de surveillance et de gestion adaptative (MAMP) pour suivre les progrès réalisés et servir de plan directeur pour l'approche de suivi et de gestion adaptative.

Le MAMP comprend les rôles et responsabilités, les méthodes de suivi et mesures de performance, les normes de production de rapports, la gestion des données et les éléments déclencheurs de la gestion adaptative. Il a également été conçu pour servir de modèle pour les futurs sites de restauration (grâce à une approche transférable) et faire l'objet de mises à jour périodiques (p. ex., grâce à la gestion adaptative) (Whitfield et coll., 2022).

L'aire du projet est sous surveillance depuis 2018 (NOAA-NCCOS 2022). Les données écologiques, hydrodynamiques, topographiques et sédimentaires nécessaires ont été recueillies afin d'évaluer la performance et les avantages du projet et d'éclairer les mesures de gestion adaptative. Les initiatives de surveillance comprenaient :

- l'installation autour de l'île de quatre plateformes munies de détecteurs pour mesurer les vagues, les courants, le niveau de l'eau et les sédiments présents dans la colonne d'eau;
- des enquêtes écologiques et levés topographiques annuels à des emplacements fixes pour documenter les changements d'élévation, de végétation et de sédimentation à mesure que le site évolue.

Figure 2 – Mesures de l'élévation

Source : NOAA-NCCOS, 2022

Deux ans après la mise en œuvre du projet, les résultats préliminaires et l'évaluation de la performance indiquent que les travaux de restauration ont généré les élévations souhaitées et que la zone de haut marais est saine et en croissance (NOAA-NCCOS, 2022). En revanche, les plantations dans la zone de bas marais n'ont pas survécu, et les lacunes importantes dans la couverture végétale n'ont pas satisfait aux critères de performance. Des plantations supplémentaires ont donc été réalisées, y compris en suivant une stratégie expérimentale de plantation en grappes.

Au moment de rédiger le présent rapport, le projet se trouve toujours aux étapes liminaires du suivi post-construction. La méthode de gestion adaptative proposée dans le MAMP s'est révélée utile et a favorisé une communication et une coordination efficaces. De plus amples renseignements se trouvent à l'adresse suivante (NOAA-NCCOS, 2022) :
<https://storymaps.arcgis.com/stories/7156cfc6353048ad92ef80f737b77c29>.

Figure 3 – Photos aériennes de Swan Island en 2017 (avant les travaux) et en 2019, 2020 et 2021 (après les travaux)

Source : NOAA-NCCOS, 2022

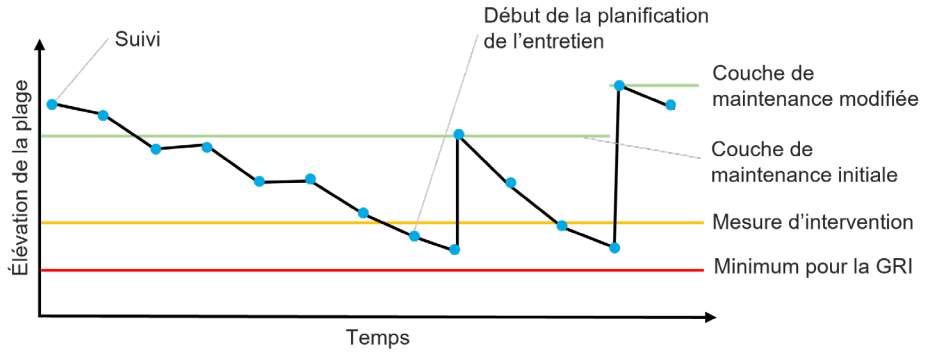
2.4 Relation avec la gestion adaptative

La gestion adaptative repose sur le principe de la prise en compte et de la réduction des incertitudes inhérentes aux projets SFN mis en œuvre de façon progressive. Ce mode de gestion tient compte de la nature dynamique de l'environnement. Il se concentre sur les aspects du projet qui peuvent être contrôlés ou adaptés, ce qui accroît la souplesse aux étapes de planification et permet au concept d'évoluer (de Looff et coll., 2021 et références). C'est particulièrement important dans le contexte de la résilience climatique, compte tenu des incertitudes concernant les projections climatiques et de la façon dont ces incertitudes se manifestent dans l'environnement au fil du temps. Les concepts et pratiques de gestion adaptative sont au cœur du cycle des projets SFN (décrit à la section 2.1) et du cycle de planification du suivi (décrit à la section 2.2).

Le suivi est vital pour la gestion adaptative, car il fournit des données essentielles qui servent à réduire le degré d'incertitude, à évaluer l'efficacité des SFN, à modifier leur conception ou le programme de suivi, et à promouvoir l'acquisition de connaissances sur les SFN. Par conséquent, le programme de suivi et le plan de gestion adaptative doivent être conçus simultanément. La sélection d'indicateurs et de mesures d'évaluation de la performance (qui seront abordés à la section 4.1) fournit des renseignements pour gérer les incertitudes graves en matière de conception et de gestion.

Il faut aussi comprendre la nécessité d'une rétroaction prompte entre le programme de suivi et la gestion adaptative. Elle facilite la prise de mesures par les personnes qui prennent les décisions, en particulier à des étapes critiques, comme la construction, ou lorsque des interventions post-construction s'imposent (voir l'étude de cas 2). Par exemple, la figure 4 illustre comment les données historiques et de suivi continu sur l'élévation d'une plage peuvent alimenter les décisions quant au moment de procéder à une recharge en sable supplémentaire afin de respecter les mesures de la GRI. Dans cet exemple, si les données de suivi révèlent que l'élévation de la plage est inférieure à la mesure d'intervention, la planification d'activités d'entretien est lancée pour s'assurer d'atteindre la mesure de couche de maintenance. Au fil du temps, cette mesure pourra être modifiée si les résultats du suivi indiquent que la couche de maintenance ne dure pas aussi longtemps que prévu, ou pour tenir compte des effets potentiels des changements climatiques (voir la section 5.2).

Figure 4 – Modèle conceptuel des données de suivi d'élévation de la plage qui alimentent les décisions en matière de gestion adaptative



Source : adapté de de Looff et coll., 2021, 290

Pour de plus amples renseignements sur la gestion adaptative, reportez-vous au document *International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management,* chapitre 7 : *Adaptive Management* (de Looff et coll., 2021).

Étude de cas 2 – Construction d'une dune hybride à Cardiff State Beach

Construction d'une dune hybride à Cardiff State Beach :
Suivi et gestion adaptative en action

Encinitas (Californie)
États-Unis

Près d'Encinitas, en Californie, un segment de la route 101 traverse une pointe de terre sablonneuse et longe la plage Cardiff State Beach. Cette plage et la route sont exposées aux fortes vagues et aux niveaux d'eau élevés de l'océan Pacifique, qui ont entraîné plus de 40 fermetures de la route à cause d'inondations et de l'érosion provoquées par les vagues (Winters et coll., 2020). Les mesures antérieures pour stabiliser le littoral se sont révélées insuffisantes (Winters et coll., 2021).

En collaboration avec plusieurs organismes gouvernementaux et de réglementation, bailleurs de fonds et membres de l'industrie et du milieu universitaire, la ville d'Encinitas a initié un projet mixte de SFN pour renforcer la résilience de la zone face aux inondations et à l'érosion côtière, qui devraient s'aggraver avec l'élévation du niveau de la mer (Moffatt et Nichol et San Elijo Lagoon Conservancy, 2016). Le projet comprenait la construction d'un revêtement enterré composé d'une longue berme de sable et d'une berme de galets enterrée en guise de pied (Winters et coll., 2020). Pour améliorer l'habitat, des végétaux indigènes protégés par une clôture ont été plantés sur la berme. Des accès délimités ont aussi été aménagés pour accéder à la plage. Achevés en juin 2019, les travaux couvrent environ 880 mètres linéaires de rivage. Ce projet prévoyait l'entretien périodique des ouvrages (Moffatt et Nichol et San Elijo Lagoon Conservancy, 2016) ainsi qu'un vaste programme de suivi de la plage qui comprenait des levés par drone avant, pendant et après la construction (Winters et coll., 2020).

Un des objectifs des levés pendant la construction consistait à mesurer l'emplacement du revêtement et la taille des galets, afin de calculer les couches souterraines aux fins de modélisations futures. Les levés post-construction visaient à capter les changements (saisonniers et causés par les tempêtes) occasionnés au profil de la plage, pour évaluer la performance de la GRI, éclairer la gestion adaptative et fournir des données locales sur l'efficacité de cette approche.

Le suivi effectué de 2019 à 2021 a révélé une forte érosion dans la partie basse de la plage et au pied de la dune (Winters et coll., 2021). Les travaux de suivi ont éclairé la décision de retirer les clôtures ou d'en réduire la hauteur et d'entreprendre une recharge additionnelle en sable. Le suivi a également permis de détecter la formation de ravines inattendues près des points d'accès en raison d'inondations, ce qui a entraîné des travaux d'entretien d'urgence et une évaluation hydrologique supplémentaire. Le suivi et la gestion adaptative devraient se poursuivre.

Figure 5 – Aménagement d'une dune après la construction (gauche) et après deux saisons d'érosion hivernale (droite)

Source : Winters et coll., 2021

3 Aspects administratifs du plan de suivi

Le présent chapitre donne un aperçu des aspects administratifs clés concernant les décisions relatives à l'élaboration et à la mise en œuvre de plans de suivi pour appuyer l'utilisation des SFN. Il résume en outre la portée du plan de suivi, les rôles et responsabilités, les défis liés au financement, ainsi que l'accès aux données et leur diffusion. Le chapitre 4 résume les aspects techniques. Le présent chapitre comprend des études de cas pour souligner les concepts clés ou les aspects administratifs de la mise en œuvre d'un plan de suivi. Le document d'orientation complémentaire intitulé *Suivi de l'efficacité : méthodes et indicateurs proposés* comprend des directives plus détaillées sur la méthode de suivi et les indicateurs de performance.

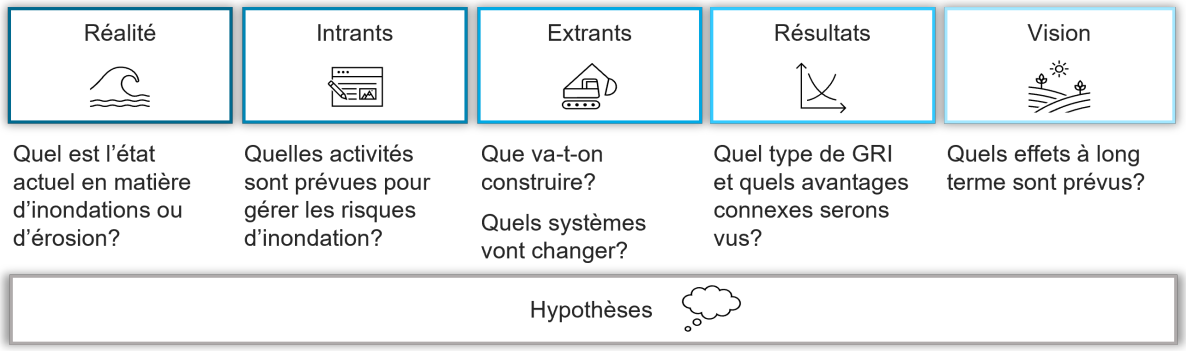
3.1 Cadrage

Le cadrage des plans de suivi et de gestion adaptative constitue la première étape du cycle du plan de suivi (voir la section 2.2). Il nécessite une bonne compréhension des besoins du projet, y compris le problème, les objectifs et les contraintes, en vue d'établir les priorités et de définir l'ampleur et la portée des travaux de suivi. Au cours de cette étape, il importe d'avoir une compréhension générale des aspects techniques (voir le chapitre 4) et de déterminer les possibilités de financement, les besoins du projet et les rôles des parties prenantes.

Généralement, les aspects administratifs sont propres à un projet et doivent être soigneusement évalués dès le début de celui-ci. Par exemple, une SFN déployée à l'échelle d'un quartier pour prévenir les inondations dévastatrices doit faire l'objet d'un suivi très différent de celui d'une SFN visant à protéger une propriété contre une érosion mineure causée par les inondations. Il est particulièrement important de déterminer tôt les parties prenantes, les titulaires de droits et les contraintes financières, dès l'étape de cadrage, afin d'établir clairement les rôles et responsabilités (voir la section 3.2) et de cerner les lacunes à combler en matière de financement (voir la section 3.3).

L'établissement d'une théorie du changement constitue une autre mesure clé de la gestion fondée sur des données probantes, afin de prévoir la façon dont l'intervention devrait produire un changement (Gertler et coll., 2016). Cette théorie peut servir à évaluer la performance des SFN, et à obtenir et mettre en œuvre un plan de gestion adaptative.

Figure 6 – Théorie du changement pour les projets de GRI



Source : adapté de Dumitru et Wendling, 2021

3.2 Rôles et responsabilités

Les membres de l'équipe de projet, les titulaires de droits et les parties prenantes doivent être désignés dès le début du processus de mise en œuvre des SFN et du processus d'élaboration du plan de suivi.

La participation des parties prenantes et des communications bilatérales continues sont nécessaires pour déterminer de façon proactive les besoins, les problèmes potentiels et les possibilités, pendant l'élaboration comme pendant la mise en œuvre du plan de suivi (Bridges et coll., 2021b). Des communications fréquentes accroissent la confiance et la transparence entre l'équipe de projet et les parties prenantes – conditions fondamentales à l'adoption des SFN (voir la section 1.3). Une étroite collaboration est essentielle entre la communauté scientifique, l'équipe de projet et les responsables de politiques durant les étapes de planification pour assurer le démarrage du programme de suivi tôt dans le projet, et que ce programme sera suffisamment ciblé pour répondre aux besoins du projet et satisfaire aux normes scientifiques (van Eekelen et Bouw, 2021).

Les rôles et responsabilités des membres de l'équipe et des parties prenantes dans le cadre du processus de suivi, doivent être clairs (Silva Zuniga et coll., 2020). Ces rôles et responsabilités peuvent être divisés en plusieurs catégories de travail, par exemple : décisions stratégiques clés, activités de recherche spécifiques liées au suivi, travail sur le terrain, analyse, stockage et diffusion des données, et soutien général à toutes les étapes du programme de suivi.

Il est important de déterminer les interfaces et dépendances entre les différents rôles, notamment lorsque plusieurs groupes participent au processus, afin de s'assurer de couvrir tous les aspects du plan et d'éviter le chevauchement des tâches.

3.2.1 Qui devrait participer au projet?

Chaque projet SFN doit avoir son propre groupe de personnes et d'organisations qui soutiennent et éclairent l'ensemble du projet et le programme de suivi. Les principales organisations et parties prenantes à inclure lors de l'élaboration du plan de suivi peuvent comprendre des membres des collectivités touchées, des groupes communautaires locaux, des organismes sans but lucratif, des personnes représentant le gouvernement, le milieu universitaire et des membres de l'industrie. Les personnes représentant des titulaires de droits, tels que les Premières Nations ou les leaders autochtones, doivent également être consultées et participer. L'étude de cas 3 porte sur la formation d'un comité consultatif de projet (composé d'un groupe diversifié des parties prenantes, de titulaires de droits, de spécialistes et de personnes représentant le gouvernement) pour éclairer la bonne exécution d'un projet de réalignement de digues en Nouvelle-Écosse, au Canada.

Dans le cadre de la série d'ateliers de la CCE sur les SFN (DHI, 2022), des spécialistes du Canada, du Mexique et des États-Unis ont souligné l'importance de la mobilisation et de la participation communautaires durant les étapes de planification et les activités de suivi des SFN (figure 7). Ces spécialistes ont déterminé que la participation des parties suivantes était essentielle à la réussite et à l'efficacité du programme de suivi des SFN : les personnes représentant le gouvernement, les leaders autochtones, le milieu universitaire (universités et instituts de recherche) et l'équipe du projet SFN (gestionnaires de projet et spécialistes techniques).

Figure 7 – Nuage de mots illustrant les réponses des spécialistes ayant participé à la série d'ateliers de la CCE sur les SFN, lorsqu'il leur a été demandé qui devrait participer à la planification et à la mise en œuvre du suivi

Source : DHI, 2022

Étude de cas 3 – Réalignement des digues de la baie de Fundy

Réalignement des digues de la baie de Fundy :
Action collective et collaboration

Truro (Nouvelle-Écosse)
Canada

En octobre 2021, après plusieurs années de planification, un projet de réalignement géré des digues le long de la rivière Onslow-North, près de la ville de Truro, en Nouvelle-Écosse, à l'est de la baie de Fundy, a été réalisé. Une nouvelle digue a été construite le long de la rivière Onslow-North, et les digues existantes le long des rivières Salmon et North, soumises aux marées, ont été ouvertes pour restaurer l'habitat du marais intertidal.

La région autour de Truro a été désignée comme étant particulièrement vulnérable aux inondations, aux ondes de tempête et aux risques d'érosion causés par les changements climatiques. Elle connaît déjà des inondations annuelles qui occasionnent des dommages aux propriétés et aux infrastructures voisines, y compris les routes et les écoles (CBCL, 2017). Les inondations dans ce secteur motivent les gens à s'attaquer au problème. Elles surviennent après de fortes pluies, des marées hautes et des embâcles dans la rivière et entraînent le débordement de la digue existante, ainsi que de graves inondations qui ont touché Truro en 2012, à la suite de la tempête tropicale Leslie (Sherren et coll., 2019).

De nombreuses parties prenantes ont collaboré à toutes les étapes du projet (TCA, 2022). Un comité consultatif mixte sur les inondations a été mis sur pied, qui comprend des membres de la collectivité, d'administrations locales et de gouvernements provinciaux et des Premières Nations. Un réseau innovateur fondé sur la confiance et établi entre le gouvernement, le milieu universitaire et le secteur privé a été au cœur d'une mise en œuvre réussie (Rahman et coll., 2021). Les spécialistes en sciences des CB Wetlands and Environmental Specialists (CBWES) ainsi que ceux de l'Université Saint Mary's (SMU) sont responsables de l'étape du suivi, qui sera réalisé sur une période de cinq ans. Ce programme suivra la restauration de l'habitat en mesurant l'accumulation de sédiments, les élévations, l'hydrologie, la qualité de l'eau et du sol, la séquestration du carbone, la couverture végétale et la présence de poissons et d'autres espèces animales (TCA, 2022). Outre ces activités de suivi, un programme de recherche est appliqué sous la gouverne du nouveau réseau de recherche canadien ResNet du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) (NSERC ResNet, 2022). Les enjeux à l'étude incluent :

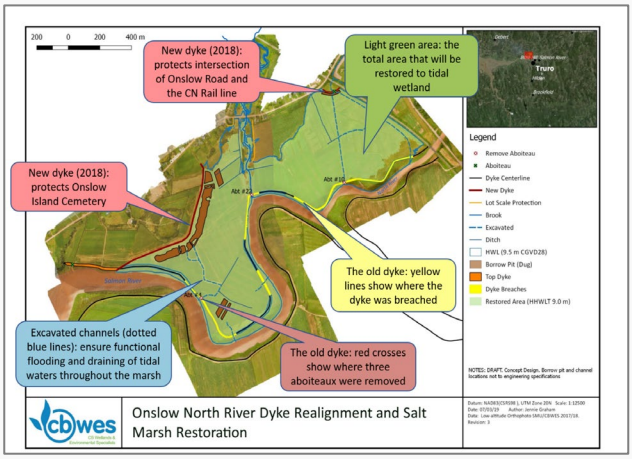
1 : Quels services les marais endigués de la baie de Fundy rendent-ils, et dans quelle mesure ceux qui se trouvent sous l'élévation du niveau de la mer sont-ils durables?

2 : Quels services les marais littoraux de la baie de Fundy offrent-ils, et combien de temps mettront-ils après leur restauration avant d'être fonctionnels?

3 : Quelles concessions les parties prenantes font-elles entre diverses catégories de services dans l'espace et dans le temps?

4 : Quelles sont les conséquences de ce qui précède sur le renforcement, le réalignement et le retrait des digues?

Figure 8 – Conception du projet de la rivière Onslow-North



Source : TCA, 2022

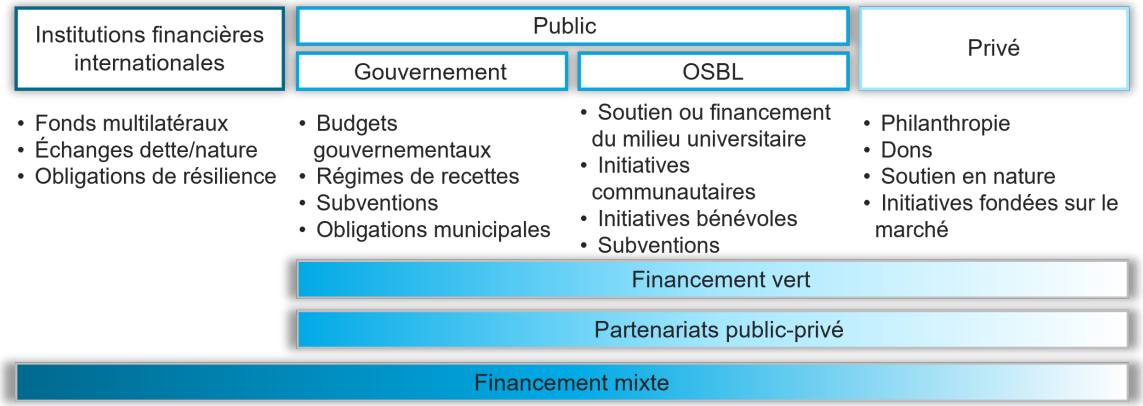
De plus amples renseignements peuvent être trouvés sur le site Web de TransCoastal Adaptations – Centre for Nature-Based Solutions (TCA, 2022) à l'adresse : <https://www.transcoastaladaptations.com/onslow-north-river>

3.3 Financement

Au cours de la série d'ateliers du CCE sur les SFN (DHI, 2022), un financement insuffisant a été désigné comme principal obstacle au suivi des SFN (voir la section 1.3). La détermination des besoins de financement (pour le suivi, l'évaluation et les mesures d'adaptation ultérieures) de même que l'élaboration de stratégies de financement (y compris l'évaluation des sources et des possibilités de financement) sont toutes deux essentielles, dès les premières étapes du projet, à la réussite de ce dernier. Des solutions de suivi peu coûteuses (comme décrit au chapitre 4) doivent aussi être envisagées pour alléger les besoins budgétaires.

Les sources de financement potentielles comprennent les institutions financières internationales, les institutions publiques et les sources privées (de Looff et coll., 2021; Silva Zuniga et coll., 2020). La figure 9 résume les sources de financement potentielles pour les projets SFN (incluant le suivi). À l'heure actuelle, plusieurs des sources de financement les plus courantes pour les projets SFN proviennent d'initiatives gouvernementales, telles que le Fonds pour des solutions climatiques naturelles au Canada, ou directement d'organismes sans but lucratif et d'établissements d'enseignement.

Figure 9 – Exemples de sources de financement potentielles pour le suivi et la mise en œuvre des SFN



Source : adapté de Silva Zuniga et coll., 2020, 23

Assurer les infrastructures naturelles est un autre moyen d'obtenir des fonds, généralement en appui à la gestion adaptative. Les polices d'assurance paramétriques prévoient le versement d'un certain montant lorsque survient un événement déclencheur (par exemple, quand l'érosion du rivage dépasse un seuil de déclenchement). Quoique nouveau, ce concept a été appliqué avec succès dans l'État mexicain du Quintana Roo, où des indemnités d'assurance ont permis la restauration de la barrière de récifs méso-américaine (voir l'étude de cas 4).

Des initiatives fondées sur le marché pourraient également devenir une source additionnelle de financement pour le suivi (et les SFN en général). À mesure que les prix du carbone augmentent, il est possible de s'attendre à ce que les investisseurs privés profitent des crédits de carbone que génèrent les SFN (Drever et coll., 2021). En outre, les compagnies d'assurance ont tout intérêt à soutenir la résilience des collectivités face aux changements climatiques, puisque la réduction des risques d'inondation côtière entraînerait une diminution des indemnités versées. Au Canada, la Fondation Intact (soutenue par sa compagnie d'assurance mère, Intact Corporation financière) a lancé le programme Subventions aux municipalités pour la résilience climatique afin d'aider les villes à élaborer des solutions pratiques et efficaces pour protéger les collectivités contre les inondations et les incendies de forêt (Intact, 2022). Cette subvention a permis d'élaborer un projet pilote de « rivage vivant » dans la ville de Mahone Bay, en Nouvelle-Écosse. Le projet a été construit en 2022 et, bien

qu'il soit trop tôt pour présenter des résultats, il devrait être pleinement fonctionnel et protéger une partie de la ville contre les inondations et l'érosion dans environ trois ans. Ce projet pilote a survécu à l'assaut de grandes vagues durant l'ouragan Fiona en 2022 et fait l'objet d'une surveillance continue de la part de TCA. L'établissement de partenariats et de synergies avec d'autres projets SFN, ou entre organisations de financement pourrait aussi réduire le fardeau financier des programmes à long terme. Plus d'information sur les possibilités de financement peut être trouvée dans le rapport de la Banque interaméricaine de développement intitulé *Increasing Infrastructure Resilience with Nature-based Solutions (NbS)* (Silva Zuniga et coll., 2020).

Étude de cas 4 – Récif barrière méso-américain

Récif barrière méso-américain :
Garantir un financement à long terme grâce à l'assurance

Quintana Roo, Mexique

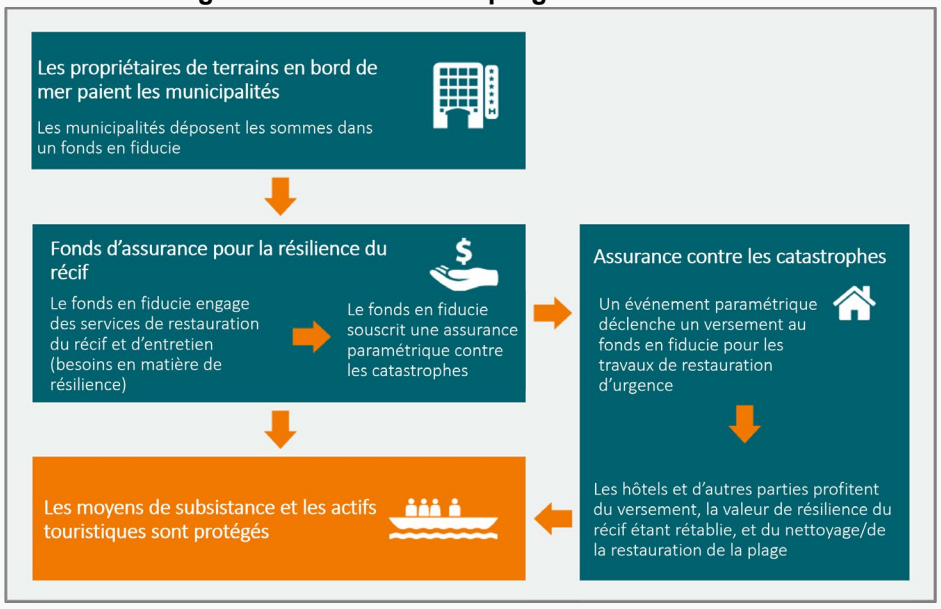
Le récif barrière méso-américain de la mer des Caraïbes s'étend au large du Mexique, du Guatemala, du Belize et du Honduras. L'économie locale de l'État du Quintana Roo dépend fortement du tourisme associé au littoral et à ce récif, et de nombreux hôtels sont exposés aux inondations que produisent les tempêtes tropicales. Il a été démontré que le récif barrière réduit efficacement les risques d'inondation et d'érosion associés aux fréquentes tempêtes tropicales qui frappent la côte caribéenne du Mexique. Cet avantage naturel pour prévenir les dommages causés aux infrastructures est estimé à 42 millions de dollars US annuellement (Reguero et coll., 2019).

Le gouvernement de l'État du Quintana Roo, en collaboration avec l'industrie touristique, The Nature Conservancy (TNC), la Commission des parcs nationaux, des chercheurs locaux, des membres de la collectivité et le secteur de l'assurance, a créé le régime d'assurance paramétrique Coastal Management Trust (TNC, 2019). En vertu de ce régime, les propriétaires de terrains en bord de mer et les membres de l'industrie touristique locale paient une prime, et l'assureur verse des indemnités lorsque la vitesse du vent atteint plus de 100 nœuds (environ 185 km/h) (Beck et coll., 2019; TNC, 2019).

Le programme d'assurance finance une équipe composée de membres de la collectivité, connue sous le nom de *Reef Brigades*, pour évaluer et réparer les dommages causés aux récifs à la suite d'une tempête (TNC, 2019). Bien que ce programme soit censé réparer un récif naturel existant qui a subi des dommages, un type d'assurance semblable pourrait être adapté aux projets SFN afin de financer le suivi et la gestion adaptative.

En octobre 2020, l'ouragan Delta a entraîné un versement de 850 000 $ US (TNC, 2021) destiné à des activités de restauration sur une période de deux à trois ans. L'inconvénient de ce système, c'est le temps que met l'assureur pour verser l'indemnité. Ce délai retarde l'évaluation et la restauration du récif après une tempête. Plus l'écart s'étire entre la tempête et les travaux de restauration, moins ces travaux sont efficaces.

Figure 10 – Structure du programme de fiducie



Source : adapté de Beck et coll., 2019

3.4 Accès aux données, stockage et diffusion

La diffusion des résultats du programme de suivi et des progrès des SFN présente d'énormes avantages : elle accroît les connaissances du public sur les SFN et les activités des administrations locales, favorise les occasions d'affaires pour les entreprises privées dans le contexte des SFN, et aide la communauté scientifique et les responsables des décisions à enrichir leurs connaissances sur les projets existants (Dumitru et Wendling, 2021). Rendre les données, ainsi que les méthodes de collecte et les analyses effectuées, publiquement disponibles et faciles d'accès dans une base de données centralisée et dans des formats normalisés, serait d'une grande utilité pour les programmes futurs de suivi des SFN. La mise en place d'un réseau collaboratif de suivi et de diffusion des données constitue une étape importante de l'acquisition de connaissances et de données probantes relatives aux SFN. Le renforcement de l'intérêt du public et de l'engagement de la collectivité constitue un avantage additionnel de la diffusion des données qui pourrait générer d'autres sources de collecte de données issues de la science communautaire. L'étude de cas 5 décrit une initiative de suivi communautaire, CoastSnap, qui s'est étendue à l'échelle mondiale.

Les étapes de cadrage et de planification du programme de suivi sont le bon moment de prendre en compte l'accès aux données et leur diffusion. Ainsi, il est possible de s'assurer d'avoir les ressources, le financement et les outils de diffusion appropriés et de communiquer dès le départ aux parties prenantes les visées du projet. Le stockage et les serveurs qui hébergent les portails de visualisation des données entraînent des coûts d'entretien. Ceux-ci doivent être pris en compte à l'étape de planification du projet afin d'assurer la durabilité des données et l'accès fiable à celles-ci.

Il convient également de tenir compte de la propriété des données et de l'accès aux droits de distribution, en particulier dans le cas de renseignements personnels et d'indicateurs socioéconomiques. Par exemple, pour la collecte de données dans les collectivités des Premières Nations au Canada, les protocoles de collecte, de stockage et de partage des données doivent respecter les principes de PCAP[MD][1], de sorte que seules les Premières Nations possèdent ces données et en contrôlent le stockage et l'utilisation (CGIPN, 2022).

Il est tout aussi important de communiquer les résultats positifs que les résultats négatifs. Des enseignements peuvent être tirés de ce qui n'a pas fonctionné ou de ce qui pourrait être amélioré à l'avenir. Ces enseignements sont de la plus haute importance afin d'éviter de répéter des erreurs ou de gaspiller des ressources par la mise en œuvre de stratégies et de solutions qui se sont révélées inefficaces (Dumitru et Wendling, 2021).

Il existe de multiples façons de présenter et de diffuser les données et les résultats : articles scientifiques, rapports, présentations lors de conférences, webinaires, médias sociaux, portails de données et entrevues. Quelle que soit la méthode choisie, les représentations visuelles attrayantes et faciles à interpréter sont utiles, par exemple : des infographies et des outils basés sur les SIG, qui peuvent faciliter la prise de décisions et accroître la participation des parties prenantes. Malgré les nombreux portails et atlas existants qui portent sur des études de cas de SFN (par exemple, *Engineering with Nature Atlas Series*, Bridges et coll., 2018; Bridges et coll., 2021a; *Carte des actions en adaptation*, ECCC et RNCan, 2021), le besoin persiste pour une base de données à l'échelle de l'industrie et transfrontalière (c.-à-d. internationale) pour héberger et diffuser les données de suivi. Les projets existants pourraient servir de base pour créer une base de données centralisée et reconnue pour les projets et les données de levés.

[1] PCAP[MD] est une marque déposée du Centre de gouvernance de l'information des Premières Nations (CGIPN) - https://fnigc.ca/fr/les-principes-de-pcap-des-premieres-nations/

Étude de cas 5 – Outil de surveillance communautaire des plages CoastSnap

Outil de surveillance communautaire des plages CoastSnap : La surveillance du littoral grâce à la science communautaire — Canada, Mexique et États-Unis

La plateforme de surveillance du littoral CoastSnap compte sur les membres de la collectivité pour qu'ils prennent des photos et les téléversent sur les médias sociaux (Harley et Kinsela, 2022). Ce projet consiste à installer des supports pour téléphone en acier inoxydable dans des lieux côtiers faciles d'accès. Des panneaux d'instructions simples encouragent les visiteurs de la plage à utiliser ce support pour prendre une photo et à la partager à l'aide de l'application CoastSnap ou sur n'importe quelle plateforme de médias sociaux. Chaque station a son mot-clic unique. (Harley et Kinsela, 2022). En septembre 2022, plus de 60 stations aux États-Unis et 13 stations au Canada étaient recensées. La première station CoastSnap a été installée en juin 2022 au Mexique, sur la plage de San Bruno, dans le Yucatán.

Figure 11 – Stations CoastSnap

Source : Harley et Kinsela, 2022

L'application CoastSnap a été créée en Australie en 2017. Elle s'est ensuite répandue dans le monde entier grâce à de nombreux partenariats et projets régionaux, dont le projet Coastie au Canada (Parcs Canada et Université de Windsor), et CoastSnap Delaware (Delaware Sea Grant College Program) et CoastSnap Woods Hole (Woods Hole Oceanographic Institution) aux États-Unis.

En plus de servir de base de données centralisée pour les images historiques, la technologie qui sous-tend CoastSnap permet de créer des vidéos en accéléré pour suivre la position du littoral. Le système d'arrière-plan est constitué d'algorithmes de traitement d'image complexes qui alignent les images selon un angle uniforme pour ensuite extraire la position du littoral. Des photos provenant de deux sites pilotes ont permis de valider la méthode en comparant la ligne de rivage dérivée de photos à des mesures locales. Cette méthode est en fait une solution de rechange scientifiquement rigoureuse et moins coûteuse que les méthodes de suivi traditionnel (Harley et coll., 2019).

Il est convenu que le succès d'un projet dépend d'une forte participation du public. L'engagement communautaire semble élevé, pour l'instant (des photos ont été affichées au moins chaque mois, mais souvent chaque semaine, à partir des stations au Canada et aux États-Unis).

Pour de plus amples renseignements sur CoastSnap : <www.coastsnap.com/>

4 Aspects techniques d'un plan de suivi

L'élaboration d'un programme de suivi des SFN doit prendre en compte plusieurs aspects techniques, y compris le choix d'indicateurs et de mesures, la définition de méthodes et techniques de collecte et d'analyse des données, et la portée du suivi (dans le temps et dans l'espace). Le présent chapitre donne un aperçu de ces aspects techniques clés, et comprend une étude de cas qui illustre les aspects techniques de la mise en œuvre d'un plan de suivi.

Le document d'orientation complémentaire intitulé *Suivi de l'efficacité : méthodes et indicateurs proposés* fournit des conseils techniques plus détaillés sur l'élaboration et la mise en œuvre de plan de suivi.

4.1 Indicateurs et mesures

En général, les programmes de suivi des projets de GRI conventionnels portent sur la performance technique. Étant donné le potentiel d'avantages connexes des projets SFN, il est crucial de prendre en compte un large éventail d'indicateurs pour mesurer leurs effets. Dans ce contexte, l'évaluation d'un projet SFN doit tenir compte non seulement de ses fonctions de GRI de base, mais aussi des divers avantages connexes sur le plan écologique et socioéconomique. À noter que le document d'orientation sur les avantages connexes des SFN examine cet aspect en détail.

La performance se définit comme la mesure dans laquelle les SFN atteignent un objectif précis, en mesurant la progression observée vers certaines cibles ou par rapport aux conditions de base (Dumitru et Wendling, 2021). De préférence, les conditions de base seront établies à partir de données historiques à long terme (voir la section 2.3). Une évaluation objective de la performance exige l'établissement préalable d'indicateurs et de mesures, préférablement à l'étape de planification du plan de suivi. Les indicateurs de performance des SFN peuvent être classés dans plusieurs catégories interdépendantes et qui se chevauchent (Morris et coll., 2019; Piercy et coll., 2021) :

- Performance technique (GRI) : elle concerne autant la « fonction » du projet (c.-à-d. ses capacités de protection contre les inondations) que sa « forme » (c.-à-d. le maintien des SFN en bon état de fonctionnement).
- Performance écologique : elle concerne le succès de la mise en œuvre sur le plan écologique, à l'amélioration de la biodiversité, au rétablissement d'un habitat et à l'amélioration des services écosystémiques (p. ex., qualité de l'eau, pêches, etc.).
- Performance sociale : elle concerne les avantages du projet sur le plan social, par exemple la santé humaine, le bien-être, la valeur récréative et culturelle, l'amélioration des moyens de subsistance et les perspectives d'emploi.
- Performance économique : elle concerne les avantages pécuniaires découlant du projet, comme les dommages évités, l'augmentation de la valeur des propriétés et l'accroissement de l'activité économique grâce au tourisme et aux pêches.

Outre l'évaluation de la performance des SFN, le programme de suivi doit réduire l'incertitude de même que les risques liés aux SFN. Les incertitudes graves doivent être déterminées au début de l'étape de conception, et les mesures appropriées doivent être définies afin de donner lieu à des activités de gestion adaptative et de permettre de déterminer si le projet atteint ses objectifs. Les changements climatiques sont source de grandes incertitudes, et des activités de suivi supplémentaires pourraient être nécessaires pour en quantifier les effets.

Pour la plupart des SFN, il existe un ensemble d'indicateurs de performance essentiels qui devraient faire partie de tous les programmes de suivi, par exemple les niveaux d'eau extrêmes et la couverture végétale. Des indicateurs de performance additionnels peuvent être inclus dans un programme de suivi, et leur choix se fera en fonction du projet et de ses objectifs, de son échelle, des risques qu'il

présente, du degré d'innovation, du budget, des directives stratégiques et de facteurs logistiques. Les budgets étant souvent limités, le choix d'indicateurs et de mesures doit être judicieux de manière à prioriser les aspects cruciaux du projet et, dans la mesure du possible, d'éclairer plusieurs types de critères de performance au moyen des mêmes données ou de la même méthode de levé (Piercy et coll., 2021). Il est également pertinent d'envisager l'application d'indicateurs et de méthodes normalisés (comme le montre l'étude de cas 6) pour permettre la comparaison entre les projets SFN et une collaboration potentielle entre les différents programmes de suivi. Les indicateurs doivent être mesurables, simples, réalisables, évolutifs, reproductibles, abordables et respecter les contraintes en matière de ressources disponibles, comme le temps et le personnel (Kumar et coll., 2021; Piercy et coll., 2021). Le document d'orientation complémentaire intitulé *Suivi de l'efficacité : méthodes et indicateurs proposés* propose une méthodologie et des indicateurs normalisés et en donne un aperçu.

Il faut établir des mesures pour définir les objectifs que vise le projet. Par exemple, un indicateur d'élévation de la plage pour la GRI pourrait inclure des mesures qui définissent l'épaisseur minimale, d'intervention et de la couche de base, et qui éclairent les décisions de gestion adaptative (comme le montre la figure 4).

Bien que le présent rapport porte sur le suivi des projets SFN qui n'ont pas encore été construits, les concepts de performance et analyses dont il traite s'appliquent aussi directement à l'évaluation des éléments naturels existants qui offrent une protection contre les inondations. Le suivi de la performance de ces éléments peut étayer les analyses coûts-avantages des interventions proposées et éclairer les stratégies de gestion, en particulier si elles concernent la préservation d'aires naturelles et la réalisation des services écologiques que procurent les biens naturels (MNAI, 2022).

Étude de cas 6 – Cadre de surveillance du littoral d'État

Cadre de surveillance du littoral d'État :
Approche normalisée du suivi des solutions fondées sur la nature (SFN)

État de New York, États-Unis

L'État de New York a reconnu qu'il avait besoin d'un cadre de suivi des SFN et des protocoles de collecte de données normalisés. Son Département d'État a donc commandé la réalisation d'un cadre de surveillance du littoral pour l'ensemble de l'État (*Statewide Shoreline Monitoring Framework*) (Science + Resilience Institute, 2020). Ce cadre a été élaboré par un réseau multidisciplinaire de chercheurs et de spécialistes au moyen d'un processus collaboratif qui facilite la comparaison des SFN avec les méthodes conventionnelles de gestion du littoral (Wijsman et coll., 2021).

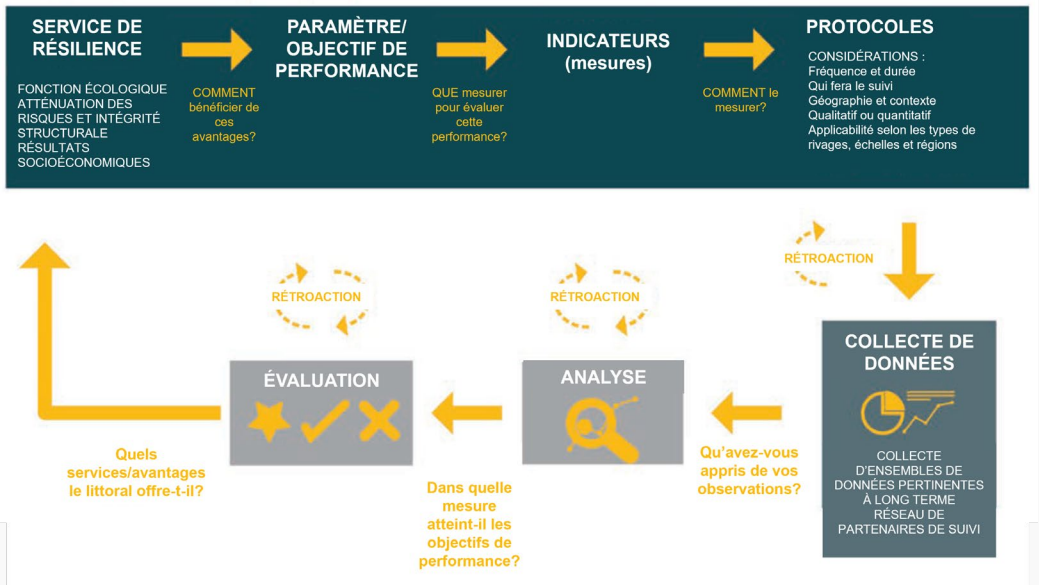
Ce cadre s'appuie sur une analyse documentaire générale, les observations de groupes de travail multidisciplinaires composés de spécialistes, la consultation de parties prenantes régionales et les recommandations d'organismes de réglementation et de conseils consultatifs. Il a par ailleurs été adapté pour refléter la collecte de données de suivi d'un projet pilote à 16 endroits dans l'État de New York au cours d'une même saison. Le cadre comprend :

- une feuille de route pour élaborer un plan de suivi propre au projet, tant pour les SFN que pour les infrastructures matérielles;
- une liste de 19 indicateurs recommandés pour les côtes de l'État de New York, et des directives sur la façon de restreindre leur sélection pour chacun des sites;
- des protocoles de collecte (sur le terrain) et d'analyse des données pour chaque indicateur;
- la création d'une base de données centralisée pour stocker et analyser les données;
- les enseignements tirés du programme pilote et des suggestions d'utilisation future.

Les indicateurs couvrent les services écologiques, d'atténuation des risques et socioéconomiques. Plus d'information peut être trouvée sur le site Web du Département d'État de l'État de New York : <https://dos.ny.gov/statewide-shoreline-monitoring-framework>.

Ce projet représente une étape majeure dans la constitution d'une base de données de plus en plus importante pour comparer les SFN et les infrastructures matérielles conventionnelles. Le cadre est conçu pour évoluer continuellement en fonction de la rétroaction et des besoins des utilisateurs.

Figure 12 – Cadre de surveillance



Source : Science + Resilience Institute, 2020

4.2 Méthodes et techniques

Les indicateurs de performance peuvent nécessiter des mesures, des techniques de collecte de données et des méthodes d'analyse des données différentes. Par exemple, mesurer le succès écologique, la fréquence des inondations et les avantages connexes sur le plan social peut faire appel à un large éventail de méthodes, de techniques et de types de données, allant des levés visuels aux capteurs de niveau d'eau sur place, en passant par l'imagerie satellitaire à distance et les entretiens avec des membres de la collectivité.

Les méthodes standards de collecte de données comprennent les observations et l'échantillonnage (sur place et à distance), les enquêtes et les recensements (en particulier pour ce qui est des mesures socioéconomiques), et les expériences en laboratoire et modèles numériques, qui sont des outils utiles durant les étapes de planification et pour les projets pilotes.

Les mesures peuvent être directes ou indirectes et fournir des mesures d'évaluation qualitatives, semi-quantitatives ou quantitatives. Les mesures directes comprennent les observations sur le terrain ou les données obtenues à distance, comme l'imagerie aéroportée ou satellitaire (Piercy et coll., 2021). Les exemples de mesures directes comprennent l'installation d'enregistreurs de données pour mesurer les niveaux d'eau, le comptage direct du nombre de visiteurs ou l'obtention d'images numérisées par drone pour définir les zones marécageuses. Les mesures directes ne sont pas toujours réalisables (souvent en raison de contraintes de financement ou d'accès); il est alors possible de leur substituer des mesures indirectes (Piercy et coll., 2021). Les exemples de mesures indirectes comprennent l'utilisation des marques d'eau de crue sur les bâtiments pour estimer les niveaux d'inondation, ou des mesures socioéconomiques ou écologiques basées sur des mesures semi-quantitatives.

Le financement étant reconnu comme une des principales contraintes pour le suivi des SFN, les programmes doivent en général comprendre un mode de collecte de données peu coûteux, ce qui peut inclure l'utilisation d'ensembles (maintenus) de données existants (tels que les programmes d'observation de la terre et de télédétection), l'établissement d'une méthode de mesure collaborative entre plusieurs projets et parties prenantes, et l'utilisation des résultats de projets de science communautaires ou des données recueillies par des membres de la collectivité. Des avancées technologiques et en recherche et développement devraient améliorer le suivi de l'efficacité des SFN, réduire les coûts et enrichir la base de connaissances et de preuves pour les projets SFN à venir (Somarakis et coll., 2019).

Quoi qu'il en soit, les résultats cohérents, comparables et reproductibles que génère un programme de suivi déterminent en grande partie sa valeur durable (Altman et coll., 2021). Il est donc avantageux, au moment de définir les méthodes et techniques de suivi, de faire appel à des experts dès le début du processus de planification et de les consulter pour assurer la conformité aux normes scientifiques. Il sera ainsi possible de s'assurer que les résultats sont défendables et que les données peuvent satisfaire aux exigences du projet et éclairer les projets et recherches à venir en matière de SFN. Il est souvent utile d'employer des méthodes et indicateurs normalisés (voir la section 4.1).

Le document complémentaire intitulé *Suivi de l'efficacité : méthodes et indicateurs proposés* décrit la méthodologie et les indicateurs proposés pour les SFN. Le rapport sur les avantages connexes décrit plus en détail les méthodes pour mesurer et évaluer ces avantages. En outre, Kumar et coll. (2021) proposent un examen des méthodes disponibles et des équipements utilisés pour évaluer la performance technique des SFN relativement à la gestion des risques d'inondation, et Raymond et coll. (2017) proposent un cadre d'évaluation des avantages connexes des SFN sur le plan socioéconomique.

4.3 Échelle physique et emplacements

Le suivi peut se faire à différentes échelles spatiales, de l'échelle locale (par exemple, une propriété, une route ou un parc) à celle d'une collectivité, d'une ville ou même d'une région. La définition d'un domaine spatial adapté au suivi est essentielle pour assurer la représentativité et la conformité des données (Dumitru et Wendling, 2021). Il convient d'adapter l'échelle du programme global de suivi d'un projet à l'autre, selon l'ampleur de l'intervention, les objectifs du projet et les incertitudes qu'il comporte, l'ampleur de l'effet prévu et la disponibilité du financement pour le suivi. En outre, il convient souvent d'envisager plusieurs échelles spatiales dans le cadre du programme de suivi afin de définir correctement différents indicateurs de performance. Par exemple, les indicateurs économiques nécessitent souvent un suivi à l'échelle d'une ville ou d'une région, tandis que les indicateurs de GRI se limitent souvent à l'empreinte du projet.

Si les SFN sont généralement appliquées à relativement petite échelle, l'acquisition et l'analyse de données à plus grande échelle peuvent également être utiles pour évaluer le potentiel d'amplification et de reproduction d'interventions SFN particulières.

Il est également important, durant l'élaboration d'un programme de suivi, de tenir compte des conditions propres au site qui peuvent agir sur la faisabilité du suivi, comme les caractéristiques physiques, les contraintes d'accessibilité, les contraintes météorologiques, le nombre limité d'heures de clarté, les fenêtres maréométriques, les périodes de délivrance de permis et la sécurité. Ces considérations sont particulièrement importantes pour l'installation d'instruments sur place. Les zones où seront installés les instruments doivent être choisies avec soin et tenir compte notamment de la sécurité pour la navigation et les nageurs, des nuisances sociales, des restrictions d'accès pour l'entretien, et du risque de vandalisme ou de vol.

4.4 Échelle temporelle et fréquence

Il importe de définir l'échelle temporelle et la périodicité du programme de suivi afin d'évaluer adéquatement la performance et éclairer la gestion adaptative. La conception d'un programme de suivi et l'établissement d'indicateurs et de mesures doivent tenir compte du moment du suivi, de sa fréquence et de sa durée.

La fréquence de suivi (ou régime d'acquisition, décrit dans Dumitru et Wendling, 2021) peut être divisée en quatre grandes catégories :

1. Données continues, générées par exemple par les instruments sur place (p. ex., marégraphes et caméras)
2. Données fondées sur la demande, comme le suivi après des tempêtes extrêmes ou d'autres événements pertinents (voir la section 2.3)
3. Données ponctuelles, qui sont générées une fois dans cette configuration (p. ex., données de suivi de la construction, qui présentent un instantané non reproductible)
4. Données périodiques, comme le profil saisonnier des plages

Idéalement, la dynamique temporelle attendue d'un processus ou d'un indicateur de performance donné devrait déterminer le choix d'un régime d'acquisition particulier. De plus, la fréquence de suivi devrait être suffisante pour permettre une gestion adaptative (comme le montre la figure 4). En pratique, cependant, l'intervalle de suivi est le fruit d'un compromis entre plusieurs facteurs, comme les contraintes technologiques, l'échéancier du projet et la disponibilité du financement et des ressources (Dumitru et Wendling, 2021).

Outre la fréquence du suivi, la durée et l'échelle temporelle du suivi, de l'analyse des données et de l'évaluation de la performance doivent être définies pour chaque indicateur de performance

sélectionné en tenant compte des résultats attendus et improbables ainsi que de l'échelle naturelle et de la variabilité de chaque indicateur. Il convient de noter que certaines SFN peuvent mettre des années à se concrétiser et à atteindre leur pleine performance en matière de GRI et d'avantages connexes (par exemple, les zones humides restaurées à grande échelle ou nouvellement créées). Il est donc parfois nécessaire d'attendre que le système ait atteint sa maturité avant d'évaluer pleinement les indicateurs de performance, et ainsi éviter les résultats décevants et des mesures d'adaptation inutiles (de Looff et coll., 2021). Néanmoins, le suivi à court terme pourrait confirmer si la théorie du changement établie pour le projet était correcte et peut encore donner lieu à des mesures de gestion adaptative. Par exemple, la perte de végétation jeune durant une tempête inattendue ou à la suite d'une recherche de nourriture intensive par des herbivores peut entraîner le besoin de replantation (voir l'étude de cas 1).

Un échéancier adéquat est essentiel pour tout programme de suivi afin d'éviter les lacunes dans les données, leur non-pertinence et le manque d'information essentielle au moment d'évaluer la performance des SFN et d'établir des conditions de base. L'échéancier du programme de suivi doit donc être évalué au début de l'étape de planification et de conception du projet, et être révisé dans le cadre de la gestion adaptative.

Le rapport intitulé *Suivi de l'efficacité : méthodes et indicateurs proposés* décrit plus en détail l'échelle temporelle et la fréquence du suivi.

4.5 Analyse des données

Le traitement et l'interprétation des données brutes collectées durant le programme de suivi se feront en fonction des mesures et des indicateurs sélectionnés, afin que des renseignements significatifs puissent être obtenus pour mesurer la performance des SFN et soutenir la gestion adaptative.

Divers types d'analyse et de traitement des données sont possibles, allant des statistiques de base et de l'agrégation spatiale/temporelle, à des techniques plus élaborées qui regroupent un ensemble de mesures et de paramètres différents pour l'estimation d'indicateurs complexes. Il importe également de mettre en place des procédures d'assurance et de contrôle de la qualité dès le début du processus d'élaboration du plan de suivi, et d'utiliser des techniques et méthodes normalisées autant que possible, comme stocker l'ensemble de l'information et des métadonnées pertinentes, documenter toutes les formes de traitement des données et veiller à ce que les données représentent fidèlement les conditions observées. La transparence et la reproductibilité sont essentielles pour que l'équipe de projet puisse s'y fier aux fins de gestion adaptative (ainsi que d'autres parties prenantes, y compris les organismes de réglementation et le public), et pour accroître l'utilisation et la valeur des données collectées au-delà du projet visé. En particulier, des métadonnées détaillées sont essentielles à la saisie de détails importants (par exemple, l'emplacement, l'instrumentation, l'entretien, les méthodes de traitement, etc.) qui pourraient avoir une incidence sur la fiabilité et l'utilisation future des données.

Des considérations relatives aux échelles spatiales et temporelles (voir les sections 4.3 et 4.4) s'appliquent elles aussi à l'analyse des données. La qualité des données doit être vérifiée pour s'assurer que les résultats ne sont pas entachés par la variabilité temporelle à court ou à long terme, ou par les caractéristiques spatiales naturelles.

Il est essentiel de garantir l'accès aux données et la diffusion de celles-ci pour promouvoir les SFN et encourager la collaboration et l'enrichissement du savoir. Comme indiqué à la section 3.4, fournir des résultats faciles à interpréter sera utile lors de la diffusion de l'information, tout comme se concentrer sur les messages clés. L'utilisation d'outils d'analyse de données populaires (c'est-à-dire accessibles au plus grand nombre) et de méthodes normalisées facilitera la reproduction, l'échange des connaissances et la continuité des procédures analytiques.

5 Efficacité du suivi

Le suivi peut procurer d'importants avantages aux projets de GRI et constitue un élément essentiel des projets SFN. Malgré les avantages potentiels du suivi, un besoin persistant de lier la portée et l'échelle des initiatives de suivi aux besoins, aux limites de financement et aux risques globaux du projet peut être constaté, ce qui peut réduire l'efficacité globale des initiatives de suivi (voir la section 3). En outre, les conditions variables de l'environnement et du site, tout comme l'évolution des conditions climatiques, peuvent avoir une incidence sur la qualité et la fiabilité des résultats du suivi. Le présent chapitre décrit brièvement l'effet que pourraient avoir ces facteurs sur les résultats du suivi. De plus, nous y examinons l'efficacité du suivi des SFN par rapport au suivi des infrastructures matérielles conventionnelles.

5.1 Incidence de l'emplacement des sites

Pour qu'un suivi soit efficace, il est important d'adapter le programme de suivi à chacun des sites et au type précis de SFN. La variabilité d'emplacement des sites en Amérique du Nord peut limiter la qualité, la quantité ou les types de données de suivi pouvant être collectés et diminuer l'efficacité de l'activité de suivi, en cas de sélection des mauvaises méthodes. Les caractéristiques potentielles des sites qui pourraient diminuer l'efficacité du suivi comprennent, entre autres :

- les fenêtres maréométriques limitées;
- le nombre limité d'heures de clarté;
- la croissance ou la couverture végétale excessive;
- la couche de glace;
- l'accumulation de débris et de sédiments;
- les violentes tempêtes;
- l'équipement endommagé par des humains et des animaux;
- la proximité limitée de l'équipement et du personnel;
- l'accès limité au site aux fins d'entretien.

Ainsi, l'emplacement du site compte pour beaucoup dans la sélection des indicateurs de performance (voir la section 4.1) et des méthodes de suivi (voir la section 4.2), comme dans la planification des stratégies de gestion adaptative (voir la section 2.4).

5.2 Effets des changements climatiques

Les effets des changements climatiques constituent un facteur à prendre en compte dans la conception du programme de suivi et celle des SFN elles-mêmes. Les changements climatiques peuvent diminuer l'efficacité du suivi par l'intermédiaire de deux mécanismes principaux :

1. Effets sur la fonction : les changements climatiques et la fluctuation des conditions sur place nuisent au fonctionnement de l'équipement et aux techniques de suivi.
2. Effets sur les conditions de base : les changements climatiques (plutôt que les SFN) modifient les conditions de base relatives aux indicateurs de performance sélectionnés.

Pour éviter les changements dans la fonction de suivi, le plan de suivi peut tenir compte de l'élévation du niveau de la mer et d'autres effets des changements climatiques (par exemple, des précipitations accrues, l'acidité des océans, etc.). Toutefois, étant donné les incertitudes entourant les prévisions en matière de changements climatiques et leurs effets subséquents sur les écosystèmes, il est recommandé de prévoir l'adaptation du plan de suivi, plutôt que de rendre compte entièrement de changements potentiels directement dans le concept.

Des conditions de base changeantes dues aux changements climatiques pourraient agir sur les mesures d'évaluation des effets et de la performance définies pour le programme de suivi des SFN. Comme les méthodes d'évaluation conventionnelles qui comparent les résultats du suivi à des conditions de base statiques pourraient être inadéquates, des conditions de base évolutives doivent être prises en considération (NCCARF, 2018). Le rapport complémentaire intitulé *Suivi de l'efficacité : méthodes et indicateurs proposés* propose des pratiques exemplaires en matière de suivi pour déterminer et adapter des conditions de base changeantes à cause des changements climatiques.

Outre les conditions de base évolutives, les changements climatiques peuvent aussi modifier la façon de voir la performance et la réussite d'un système donné. Par conséquent, la perception du succès ou de l'échec du projet (défini au moyen de mesures de performance) devra peut-être être corrigée dans le contexte des changements climatiques. Une pareille correction pourrait être nécessaire dans le cas des seuils d'intervention et des exigences en matière d'entretien (voir la figure 4).

Dans ce contexte, il est recommandé d'adopter une approche de gestion adaptative à long terme du suivi. Ce plan à long terme doit viser à établir des jalons et à déterminer des moments charnières où il pourrait être nécessaire de réviser ou de modifier le plan de suivi. L'évolution du climat pourrait justifier des mesures de suivi additionnelles.

Le suivi est en outre un facteur important pour mieux comprendre les effets des changements climatiques. Les travaux de suivi doivent viser à continuellement déterminer, évaluer et gérer les conséquences des conditions climatiques actuelles et futures.

5.3 Comparaisons avec les infrastructures conventionnelles

Les activités de suivi servant à évaluer l'efficacité des SFN par rapport aux infrastructures matérielles conventionnelles (par exemple, les ouvrages longitudinaux, brise-lames et digues) varient considérablement en fonction de la méthodologie de même que des mesures et indicateurs employés. Les spécialistes qui ont participé à la série d'ateliers de la CCE (DHI, 2022) ont indiqué que le suivi importe pour tous les projets de GRI; cependant, ils ont aussi déterminé qu'il importe plus pour les SFN que pour les solutions d'infrastructure conventionnelles.

Dans le cas d'infrastructures matérielles conventionnelles, le suivi porte principalement sur les indicateurs de performance de la GRI et, dans une moindre mesure, sur des indicateurs environnementaux. De plus, le suivi d'infrastructures conventionnelles porte en général sur la préconstruction, la construction et une surveillance à court terme après la construction pour éclairer le paiement et la conformité avec le concept. Dans le cas d'infrastructures à plus haut risque, comme les levées ou digues surélevées qui protègent les centres urbains densément peuplés, un suivi régulier à long terme de la performance de la GRI est prévu.

En revanche, le suivi à long terme et la gestion adaptative sont fondamentaux pour les SFN. Le suivi doit cibler les avantages connexes en plus de la performance de la GRI. Il est impératif, afin de mieux établir la valeur des SFN, de déterminer tous les avantages connexes potentiels et de sélectionner les mesures appropriées à évaluer dès les étapes liminaires du projet. Un document d'orientation complémentaire intitulé *Avantages connexes* présente les avantages connexes des SFN.

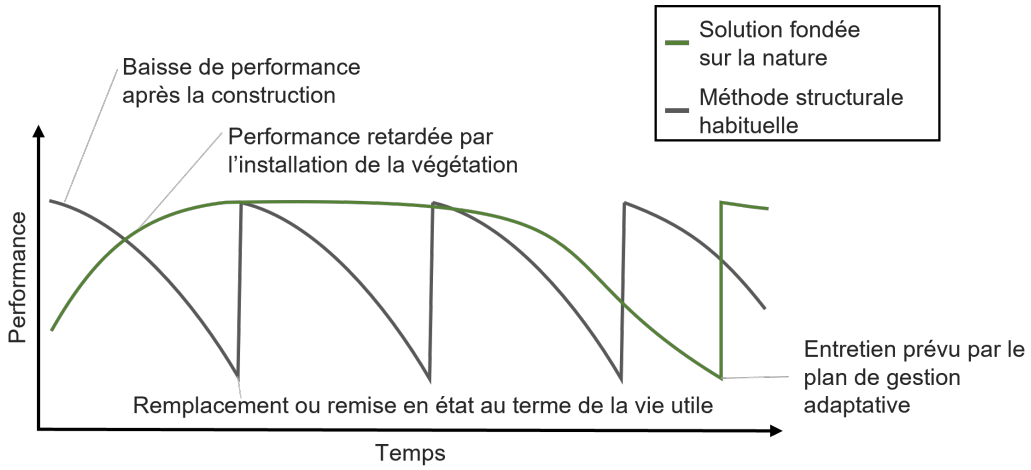
De plus, lorsque les options de GRI sont évaluées, l'analyse tend à être axée principalement sur une comparaison directe des coûts et des avantages en se fondant uniquement sur la performance de la GRI (van Zanten et coll., 2021). Pour comparer les SFN aux infrastructures matérielles conventionnelles, il est important d'avoir une meilleure compréhension des avantages connexes et des effets imprévus des solutions potentielles. Il est difficile de comparer adéquatement la fonction globale des SFN avec les infrastructures conventionnelles, étant donné l'absence générale de données de suivi sur les infrastructures conventionnelles – en particulier en ce qui concerne les avantages connexes. Vu la pression croissante qu'exercent les changements climatiques sur les programmes de

GRI en zones urbaines, il est recommandé que les personnes qui prennent les décisions accordent la même importance au financement et à la collecte de données de suivi normalisées pour les infrastructures de GRI conventionnelles et de type SFN, y compris à leurs avantages connexes. Une telle approche permettra une meilleure analyse comparative de la performance et des effets des infrastructures et de ce fait améliorera les capacités de gestion adaptative et la compréhension future de leur efficacité et de leurs applicabilités respectives.

Il est également important de souligner que les avantages et la valeur des SFN évoluent au fil du temps et qu'ils s'améliorent souvent à mesure que le projet progresse (Bridges et coll., 2021b). Comme indiqué à la section 4.4, le cadrage, la planification, la conception et la mise en œuvre du projet doivent tenir compte de la variabilité naturelle de la solution. L'analyse du coût du cycle de vie est une étape essentielle de ce processus. Ce type d'analyse définit les dépenses d'investissement et d'entretien (c'est-à-dire le coût du cycle de vie) prévues pour la durée de vie de l'ensemble du système de GRI (Piercy et coll., 2021).

La figure 13 propose un modèle conceptuel de la manière dont la performance des infrastructures habituelles et des SFN peut évoluer au fil du temps et entraîner des coûts de cycle de vie sensiblement différents pour chaque type de solution. La performance des infrastructures matérielles conventionnelles diminue après leur construction, ce qui nécessite leur remplacement ou leur remise en état à la fin de leur vie utile. En revanche, la performance des SFN peut être retardée au départ avant de s'améliorer au fil du temps. Les plans de suivi et de gestion adaptative éclairent par la suite les besoins d'entretien. La prise en compte de ces coûts de cycle de vie sur une période plus longue permet de mieux comparer les SFN avec les infrastructures conventionnelles.

Figure 13 – Modèle conceptuel de la performance variable au cours de la vie utile de deux solutions de GRI



Source : adapté de Piercy et coll., 2021, 194

6 Possibilités et orientations futures

Le suivi est essentiel à la mise en œuvre efficace des SFN. Il appuie l'évaluation de la performance, éclaire la gestion adaptative, soutient les projets à venir et inspire confiance aux promoteurs et aux bailleurs de fonds des projets SFN (Vouk et coll., 2021). Cependant, plusieurs défis et écarts des savoirs connus relatifs au suivi entravent la mise en œuvre et l'adoption des SFN. La section 1.3 décrit les lacunes dans les données et obstacles clés, ces derniers étant de nature sociale, technique, environnementale et institutionnelle. L'encadré 4 présente une liste générale de possibilités et de futures initiatives que pourraient exploiter les personnes qui prennent les décisions pour combler les lacunes dans les données et écarter les obstacles connus.

Il est possible de surmonter ou tout au moins écarter la plupart des obstacles de nature sociale (ou comportementale) en améliorant la communication, la coopération et l'échange de connaissances. Par exemple, l'élaboration d'ateliers et de séminaires sur le suivi des SFN tout comme de séances de formation aux techniques et à l'équipement de suivi fréquemment utilisés permettrait d'enlever les obstacles de nature sociale et technique.

L'échange des connaissances acquises dans le cadre de projets antérieurs est également essentiel pour accélérer la compréhension technique des SFN et leur adoption globale. Il est impératif de documenter et de diffuser largement l'information sur les projets, peu importe leur degré de réussite. La création d'une base de données centralisée et reconnue (à l'échelle de l'industrie) des projets et de leurs données de suivi constitue un premier pas important pour améliorer l'accès aux données et l'acquisition de connaissances. De même, des conseils et des recherches sont nécessaires pour déterminer les méthodes et indicateurs de performance qui conviennent aux différents types de SFN dans différentes régions (Vouk et coll., 2021). Le rapport complémentaire intitulé *Suivi de l'efficacité : méthodes et indicateurs proposés*, qui propose des méthodes et des indicateurs de suivi standards pour les SFN, constitue un pas dans cette direction. Offrir une formation structurée en suivi et gestion adaptative, dans des établissements d'enseignement, à des ingénieurs, des scientifiques et aux personnes qui prennent les décisions, et combler le fossé entre les disciplines permettrait également de combler les lacunes en matière de savoirs techniques et de réduire l'hésitation à mettre en œuvre des SFN.

L'approfondissement du savoir et le développement de la recherche mènent à de nouvelles observations sur la performance des SFN (comme la performance relative de différentes espèces végétales pour atténuer les vagues) qui pourraient améliorer le suivi grâce à des mesures et indicateurs plus appropriés.

La variabilité saisonnière et à long terme des systèmes environnementaux naturels constitue également un important obstacle au suivi des SFN. Favoriser et mettre en évidence les études de cas qui présentent des résultats de suivi à long terme (afin d'écarter les résultats potentiellement trompeurs symptomatiques d'une variabilité à court terme) pourrait enlever cet obstacle. En outre, les techniques de suivi à distance pourraient fournir des méthodes relativement économiques et efficaces pour saisir la variabilité saisonnière et à long terme des systèmes.

Les nouvelles technologies, notamment les progrès en télédétection, les systèmes d'observation de la terre, l'apprentissage machine et les mégadonnées, de même que des instruments peu coûteux pour le suivi communautaire, pourraient aider à réaliser plus de possibilités de suivi. Le développement d'autres capacités liées aux nouvelles technologies pourrait également être fort utile.

Par ailleurs, les spécialistes consultés dans le cadre de la série d'ateliers de la CCE sur les SFN (DHI 2022) ont souligné à plusieurs reprises que le financement insuffisant pour le suivi à long terme et la gestion adaptative était le principal obstacle à la mise en œuvre des SFN. La création de voies de financement stratégiques à l'échelle régionale pourrait enlever les obstacles au suivi liés au financement, améliorer l'apprentissage et promouvoir l'adoption des SFN. Comme autre solution, les

personnes qui prennent les décisions pourraient lier la délivrance de permis, les approbations ou le financement à l'élaboration et à la mise en œuvre d'un programme de suivi (Vouk et coll., 2021). L'encadré 4 présente d'autres possibilités institutionnelles qui touchent la modification d'exigences de projet pour inclure l'élaboration de plans de suivi et la diffusion de données, et la simplification du processus de délivrance de permis pour les SFN, en créant des voies simplifiées.

Encadré 4. Possibilités et orientations futures relatives au suivi des SFN, et type d'obstacle qu'elles écartent

Possibilités et orientations futures	Type d'obstacle écarté			
	Social	Technique	Environ.	Institut.
1. Organiser ou financer des sessions, des ateliers et des séminaires sur le suivi des SFN, et insister sur l'utilisation de données qualitatives ou participatives.	✓	✓		✓
2. Élaborer de courts programmes de formation (avec matériels facilement accessibles) sur les techniques de suivi standards, pour renforcer les capacités des collectivités.	✓	✓		
3. Créer une base de données centralisée (pour l'ensemble de l'industrie) pour héberger les données de suivi et les diffuser.	✓	✓		
4. Rendre les données de suivi existantes/historiques accessibles au public.	✓	✓		
5. Établir ou reconnaître des normes techniques et des lignes directrices propres au suivi des SFN.		✓		✓
6. Inclure une formation sur le suivi et la gestion adaptative dans les programmes/diplômes universitaires (ou en promouvoir l'inclusion).		✓		
7. Établir une communauté de pratique comprenant des spécialistes de plusieurs disciplines dans plusieurs régions.		✓		
8. Encourager et mettre en lumière les études de cas qui ont des résultats négatifs.		✓		
9. Encourager et mettre en lumière les études de cas qui présentent des résultats de suivi à long terme.		✓	✓	
10. Renforcer les capacités relatives aux nouvelles technologies, comme le suivi à distance (pour atténuer les contraintes d'accès physique et de logistique).		✓	✓	
11. Insister sur les pratiques de gestion adaptative pour le suivi à long terme (dans les lignes directrices, demandes, exigences en matière de financement, etc.).			✓	✓
12. Exiger la prise en compte du suivi et de la gestion adaptative aux étapes liminaires du projet (p. ex., dans les demandes de propositions).				✓
13. Exiger que les équipes de projet s'engagent à diffuser les données (peu importe le résultat du projet) dès les étapes liminaires.				✓
14. Simplifier les processus de délivrance de permis (p. ex., un processus accéléré) pour la construction, le suivi et la gestion adaptative des SFN.				✓
15. Établir des voies de financement régionales pour le suivi (à long terme), l'analyse et la diffusion des données et la gestion adaptative.				✓
16. Établir des voies de financement pour les projets pilotes SFN et les projets qui comportent un degré élevé de gestion adaptative.				✓
17. Lier la délivrance de permis et approbations pour tous les projets de GRI à l'élaboration et à la mise en œuvre d'un programme de suivi par le promoteur.	✓			✓
18. Créer des possibilités de financement particulières qui sont conditionnelles à l'élaboration et à la mise en œuvre d'un programme de suivi par le promoteur.	✓			✓

7 Conclusions

Le présent document offre une synthèse du processus de suivi qui permet d'évaluer l'efficacité des projets axés sur les SFN aux fins de la GRI au Canada, au Mexique et aux États-Unis. Il porte avant tout sur les divers aspects administratifs et techniques de l'élaboration d'un plan de suivi, et sur les possibilités de remédier aux insuffisances d'informations et d'écarter les obstacles relatifs au suivi.

Le suivi est un volet essentiel de la mise en œuvre effective des SFN, car il permet d'évaluer la performance du projet, les avantages connexes et les effets imprévus. Crucialement, le suivi éclaire les stratégies de gestion adaptative, fournit une base pour de futures recherches et favorise l'adoption des SFN. Compte tenu de la pertinence des avantages connexes dans ce cas, il convient d'évaluer la performance des SFN dans une perspective élargie par une équipe de projet interdisciplinaire.

Le processus de suivi devrait commencer dès les étapes liminaires d'un projet et se poursuivre longtemps après sa construction. Il est recommandé d'utiliser des méthodes et des indicateurs standards ainsi que des bases de connaissances et lignes directrices centralisées, mais chaque projet doit avoir un plan de suivi qui lui est propre et qui tient compte de l'ampleur de la solution, des conditions sociales, physiques et environnementales, du financement disponible et du caractère novateur de la solution.

L'un des principaux points à retenir de ce rapport est le suivant : la collaboration et la communication sont essentielles pour faire progresser les activités de suivi des SFN. Élargir l'accès aux données et leur diffusion est essentiel pour établir une base solide pour les futures SFN, et pour les promouvoir auprès du grand public. La collaboration au sein d'un projet et entre différentes activités de suivi est cruciale afin de réduire les coûts de collecte des données et de fournir des renseignements plus utiles pour les projets de recherche-développement sur les SFN.

Enfin, il existe de nombreuses possibilités de faire progresser les SFN en comblant les lacunes dans les données et en écartant les obstacles relatifs au suivi. Il est essentiel de multiplier les possibilités de financement, par exemple en créant des voies de financement additionnelles pour les projets qui comportent un suivi à long terme, l'analyse et la diffusion des données et la gestion adaptative, afin de lever les obstacles à la mise en œuvre des SFN.

Bibliographie

Altman, S., C. Cairns, P. Whitfield, J. Davis, M. Finkbeiner et B. McFall (2021). Chapter 13: Plant systems: submerged aquatic vegetation and kelp. In *International guidelines on natural and nature-based features for flood-risk management.* T.S. Bridges, J.K. King, J.D. Simm, M.W. Beck, G. Collins, Q. Lodder et R.K. Mohan (éd.). Vicksburg (Mississippi), US Army Engineer Research and Development Center. Accessible en ligne : <https://hdl.handle.net/11681/41946>.

ASCE (2007). *The New Orleans hurricane protection system: what went wrong and why. A report by the American Society of Civil Engineers Hurricane Katrina External Review Panel*. Reston (Virginie), États-Unis, American Society of Civil Engineers. Accessible en ligne : <https://biotech.law.lsu.edu/katrina/reports/ERPreport.pdf>.

Banque mondiale (2017). *Implementing Nature-based Flood Protection : Principles and Implementation Guidance*. Washington, D.C., Banque mondiale. Accessible en ligne : <http://hdl.handle.net/10986/28837>.

Beck, M., O. Quast et K. Pfliegner (2019). *Ecosystem-based adaptation and insurance: success, challenges and opportunities.* Bonn, Allemagne, InsuResilience Global Partnership. Accessible en ligne : <www.insuresilience.org/wp-content/uploads/2019/11/Ecosystem-based-Adaptation-and-Insurance.pdf>.

Bridges, T.S., E.M. Bourne, J.K. King, H.K. Kuzmitski, E.B. Moynihan et B.C. Suedel (2018). *Engineering with Nature: An Atlas*. ERDC/EL SR-18-8, Vicksburg (Mississippi), US Army Engineer Research and Development Center. Accessible en ligne : <http://dx.doi.org/10.21079/11681/27929>.

Bridges, T.S., E.M. Bourne, B.C. Suedel, E.B. Moynihan et J.K. King (2021a). *Engineering with nature: an atlas, volume 2*. ERDC SR-21-2, Vicksburg (Mississippi), US Army Engineer Research and Development Center. Accessible en ligne : <https://hdl.handle.net/11681/40124>.

Bridges, T.S., J.K. King, J.D. Simm, M.W. Beck, G. Collins, Q. Lodder et R.K. Mohan (2021b). *International guidelines on natural and nature-based features for flood-risk management*, Vicksburg (Mississippi), États-Unis, Army Engineer Research and Development Center. Accessible en ligne : <https://hdl.handle.net/11681/41946>.

Bush, E. et D. Lemmen (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*. Ottawa (Ontario), gouvernement du Canada. Accessible en ligne : <https://changingclimate.ca/site/assets/uploads/sites/2/2020/06/RCCC_FULLREPORT-FR-FINAL.pdf>.

CBCL Ltd. (2017). *Truro flood risk study, town of Truro.* Accessible en ligne : <www.truro.ca/adm/708-truro-flood-risk-study/file.html>.

CGIPN (2022). Les principes de PCAP^{MD} des Premières Nations. Le Centre de gouvernance de l'information des Premières Nations. <https://fnigc.ca/fr/les-principes-de-pcap-des-premieres-nations/>. Consulté le 14 novembre 2022.

Connop, S., P. Vandergert, B. Eisenberg, M.J. Collier, C. Nash, J. Clough et D. Newport (2016). Renaturing cities using a regionally-focused biodiversity-led multifunctional benefits approach to urban green infrastructure. *Environ. Sci. Policy*, 62, p. 1 à 13. Accessible en ligne : <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.013>.

CRSNG-ResNet (2022). Bay of Fundy dykeland futures. Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada -ResNet. <www.nsercresnet.ca/landscape-1---bay-of-fundy.html>. Consulté le 21 septembre 2022.

de Looff, H., T. Welp, N. Snider et R. Wilmink (2021). Chapter 7: Adaptive management. In *International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management.* Rédigé par T.S. Bridges, J.K. King, J.D. Simm, M.W. Beck, G. Collins, Q. Lodder et R.K. Mohan. Vicksburg (Mississippi), US Army Engineer Research and Development Center. Accessible en ligne : <https://hdl.handle.net/11681/41946>.

DHI Water and Environment Inc. (2022). Solutions fondées sur la nature pour lutter contre les inondations dans les villes côtières : atelier sommaire. Préparé pour le compte de la Commission de coopération environnementale.

Doswald, N., S. Janzen, U. Nehren, K. Santamaria, M.J. Vervest, J. Sans, L. Edbauer, S. Chavda, S. Sandholz, F. Renaud, V. Ruiz, L. Narvaez, S. Yang, D. Mohil, D. Uzoski, N. Gerner et C. Grey (2021). *Words into action guideline series: Nature-based solutions for disaster risk reduction.* Genève, Suisse, United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Accessible en ligne : <www.preventionweb.net/files/74082_naturebasedsolutionsfordrr20210624c.pdf>.

Drever, C.R., S.C. Cook-Patton, F. Akhter, P.H. Badiou, G.L. Chmura, S.J. Davidson, R.L. Desjardins, A. Dyk, J.E. Fargione, M. Fellows et B. Filewod (2021). Natural climate solutions for Canada. *Science Advances* 7(23). Accessible en ligne : <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd6034>.

Dumitru, A. et L. Wendling (Eds) (2021). *Evaluating the impact of Nature-based solutions: A handbook for practitioners*. Bruxelles, Belgique, Commission européenne, Directorat général pour la recherche et l'innovation. Accessible en ligne : <https://doi.org/10.2777/244577>.

ECCC et RNCan (2021). Carte des actions en adaptation. Environnement et Changement climatique Canada et Ressources naturelles Canada. < https://changingclimate.ca/fr/map/>. Consulté le 15 novembre 2022.

EPA (2017). *Multi-model framework for quantitative sectoral impacts analysis: a technical report for the fourth National climate assessment*. 430-R-17-001, Washington, Environmental Protection Agency. Accessible en ligne : <www.epa.gov/sites/default/files/2021-03/documents/ciraii_technicalreportfornca4_final_with_updates_11062018.pdf>.

Gertler, P.J., S. Martinez, P. Premand, L.B. Rawlings et C.M. Vermeersch (2016). *Impact evaluation in practice*. 2nd Edition, Washington, publications de la Banque mondiale. Accessible en ligne : <http://hdl.handle.net/10986/25030>.

Google Earth Pro (2015). Continent nord-américain. Consulté le 15 septembre 2022.

Harley, M.D. et M.A. Kinsela (2022). CoastSnap: A global citizen science program to monitor changing coastlines. *Continental Shelf Research*, 245, 104796. Accessible en ligne : <https://doi.org/10.1016/j.csr.2022.104796>.

Harley, M.D., M.A. Kinsela, E. Sánchez-García et K. Vos (2019). Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images. *Coastal Engineering*, 150, p. 175 à 189. Accessible en ligne : <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.04.003>.

Intact (2022). Bâtir des collectivités plus résilientes. Dans la communauté – Résilience climatique. Intact Corporation financière <www.intactfc.com/English/in-the-community/climate-resilience/default.aspx>. Consulté le 29 septembre 2022.

Kumar, P., S.E. Debele, J. Sahani, N. Rawat, B. Marti-Cardona, S.M. Alfieri, B. Basu, A.S. Basu, P. Bowyer, N. Charizopoulos et J. Jaakko (2021). An overview of monitoring methods for

assessing the performance of nature-based solutions against natural hazards. *Earth-Science Reviews*, 217, 103603. Accessible en ligne : <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103603>.

MNAI (2022). *Developing Levels of Service for Natural Assets: A Guidebook for Local Governments*. Municipal Natural Assets Initiative. Accessible en ligne : <https://mnai.ca/media/2022/01/MNAI-Levels-of-Service-Neptis.pdf>.

Moffatt et Nichol, et San Elijo Lagoon Conservancy (2016). *Cardiff Beach living shoreline project final feasibility study*. Accessible en ligne :<http://trnerr.org/wp-content/uploads/2017/06/Final-Feasibility-Study-with-attachments.pdf>.

Morris, R.L., E.C. Heery, L.H. Loke, E. Lau, E. Strain, L. Airoldi, K.A. Alexander, M.J. Bishop, R.A. Coleman, J.R. Cordell et Y.W. Dong (2019). Design options, implementation issues and evaluating success of ecologically engineered shorelines. *Oceanography and Marine Biology: An Annual* Review, 57, p. 169 à 228. Accessible en ligne : <www.taylorfrancis.com/chapters/oa-edit/10.1201/9780429026379-4/>.

NOAA-NCCOS (2022). Swan Island restoration engineering with nature (EWN) principles in practice – Storymap. National Oceanic and Atmospheric Administration - National Centers for Coastal Ocean Science. <https://storymaps.arcgis.com/stories/7156cfc6353048ad92ef80f737b77c29>. Consulté le 20 septembre 2022.

Piercy, C.D., J.D. Simm, T.S. Bridges, M. Hettiarachchi et Q. Lodder (2021). Chapter 5: NNBF performance. In: *International guidelines on natural and nature-based features for flood risk management*. Édité par T.S. Bridges, J.K. King, J.D. Simm, M.W. Beck, G. Collins, Q. Lodder et R.K. Mohan. Vicksburg (Mississippi), US Army Engineer Research and Development Center. Accessible en ligne : <https://hdl.handle.net/11681/41946>.

Rahman, T., T. Bowron, B. Pett, K. Sherren, A. Wilson et D. van Proosdij (2021). Navigating nature-based coastal adaptation through obstacles: A synthesis of practitioners' narrative from Nova Scotia, Canada. *Society and Natural Resources*, 34(9), p. 1268 à 1285. Accessible en ligne : <https://doi.org/10.1080/08941920.2021.1940405>.

Raymond, C.M., N. Frantzeskaki, N. Kabisch, P. Berry, M. Breil, M.R. Nita, D. Geneletti et C. Calfapietra (2017). A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science and Policy,* 77, p. 15 à 24. Accessible en ligne : <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008>.

Reguero, B.G., F. Secaira, A. Toimil, M. Escudero, P. Díaz-Simal, M.W. Beck, R. Silva, C. Storlazzi et I.J. Losada (2019). The risk reduction benefits of the Mesoamerican reef in Mexico. *Frontiers in Earth Science*, 7, 12. Accessible en ligne : <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00125>.

Science + Resilience Institute Jamaica Bay (2020). *Measuring Success Monitoring Natural and Nature-Based Shoreline Features in New York State*. Rapport final, New York, New York Department of State. Accessible en ligne : <https://dos.ny.gov/system/files/documents/2021/06/measuringsuccess_finalreport_minusappendices_050721.pdf>.

Sherren, K., T. Bowron, J.M. Graham, H.M.T., Rahman et D. van Proosdij (2019). Coastal infrastructure realignment and salt marsh restoration in Nova Scotia, Canada, Chapter 5. In: *Responding to Rising Seas: OECD Country Approaches to Tackling Coastal Risks*, p. 111 à 135, Paris, France, publication de l'OCDE. Accessible en ligne : <www.oecd-ilibrary.org/environnement/responding-to-rising-seas_9789264312487-en>.

Sherren, K., K. Ellis, J.A. Guimond, B. Kurylyk, N. LeRoux, J. Lundholm, M.L. Mallory, D. van Proosdij, A Walker, T.M. Bowron, J. Brazner, L. Kellman, B.L. Turner et E. Wells

(2021). Understanding multifunctional Bay of Fundy dykelands and tidal wetlands using ecosystem services-a baseline. *Facets*, 6, p. 1446 à 1473. Accessible en ligne : <https://doi.org/10.1139/FACETS-2020-0073>.

Silva Zuniga, M.C., G. Watson, G.G. Watkins, A. Rycerz et J. Firth (2020). *Increasing infrastructure resilience with Nature-based Solutions (NbS): A 12-step technical guidance document for project developers*. Washington, Banque interaméricaine de développement (BID). Accessible en ligne : <http://dx.doi.org/10.18235/0002325>.

Somarakis, G., S. Stagakis et N. Chrysoulakis (Eds.) (2019). *ThinkNature Nature-based solutions handbook*. Projet ThinkNature financé par le Programme de recherche et d'innovation EU Horizon 2020 en vertu de l'accord de subvention n° 730338. Accessible en ligne : <https://doi.org/10.26225/jerv-w202>.

Tien S., C. Kammeyer, G. Brill, L. Feinstein, M. Matosich, K. Vigerstol et C. Müller-Zantop (2020). *Business case for Nature-based solutions: landscape assessment.* Oakland, Californie, United Nations Global Compact CEO Water Mandate and Pacific Institute. Accessible en ligne : <http://www.ceowatermandate.org/NbS/landscape>.

TNC (2019). Insuring Nature to Ensure a Resilient Future. The Nature Conservancy. <www.nature.org/en-us/what-we-do/our-insights/perspectives/insuring-nature-to-ensure-a-resilient-future>. Consulté le 22 septembre 2022

TNC (2021). *A post-storm response and reef insurance primer*. The Nature Conservancy. Accessible en ligne : <www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/A_POST_STORM_RESPONSE_REEF_INSURANCE_PRIMER_2021_final.pdf>.

TCA (2022). Onslow-North River Managed Dyke Realignment and Tidal Wetland Restoration. TransCoastal Adaptations Centre for Nature-Based Solutions. <www.transcoastaladaptations.com/onslow-north-river>. Consulté le 21 septembre 2022.

van Eekelen, E. et M. Bouw (Eds.) (2021). Building with nature: creating, implementing, and upscaling nature-based solutions. EcoShape, NAi010 publishers, 256 p. ISBN : 978-94-6208-582-4.

Vouk, I., B. Pilechi, M. Provan et E. Murphy (2021). Nature-based solutions for coastal and riverine flood and erosion risk management. Association canadienne de normalisation. Accessible en ligne : <www.csagroup.org/wp-content/uploads/CSA-Group-Research-Nature-Based-Solutions-for-Coastal-and-Riverine-Flood-and-Erosion-Risk-Management.pdf>.

Whitfield, P.E., J.L. Davis, A.S. Tritinger, D.M. Szimanski, R.R Golden, J.Z. Gailani, M.T. Ramirez, B.D. Herman, M. Whitbeck et J.K. King (2022). *Swan Island: Monitoring and Adaptive Management Plan*. Report ERDC TR-22-14, Vicksburg (Mississippi), États-Unis, US Army Corps of Engineers - Engineer Research and Development Center. Accessible en ligne : <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1177024.pdf>.

Wijsman, K., D.S. Auyeung, P. Brashear, B. Branco, K. Graziano, P. Groffman, H. Cheng et D. Corbett (2021). Operationalizing resilience: co-creating a framework to monitor hard, natural, and nature-based shoreline features in New York State. *Ecology and Society*, 26(3). Accessible en ligne : <https://doi.org/10.5751/ES-12182-260310>.

Winters, M.A., B. Leslie, E.B. Sloane, and T.W. Gallien. 2020. Observations and preliminary vulnerability assessment of a hybrid dune-based living shoreline. *Journal of Marine Science and Engineering* 8(11):920. Accessible en ligne : <https://doi.org/10.3390/jmse8110920>.

Winters, M.A., B. Leslie, E.B. Sloane, K. Weldon, J. Timberlake, B. Nussbaum, C. Liberman, D. Smith, C. Ofsthun et T.W. Gallien (2021). Observations and physical monitoring of the Cardiff living shoreline. In 2021 Coastal dunes for resilience workshop. Resilient Coastlines, California Dines Science Network, UCLA Coastal Flood Lab. <www.resilientcoastlines.com/post/observations-and-physical-monitoring-of-the-cardiff-living-shoreline>. Consulté le 20 septembre 2022.