

Vulnérabilité de l'environnement maritime canadien aux changements climatiques

Avril 2022





À propos de Clear Seas

Le Centre pour le transport maritime responsable Clear Seas est un centre de recherche canadien indépendant, sans but lucratif, qui fournit de l'information objective et factuelle sur le transport maritime.

Clear Seas concentre ses efforts sur la définition et la diffusion de pratiques exemplaires visant à assurer la sécurité et la durabilité du transport maritime, en tenant compte des effets humains, environnementaux et économiques du secteur maritime.

Tous les travaux de Clear Seas sont rendus publics et peuvent être consultés au clearseas.org.

Au sujet de ce rapport

Clear Seas a mandaté Dillon Consulting Limited pour réaliser le projet **Vulnérabilité de l'environnement maritime canadien aux changements climatiques** afin de comprendre l'étendue des menaces liées aux changements climatiques dans l'environnement maritime canadien et de cerner des stratégies d'adaptation potentielles pour gérer ces menaces. Les

renseignements fournis dans ce rapport ont pour but d'aider les organisations responsables de la prestation de services maritimes et qui assurent la sécurité du milieu maritime canadien à réaliser leurs propres évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques.

Conseil d'administration

Centre pour le transport maritime responsable Clear Seas

Murray Coolican, président

Ancien premier vice-président à la direction de Maritime Life et ancien directeur exécutif du Comité canadien des ressources arctiques (Halifax, N.-É.)

Kim Baird, C.M., O.B.C., vice-présidente

Propriétaire du cabinet Kim Baird Strategic Consulting, chancelière de l'Université polytechnique Kwantlen et ancienne chef de la Première Nation de Tsawwassen (Tsawwassen, C.-B.)

Aldo Chircop

Professeur et titulaire de la Chaire de recherche du Canada sur le droit et la politique maritimes à l'Université Dalhousie (Halifax, N.-É.)

Ginny Flood

Ancienne vice-présidente aux relations gouvernementales pour Suncor Energy Inc. (Calgary, Alb.)

Julie Gelfand

Ancienne commissaire à l'environnement pour le Vérificateur général du Canada (Ottawa, Ont.)

Serge Le Guellec

Président et directeur général, Transport Desgagnés Inc. (Québec, Qc)

John W. Hepburn, Ph. D., MRSC

Président-directeur général et directeur scientifique, Mitacs (Vancouver, C.-B.)

Kate Moran, Ph. D.

Présidente-directrice générale, Ocean Networks Canada, et professeure, Faculté des sciences, Université de Victoria (Victoria, C.-B.)

Bud Streeter

Ancien président, Lloyd's Register Canada (Halifax, N.-É.)

Jane Weldon

Ancienne chef exécutive, Plan de protection des océans, Transports Canada, et ancienne directrice générale, Sécurité et sûreté maritimes (Ottawa, Ont.)

Duncan Wilson

Vice-président à l'environnement et aux affaires communautaires et gouvernementales, Port de Vancouver (Vancouver, C.-B.)

Message du directeur exécutif

Les changements climatiques affectent nos océans et les individus qui en dépendent

Nous sommes témoins des effets des changements climatiques de manière quasi quotidienne à travers le monde. Qu'il s'agisse de phénomènes météorologiques extrêmes, de la migration des banquises polaires, du dégel du pergélisol ou de l'élévation du niveau des mers, l'évolution du climat mondial a un effet dramatique sur les écosystèmes et les populations.

Ces changements sont particulièrement évidents en ce qui concerne l'incidence sur les océans, les rivières et les voies navigables, et se manifestent de manières différentes et parfois peu intuitives. Un effet tel que la perturbation de la chaîne d'approvisionnement est dû aux effets combinés des feux de forêt ou des inondations qui se produisent en même temps que de violentes tempêtes en mer, ainsi qu'à une augmentation de la demande de marchandises. Les individus chargés de maintenir un environnement maritime sécuritaire et optimal sont donc confrontés à des défis sans précédent. Une planification minutieuse et des mesures d'adaptation sont nécessaires pour atténuer les risques que les changements climatiques font peser sur la vie humaine et l'environnement.

Le fait que l'histoire des changements climatiques et des étendues d'eau du monde devient une histoire personnelle me laisse abasourdi. Les changements climatiques ont des conséquences très réelles pour les marins, les pêcheurs, les travailleurs de l'industrie du tourisme et bien d'autres. Les peuples autochtones sont gravement touchés par les changements climatiques, car ils se tournent vers l'océan pour se nourrir et gagner leur vie, et entretiennent un lien profond avec l'environnement naturel qui fait partie intégrante de leur culture. Les savoirs traditionnels détenus par les peuples autochtones présentent également des solutions potentielles précieuses pour comprendre et s'adapter aux changements climatiques.

Une étude qui fournit des stratégies d'adaptation pratiques

Grâce à cette nouvelle étude sur la *Vulnérabilité de l'environnement maritime canadien aux changements climatiques*, Clear Seas et son partenaire de recherche Dillon Consulting Limited ont créé une série d'outils et de cadres conçus pour aider à caractériser les menaces que les changements climatiques font peser sur l'environnement maritime; un savoir utile aux individus et aux organisations dont la pérennité dépend des océans et des voies navigables. Ce rapport présente des stratégies d'adaptation pratiques pour gérer les effets d'un climat changeant.

Avec ce langage commun et cette compréhension des menaces et des stratégies d'adaptation potentielles, nous pourrions travailler ensemble pour créer des plans qui préserveront la sécurité et la vitalité de l'environnement maritime et des personnes qui vivent, travaillent et jouent dans nos eaux.

Sommaire

Le Centre pour le transport maritime responsable Clear Seas (Clear Seas) a retenu les services de Dillon Consulting Limited (Dillon) afin de fournir un aperçu de l'étendue des menaces liées aux changements climatiques et de cerner des stratégies d'adaptation potentielles pour gérer ces menaces dans l'environnement maritime canadien. L'information fournie dans ce rapport sert à appuyer la prise de décisions de la Garde côtière canadienne (GCC) et d'autres ministères, des administrations portuaires, de l'industrie, des organisations non gouvernementales (ONG), des communautés autochtones et côtières, et des gouvernements autochtones responsables de la prestation de services maritimes. Ce rapport aidera ces décideurs à explorer des approches stratégiques intégrées et à long terme - de la planification de l'adaptation aux changements climatiques à la prise de décisions pour la gestion des services maritimes au Canada - notamment pour assurer la sécurité, l'accessibilité et la pérennité des voies navigables du Canada.

Les objectifs de ce rapport sont les suivants :

- Cerner les incidences des changements climatiques sur les voies navigables canadiennes et leurs utilisateurs
- Évaluer comment ces incidences peuvent influencer la prestation des services maritimes par les responsables de la sécurité maritime, y compris les effets sur les actifs, les installations et les infrastructures maritimes, les activités, les programmes opérationnels, la logistique, les règlements et les politiques
- Fournir des stratégies potentielles pour gérer le processus d'adaptation aux changements climatiques afin d'éclairer les décisions stratégiques et les investissements futurs, ainsi que les plans d'adaptation aux changements climatiques et d'atténuation des risques pour la Garde côtière canadienne, l'industrie et les autres ministères

Ce rapport présente les résultats d'une analyse documentaire évaluant les menaces liées aux changements climatiques et cernant les stratégies d'adaptation potentielles partout au Canada, y compris les systèmes marins et d'eau douce (c'est-à-dire à l'intérieur des terres). Les dangers liés aux changements climatiques inclus dans l'analyse sont ceux qui ont été identifiés comme étant les plus pertinents pour l'environnement maritime canadien. Les mécanismes par lesquels les dangers liés aux changements climatiques sont susceptibles d'influencer le milieu maritime canadien sont organisés selon les thèmes suivants :

- Infrastructures portuaires et côtières
- Transport maritime commercial
- Pêche en mer
- Tourisme marin et côtier
- Transport maritime intérieur

L'analyse cerne une série de stratégies d'adaptation pertinentes tant pour les opérations maritimes canadiennes que pour les utilisateurs des voies navigables du Canada, et se concentre sur celles qui sont applicables à la Garde côtière canadienne, aux ministères du gouvernement canadien, aux administrations portuaires, aux communautés autochtones et côtières, aux gouvernements autochtones, à l'industrie et aux organisations non gouvernementales. Les répercussions potentielles, pour le milieu maritime canadien, des risques climatiques cernés sont présentés dans le tableau E 1.

Les mesures d'adaptation varient en fonction de la partie de l'environnement maritime à laquelle elles s'appliquent. Swanson et coll. (2021) ont précédemment décrit les cinq types de stratégies d'adaptation générales, dont les définitions ont été adaptées pour ce rapport. Les cinq types de stratégies d'adaptation sont les suivants (Swanson et coll., 2021) :

- **Procédure** : Stratégies qui soutiennent ou éclairent les processus de planification de l'adaptation. Exemples : programmes d'éducation sur les changements climatiques, collecte et organisation de données climatiques, cadres de planification et règlements.
- **Évitement** : Stratégies visant à éloigner les aménagements et les actifs des zones vulnérables et qui sont particulièrement pertinentes pour les nouvelles infrastructures et les nouveaux projets.
- **Adaptation** : Stratégies visant à réduire ou à minimiser l'incidence des changements climatiques. Ces stratégies peuvent inclure des mesures techniques ou des solutions fondées sur la nature pour s'adapter aux répercussions climatiques. Par exemple, la mise en place de récifs artificiels, de plages perchées, de rivages vivants, de zones humides, de fossés de drainage et de jardins pluviaux dans la planification côtière afin d'atténuer les effets de l'élévation du niveau de la mer, de l'érosion, des événements météorologiques extrêmes et de nombreux autres dangers.
- **Protection** : Stratégies visant à réduire les répercussions climatiques sur les infrastructures et l'environnement par la mise en place de barrières ou de tampons de protection. Exemples : brise-lames, murs de soutènement, récifs artificiels, revêtements ou gabions, protection du littoral, digues et zones humides artificielles.
- **Retrait** : Stratégies visant à déplacer les actifs vulnérables afin de prévenir d'autres dommages ou d'éviter une défaillance complète. Ces stratégies sont particulièrement pertinentes pour les actifs et les infrastructures existants.

Pour comprendre comment d'autres organismes maritimes à l'extérieur du Canada abordent la vulnérabilité et l'adaptation aux changements climatiques, des recherches ont été effectuées pour la Norvège, les États-Unis et les Pays-Bas, y compris une analyse documentaire et des entrevues avec des chercheurs travaillant dans le domaine de l'adaptation et de la résilience aux changements climatiques, particulièrement en ce qui concerne les actifs et opérations maritimes. Le tableau E 2 présente les stratégies d'adaptation adoptées par ces pays (exemples internationaux) et inclut également des stratégies et exemples canadiens pertinents pour les sous-secteurs de l'environnement maritime canadien, tels que mentionnés dans les rapports et la documentation propres au Canada.

Les pratiques exemplaires et les stratégies ont été glanées à partir de l'analyse documentaire, de l'examen des compétences et des entrevues portant sur la gestion du processus d'adaptation aux changements climatiques afin d'éclairer les futures décisions stratégiques relatives aux programmes, les investissements et les plans d'atténuation des changements climatiques pour la Garde côtière canadienne, les communautés autochtones et côtières, les gouvernements autochtones, l'industrie et les autres ministères. Les pratiques exemplaires et les stratégies présentées dans le tableau E 3 portent sur les aspects du processus d'évaluation du climat et de la planification des mesures d'adaptation.

Tableau E 1. Répercussions des dangers climatiques sur le secteur maritime canadien

Sous-secteur de l'environnement maritime canadien	Chimie des océans <i>(changements de température et de salinité, acidification des océans et appauvrissement en oxygène)</i>	Élévation du niveau de la mer <i>(inondations et crues côtières, érosion et ondes de tempête)</i>	Événements météorologiques extrêmes <i>(visibilité réduite, ondes de tempête, risques pour la sécurité, sécheresse extrême, fortes précipitations, vents violents)</i>	Changements dans la cryosphère <i>(fonte du pergélisol, changements dans la glace de mer, érosion côtière)</i>
Infrastructures portuaires et côtières	<ul style="list-style-type: none"> • La végétation littorale protège les rivages de l'érosion, qui peut entraîner des dommages aux infrastructures portuaires • Augmentation des taux de corrosion des infrastructures 	<ul style="list-style-type: none"> • Migration du littoral vers l'intérieur des terres • Inondation des barrières de protection (digues, brise-lames) • Dommages à l'environnement bâti, aux navires et aux équipements, en particulier aux infrastructures ancrées sur le rivage 	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages à l'environnement bâti, aux navires et aux équipements • Fermeture ou retard des ports et des traversiers • Réduction de la fonctionnalité des installations portuaires 	<ul style="list-style-type: none"> • Les zones de pergélisol sont plus exposées au risque d'érosion côtière • Besoin d'infrastructures et de technologies de soutien (ex. technologie de surveillance) pour une activité accrue
Transport maritime commercial	<ul style="list-style-type: none"> • Répercussions sur l'emplacement des voies de navigation 	<ul style="list-style-type: none"> • Fermetures potentielles de ports • Possibilité d'un plus grand volume de marchandises et de navires plus grands en raison des niveaux d'eau plus élevés dans les zones marines 	<ul style="list-style-type: none"> • Risques de sécurité liés aux conditions météorologiques • Réduction potentielle de la capacité de transport de marchandises • Temps d'attente plus longs pour le traitement • Inefficacité de la navigation des navires 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du trafic maritime dans l'Arctique • Augmentation des frappes et des naufrages, opérations de recherche et de sauvetage • Augmentation des déversements et de la pollution • Besoin d'infrastructures et de technologies de soutien pour une activité accrue

Pêche en mer	<ul style="list-style-type: none"> • Changements dans la composition et l'abondance des espèces • Réduction de l'accès des Autochtones à la pêche • Modification du calendrier et de la disponibilité des espèces exploitées commercialement • Anomalies physiologiques et mortalités de poissons • Augmentation des espèces envahissantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Fermetures potentielles de ports 	<ul style="list-style-type: none"> • Risques de sécurité liés aux conditions météorologiques pour la pêche commerciale et récréative 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des frappes et des naufrages, opérations de recherche et de sauvetage • Augmentation du potentiel d'entrée illégale et de braconnage sur les petits bateaux • Modification des zones traditionnelles de chasse, de pêche et de piégeage pour les communautés autochtones • Risque accru de problèmes de santé humaine et de sécurité liés aux déplacements sur la glace de mer
Tourisme marin et côtier	<ul style="list-style-type: none"> • Les changements dans la composition et l'abondance des espèces exploitées commercialement déplacent les lieux d'alimentation de la mégafaune marine 	<ul style="list-style-type: none"> • Répercussions des inondations, des débordements et des ondes de tempête sur les zones touristiques côtières importantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Risques de sécurité liés aux conditions météorologiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du trafic de tourisme maritime récréatif dans l'Arctique • Augmentation des frappes et des naufrages, opérations de recherche et de sauvetage • Augmentation des déversements et de la pollution • Besoin d'infrastructures et de technologies de soutien pour une activité accrue

Transport maritime intérieur	--	<ul style="list-style-type: none"> • Changements potentiels dans la navigation des cargaisons et des navires dans les chenaux et les ports des Grands Lacs 	<ul style="list-style-type: none"> • Les oscillations extrêmes entre la sécheresse et les fortes précipitations ont une incidence sur les niveaux d'eau douce à l'intérieur des terres • La sédimentation et l'érosion dans les rivières compromettent la navigation • Risques de sécurité liés aux conditions météorologiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Protection limitée des rivages avec une couverture de glace réduite • Augmentation des opérations d'échouage, de recherche et de sauvetage et d'intervention environnementale • Besoin d'infrastructures et de technologies de soutien (ex. surveillance de la profondeur des canaux)
------------------------------	----	---	---	---

Tableau E 2. Stratégies et exemples d'adaptation pour les sous-secteurs de l'environnement maritime canadien

Stratégies canadiennes	Exemples internationaux
<i>Infrastructures portuaires et côtières</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Collecte de données : surveillance du niveau des mers, suivi des phénomènes météorologiques extrêmes, conception d'outils de prévision, évaluation de la stabilité des fondations dans les zones de pergélisol et autres infrastructures côtières • Zonage côtier pour éviter le développement de nouvelles infrastructures dans les zones vulnérables • Mise en œuvre d'exigences réglementaires pour les systèmes de fondation dans les zones de pergélisol, qui absorberont mieux les mouvements de terrain dus aux cycles de gel/dégel • Utilisation d'outils tels que les thermosiphons dans les zones de pergélisol • Rehaussement des crêtes des digues et des murs de soutènement • Intégration d'infrastructures hybrides telles que des brise-lames littoraux et des récifs artificiels • Intégration de la protection contre les inondations dans les infrastructures côtières (ex. bâtiments surélevés ou flottants) • Ajout d'un blindage en enrochement ou d'une protection contre les affouillements aux infrastructures et aux actifs existants • Restauration ou construction d'habitats côtiers, notamment de dunes, de marais salés, de forêts marines et de zones humides • Mise en œuvre de mesures visant à stabiliser la végétation littorale • Reconstitution du sable dans les zones côtières • Renforcement des zones de pergélisol des rives dans les zones côtières • Mesures de protection dure telles que les enrochements, les digues, les épis (Lemmen et coll., 2016) <p>Entrevues d'experts (D. Bolduc, L'Alliance verte)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lors de l'analyse de la résilience climatique, il faut tenir compte de l'entretien continu des actifs, ainsi que de la construction initiale 	<p><i>États-Unis</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Déplacement des installations à l'intérieur des terres après les dégâts causés par les ouragans • Utilisation de matériaux résistants à l'eau et de systèmes de télécommunication surélevés pour la reconstruction/réparation des infrastructures de la Garde côtière des États-Unis (USCG) • Mise en œuvre de critères d'évaluation de la conception pour les projets d'infrastructure existants et les nouveaux projets • Mobilisation active des intervenants pour déterminer une stratégie de résilience pour un port • Exploration des mesures infrastructurelles de protection du littoral pour un terminal portuaire • Réalisation d'évaluations techniques pour cerner les vulnérabilités des installations, y compris celles qui concernent les ports • Élaboration de conseils pour envisager l'utilisation de rivages vivants comme mesure d'adaptation <p><i>Pays-Bas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Évaluation de l'assurabilité des infrastructures endommagées par des phénomènes météorologiques extrêmes comme mesure proactive pour minimiser les pertes financières • Amsterdam Rainproof : créer des partenariats pour encourager les citoyens, le gouvernement, l'industrie et les autres intervenants à construire des infrastructures résilientes aux changements climatiques • Élargissement des dunes • Couverture d'assurance des bâtiments vulnérables et, éventuellement, nouveaux règlements en matière de construction axés sur l'adaptation • Récupération de l'excès d'eau lors de fortes précipitations • Construction d'infrastructures résilientes aux changements climatiques, axées sur la gestion des fortes précipitations

Stratégies canadiennes	Exemples internationaux
<ul style="list-style-type: none"> • Inclure les stratégies à l'égard des changements climatiques dans la planification à long terme (construction de quais, investissement dans l'expansion du terminal) 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstitution du sable dans les zones côtières (The Sand Engine) • Culture de vasières, de prairies et de marais salés pour faire face à l'élévation du niveau de la mer • Mesures d'adaptation à terre visant à évacuer rapidement les eaux excessives des inondations (ministère néerlandais des infrastructures et de l'environnement, 2016; ministère néerlandais des affaires économiques et de la politique climatique, 2018; ministère néerlandais des infrastructures et de la gestion de l'eau, 2018; Rosenberg, 2020)
Transport maritime commercial	
<ul style="list-style-type: none"> • Collecte de données : schémas migratoires de la mégafaune marine, suivi des phénomènes météorologiques extrêmes, surveillance du vêlage des glaces dans l'Arctique • Amélioration des mesures de préparation aux situations d'urgence : signalement des incidents, systèmes de sécurité et services de recherche et de sauvetage en mer, préparation et lutte contre la pollution marine • Collaboration avec les Forces armées canadiennes (FAC) afin d'élaborer des procédures visant à améliorer la préparation et l'intervention en cas d'urgence (ex. stationnement stratégique des ressources de la GCC ou des FAC) (Smith, 2020) • Planification de saisons routières plus courtes dans les régions du nord (commencer les contrats d'approvisionnement plus tôt, modifier le transport de marchandises pour en accueillir davantage par voyage) (Lemmen et coll., 2016) • Augmentation des prévisions, de la planification et de la délivrance de permis pour les activités des navires dans l'Arctique (Swanson et coll., 2021) • Évitement des zones de l'Arctique qui sont devenues plus dangereuses en raison du vêlage des glaces • Inclusion d'une plus grande endurance des navires dans les efforts de planification futurs, compte tenu de la possibilité d'un accès accru à l'Arctique en raison des changements de la couverture de glace de mer, des conditions de glace pluriannuelles et des conditions annuelles de la saison intermédiaire 	<p><i>États-Unis</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Intégration des facteurs relatifs aux changements climatiques dans tous les processus de planification et de prise de décision des organismes de transport <p><i>Pays-Bas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Efforts de gestion de crise, y compris des plans d'urgence, de redressement et de gestion de crise et la préparation d'installations d'urgence <p><i>Norvège</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des capacités de recherche et de sauvetage en prévision de conditions de navigation maritime plus dangereuses (ministère norvégien du climat et de l'environnement, 2021) • Utilisation de modules en ligne (AISyRisk) pour évaluer les risques liés au trafic maritime, notamment les accidents de navires, le risque de marée noire et les pertes de vies humaines • Utilisation d'un microsatellite de suivi maritime pour comprendre l'emplacement des navires et le trafic maritime pour les modèles d'évaluation des risques • Intégration des projections climatiques dans les procédures de planification et de conception

Stratégies canadiennes	Exemples internationaux
<p>Aperçu de l'enquête</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une plus grande endurance des navires de la GCC pour tenir compte de la possibilité d'un accès accru à l'Arctique en raison de la réduction potentielle de la couverture de glace due aux changements climatiques • Formes de coque des brise-glaces de la future flotte permettant d'obtenir un éventail complet de capacités (GCC) • Efforts de planification de la gestion des urgences 	
Pêche en mer	
<p>Aperçu de l'enquête</p> <ul style="list-style-type: none"> • Collecte de données : comportement, frai, migration et modes d'alimentation, volumes de capture, prises accessoires, suivi de l'apparition d'espèces invasives • Réévaluation des saisons et des lieux de pêche sur la base des données les plus récentes sur les espèces • Amélioration des mesures de préparation aux situations d'urgence • Collaboration avec les Forces armées canadiennes afin d'élaborer des procédures visant à améliorer la préparation et l'intervention en cas d'urgence (ex. stationnement stratégique des ressources de la GCC ou des FAC) (Smith, 2020) • Augmentation des prévisions, de la planification et de la délivrance de permis pour les activités des navires dans l'Arctique (Swanson et coll., 2021) • Modification des navires et des flottes pour s'adapter à des vagues plus importantes • Ajout d'un blindage en enrochement ou d'une protection contre les affouillements aux infrastructures et aux actifs existants <p>Aperçu de l'enquête</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modification des engins afin d'avoir accès à la récolte de nouvelles espèces commerciales • Questions relatives à l'implantation de l'aquaculture, à l'alerte précoce (technologique) et à la diversification des cultures 	<p><i>États-Unis</i> (Johnson, 2012; Gregg et coll., 2012)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mise en place de réserves marines et d'autres programmes visant à améliorer la résilience et la reconstitution des stocks de poissons • Utilisation de la gestion adaptative des pêches • Répartition des risques par l'entremise d'assurances, de coopératives et d'autres formes de financement • Élaboration de programmes pour encourager et aider à la diversification des moyens de subsistance • Amélioration de la recherche, de la surveillance et des prévisions climatiques • Élaboration de stratégies nationales et régionales pour prévenir la destruction des habitats • Protection des infrastructures côtières critiques utilisées par l'industrie de la pêche • Réalisation de recherches et d'évaluations pour les espèces de poissons <p><i>Pays-Bas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ajustement des quotas de pêche • Adaptation des espèces cibles et des techniques de pêche • Introduction de la gestion des écosystèmes • Étiquetage écologique et certification du poisson • Réaffectation des parcelles d'élevage de moules

Stratégies canadiennes	Exemples internationaux
<ul style="list-style-type: none"> • Accent sur la gestion régionale et internationale (gestion transfrontalière) • Inclusion de données sur les changements climatiques dans les modèles des pêches • Stratégies visant à accroître la résilience des stocks de poissons actuels • Établissement d'objectifs en matière de pêches en collaboration avec d'autres secteurs de compétence en vue de faciliter la disponibilité des ressources halieutiques sur une plus longue période 	<ul style="list-style-type: none"> • Aquaculture sur d'anciennes prairies – s'effectue pour la sole et le turbot (Nillesen et van Ierland, 2006)
Tourisme marin et côtier	
<ul style="list-style-type: none"> • Collecte de données : schémas comportementaux, de frai, d'alimentation et de migration de la mégafaune marine; surveillance des déversements dans l'environnement • Réglementation du développement de nouvelles activités touristiques dans les zones vulnérables • Augmentation des prévisions, de la planification et de la délivrance de permis pour les activités des navires de croisière et autres navires à vocation touristique dans l'Arctique (Swanson et coll., 2021) • Élaboration de politiques visant à restreindre l'utilisation et l'accès aux sites touristiques vulnérables (Dawson et coll., 2017) 	<p><i>États-Unis</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Les caractéristiques naturelles et fondées sur la nature prises en compte par l'USACE qui peuvent atténuer les répercussions des risques climatiques dans la zone côtière, soutenir le tourisme marin et côtier et servir d'attractions côtières (ex. les dunes et les plages, les récifs d'huîtres) <p>Il est à noter que le tourisme marin et côtier est étroitement lié aux sous-secteurs du transport maritime et des infrastructures portuaires et côtières. Voir ci-dessus pour des exemples précis relatifs à ces sous-secteurs.</p>
Transport maritime intérieur	
<ul style="list-style-type: none"> • Collecte de données : niveaux d'eau dans les rivières, suivi des phénomènes météorologiques extrêmes, bathymétrie des rivières • Construction et élargissement des dunes • Augmentation du dragage des canaux • Restauration ou construction de zones humides, de plaines inondables et de zones tampons riveraines dans les écosystèmes fluviaux • Création de zones de contournement des inondations ou de canaux de secours <p>Entrevues d'experts (D. Bolduc, L'Alliance verte)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Études sur les niveaux d'eau des Grands Lacs et du Saint-Laurent 	<p><i>États-Unis</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Restriction de la hauteur des navires pour tenir compte de l'élévation du niveau de la mer lorsque les ponts se trouvent au-dessus des voies navigables (Brinckerhoff et ICF International, 2014) <p><i>Pays-Bas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • L'excès d'eau provenant des niveaux élevés des rivières a été absorbé par la construction de digues transformant ces intrusions d'eau en canaux et en lacs • Outils prédictifs servant de système d'alerte précoce en cas d'inondations

Stratégies canadiennes	Exemples internationaux
<ul style="list-style-type: none"> Évaluation de l'érosion et des sources d'érosion dues aux activités de transport 	<ul style="list-style-type: none"> Modifications physiques de la largeur et de la profondeur des lits de rivière Renforcement des infrastructures de protection existantes telles que les digues Mise en œuvre de mesures de repli dans les zones sujettes aux inondations fluviales en déplaçant les structures et en ajustant l'emplacement des digues (Federal Highway Administration, Département américain des transports, 2017b)
<p>Points de vue autochtones</p>	
<p>La Stratégie nationale inuite sur les changements climatiques (Inuit Tapiriit Kanatami, 2019) vise à contrer les répercussions des changements climatiques grâce à des stratégies d'adaptation spécifiques à cinq priorités cernées : connaissances et capacités; santé, bien-être et environnement; systèmes alimentaires; infrastructures; et énergie. Les stratégies procédurales visant à atteindre les objectifs fixés comprennent la recherche et la surveillance des changements climatiques menées par les Inuits, qui seront utilisées pour éclairer l'élaboration des politiques futures. L'accent est mis sur la réalisation d'évaluations de la vulnérabilité afin de déterminer les priorités en matière d'adaptation, dont l'une consiste à améliorer la sécurité maritime pour les pêcheurs inuits qui dépendent de la glace de mer pour se déplacer. Il s'agit notamment d'adopter des mesures de sécurité pour les pêcheurs et d'améliorer les capacités et les infrastructures des services de recherche et de sauvetage.</p>	

Tableau E 3. Pratiques exemplaires et stratégies pour l'évaluation des changements climatiques et la planification de l'adaptation

Thème	Pratiques exemplaires et stratégies
Stratégie	<ul style="list-style-type: none"> • Les stratégies doivent être spécifiques aux systèmes, aux actifs, aux opérations ou aux installations et fondées sur des cadres d'évaluation des risques et de la vulnérabilité (Comm. Perris., Jan Brooke, AIPCN) • La planification doit prendre en compte le court et le long terme et tenir compte de la durée de vie des actifs physiques (Centre for Climate and Security, 2016) • Cerner et renforcer continuellement les capacités pour faire face aux risques infrastructurels, opérationnels et stratégiques (Centre for Climate and Security, 2016) • Intégrer les scénarios et les projections des répercussions climatiques dans les cycles de planification réguliers (Centre for Climate and Security, 2016) • Intégrer la collaboration et la mobilisation des instances publiques et privées dans le processus d'évaluation des risques et de la vulnérabilité et de planification de l'adaptation (Becker et coll., 2018)
Données climatiques	<ul style="list-style-type: none"> • Établir des partenariats avec des organisations ou des agences qui élaborent ou utilisent des projections climatiques (FWHA, 2017a) • Collaborer avec les chercheurs, les ministères, l'industrie et d'autres intervenants pour soutenir l'inclusion de données et l'élaboration d'une base de données climatiques dans les processus d'évaluation • Continuer à investir dans l'amélioration des données climatiques (Centre for Climate and Security, 2016) • Établir et utiliser une base de données climatiques pour compiler les données et renseignements climatiques au fil du temps • Utiliser des sources de données historiques à long terme pour obtenir des renseignements climatiques de base (AIPCN, 2020) • Inclure des données historiques sur les événements extrêmes pour éclairer les renseignements climatiques de base (AIPCN, 2020) • Utiliser des scénarios climatiques qui représentent l'état futur du climat, si la stratégie d'adaptation a un horizon de plus de 10 ans à partir du moment où elle est mise en place (AIPCN, 2020)
Données sur les actifs	<ul style="list-style-type: none"> • Dresser un inventaire des actifs, des opérations et des systèmes d'infrastructure [une annexe est fournie dans le rapport de l'AIPCN (2020) qui peut aider à déterminer les actifs, les opérations et les systèmes à prendre en compte dans le processus de planification de l'adaptation] • Mobiliser les intervenants pour aider à cerner les actifs dans le cadre d'un inventaire des actifs (AIPCN, 2020) • Dans la mesure du possible, inclure des données spécifiques à la vulnérabilité dans les processus d'élaboration de rapports sur la gestion des actifs (FWHA, 2017a) • Géoréférencer les données sur les actifs pendant le processus de collecte des données et l'élaboration de l'inventaire (FWHA, 2017a)

Thème	Pratiques exemplaires et stratégies
Évaluation des risques et de la vulnérabilité	<ul style="list-style-type: none"> • Les experts en la matière, le personnel et les intervenants locaux peuvent soutenir le processus d'évaluation des risques et assurer l'harmonisation avec le contexte local, en particulier lorsque des approches fondées sur des indicateurs sont utilisées (FWHA, 2017a) • De nombreux cadres de gestion des risques existent et ont été appliqués à l'échelle mondiale. Lors de la sélection d'un cadre d'évaluation des risques, il faut s'assurer qu'il est conforme à la norme ISO 31000 Gestion du risque - Principes et lignes directrices, 1^{re} édition, 15 novembre 2009 (Gouvernement du Canada, 2019) • Utiliser des outils et des approches du risque pour évaluer la vulnérabilité des actifs en fonction des caractéristiques et des priorités du site et de l'emplacement • Utiliser l'option du statu quo dans les analyses des risques pour mesurer ces derniers si aucune mesure n'est prise (AIPCN, 2020)
Options d'adaptation	<ul style="list-style-type: none"> • Inclure des mesures opérationnelles et institutionnelles parallèlement à des mesures structurelles et physiques (Comm. Perris., Jan Brooke, AIPCN) • Éviter d'utiliser une approche « taille unique », car cela peut entraîner une mauvaise adaptation (Comm. perris., Jan Brooke, AIPCN). • Les stratégies d'adaptation pour les ports et les voies navigables dont l'horizon de planification dépasse trente ans doivent évaluer une série de scénarios climatiques futurs (AIPCN, 2020) • Utiliser un processus participatif pour amener les intervenants à soutenir l'analyse des stratégies d'adaptation (FWHA, 2017a; Becker et coll., 2018)
Processus de prise de décision	<ul style="list-style-type: none"> • Veiller à ce que les processus de prise de décision tiennent compte de la durée de vie des infrastructures physiques (AIPCN, 2020) • Utiliser les méthodes et outils d'analyse économique qui peuvent prendre en compte des facteurs d'incertitude et soutenir l'évaluation des options d'adaptation (AIPCN, 2020) • Prendre en compte les projections du niveau de risque le plus élevé lors de la prise de décisions liées au climat (Centre for Climate and Security, 2016)
Suivi et évaluation	<ul style="list-style-type: none"> • Une stratégie d'adaptation doit être un document évolutif, revu et mis à jour fréquemment (AIPCN, 2020) • Établir des processus de suivi et d'évaluation pour évaluer le succès des stratégies et des initiatives d'adaptation découlant des évaluations de la vulnérabilité (FWHA 2017a) • Réévaluer les vulnérabilités à mesure que de nouvelles données scientifiques et climatiques sont disponibles (FWHA 2017a)
Communication	<ul style="list-style-type: none"> • Les données climatiques, les évaluations des risques, les options d'adaptation et les rapports doivent être facilement compris et lisibles par les décideurs et la société civile • Les données climatiques doivent être disponibles et accessibles à tous les niveaux de gouvernement, aux organisations non gouvernementales, à l'industrie, etc.

Table des matières

À propos de Clear Seas.....	ii
Conseil d'administration Centre pour le transport maritime responsable Clear Seas.....	iii
Message du directeur exécutif	iv
Sommaire.....	v
Table des matières.....	xviii
Acronymes et abréviations	xxi
Glossaire.....	xxiii
Liste des figures.....	xxvi
Liste des tableaux.....	xxvi
Vulnérabilité de l'environnement maritime canadien aux changements climatiques.....	1
1.0 Introduction.....	1
1.1 But.....	1
1.2 Objectifs.....	1
1.3 Portée.....	2
1.4 Comprendre les risques et les répercussions climatiques : terminologie.....	2
1.5 Organisation et contenu du rapport.....	4
2.0 Méthodes de recherche et d'évaluation.....	5
2.1 Revue de la documentation.....	5
2.2 Gagner en perspective : chercheurs, utilisateurs maritimes et opérations maritimes	6
2.2.1 Entretiens avec des chercheurs et des programmes de recherche de premier plan.....	6
2.2.2 Enquête sur le climat : répercussions, risques, adaptation et résilience des voies navigables.....	7
2.3 Une analyse des évaluations des risques et de la vulnérabilité et des stratégies d'adaptation dans d'autres pays.....	7
3.0 Résumé des dangers climatiques pour l'environnement maritime canadien.....	8
3.1 Première catégorie de danger : changements dans la biochimie marine	8
3.2 Deuxième catégorie de danger : élévation du niveau de la mer	9
3.3 Troisième catégorie de danger : événements météorologiques extrêmes.....	10
3.4 Quatrième catégorie de danger : changements dans la cryosphère.....	10
3.5 Résultats de l'enquête : dangers climatiques observés et notés.....	11
3.6 Résultats de l'enquête : répercussions des changements climatiques sur les services.....	11
4.0 Répercussions des dangers liés aux changements climatiques sur l'environnement maritime canadien.....	13
4.1 Premier thème : infrastructures portuaires et côtières	13
4.2 Deuxième thème : transport maritime commercial	14

4.3	Troisième thème : pêche en mer	15
4.4	Quatrième thème : tourisme marin et côtier	16
4.5	Cinquième thème : transport maritime intérieur.....	17
4.6	Sixième thème : points de vue autochtones et répercussions des changements climatiques sur l'environnement maritime	18
4.7	Septième thème : répercussions futures des changements climatiques sur la souveraineté et la sécurité de l'Arctique	19
4.8	Résumé des répercussions.....	19
4.9	Planification de l'adaptation et de la résilience au Canada	23
5.0	Évaluations des risques et de la vulnérabilité et stratégies d'adaptation d'autres pays	24
5.1	États-Unis	24
5.1.1	Cadres, stratégies et politiques	24
5.1.2	Exemples d'évaluation des risques et de la vulnérabilité	25
5.1.3	Outils et ressources pour l'évaluation des risques et de la vulnérabilité	29
5.1.4	Stratégies d'adaptation aux États-Unis	32
5.2	Norvège	34
5.2.1	Cadres, stratégies et politiques	34
5.2.2	Exemples d'évaluation des risques et de la vulnérabilité	36
5.2.3	Outils et ressources pour l'évaluation des risques et de la vulnérabilité	37
5.2.4	Stratégies d'adaptation en Norvège.....	38
5.3	Pays-Bas	38
5.3.1	Cadres, stratégies et politiques	38
5.3.2	Évaluations des risques et de la vulnérabilité	40
5.3.3	Outils d'évaluation des risques et de la vulnérabilité.....	41
5.3.4	Stratégies d'adaptation aux Pays-Bas	42
6.0	Mesures et stratégies d'adaptation pour le secteur maritime	44
6.1	Types de stratégies d'adaptation.....	44
6.1.1	Infrastructures portuaires et côtières	45
6.1.2	Transport maritime commercial.....	46
6.1.3	Pêche en mer.....	48
6.1.4	Tourisme marin et côtier	49
6.1.5	Transport maritime intérieur.....	49
6.1.6	Points de vue autochtones et adaptation aux changements climatiques	50
6.1.7	Résultats de l'enquête : priorités des mesures d'adaptation	50
7.0	Principaux thèmes et conclusions.....	51
7.1	Adaptation aux changements climatiques : une pratique récente	51

7.2	L'importance de la collaboration intersectorielle	51
7.3	Accessibilité des données climatiques	51
7.4	Incertitudes inhérentes aux données climatiques	52
7.5	Souplesse et variété des cadres d'évaluation des risques et de la vulnérabilité.....	53
7.6	Principes fondamentaux et utilité des processus d'évaluation des risques et de la vulnérabilité	53
7.7	Utilité des cadres de risque et de vulnérabilité comme outils d'aide à la décision	54
7.8	Variabilité des efforts d'adaptation aux changements climatiques	54
7.9	Mésadaptation	55
8.0	Meilleures pratiques et stratégies.....	56
8.1	Stratégie	56
8.2	Données climatiques.....	56
8.3	Données sur les actifs.....	57
8.4	Évaluation des risques et de la vulnérabilité	57
8.5	Options d'adaptation	57
8.6	Processus de prise de décision	58
8.7	Suivi et évaluation	58
8.8	Communication	58
9.0	Bibliographie	59

Acronymes et abréviations

AAPC	Association des administrations portuaires canadiennes
ACRH	US Army Climate Resilience Handbook (manuel de résilience climatique de l'armée américaine)
ADAP	Adaptation Decision-Making Assessment Process (processus d'évaluation de la prise de décision en matière d'adaptation)
AIPCN	Association internationale de navigation
BCCR	Bjerknes Center for Climate Research (Centre Bjerknes pour la recherche sur le climat)
CMIP	Projet de comparaison des modèles couplés
CVIIP	Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques
DHS	Department of Homeland Security (Département de la Sécurité intérieure) (É.-U.)
ERAT	Évaluation des risques liés aux actifs de transport
FAAC	Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes
FAC	Forces armées canadiennes
FWHA	Federal Highway Administration (Administration fédérale de la voirie) (É.-U.)
GCC	Garde côtière canadienne
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
IRM	Institut de recherche marine (Norvège)
MARIN	Maritime Research Institute Netherlands (Institut de recherche maritime) (Pays-Bas)
MTC	Metropolitan Transportation Commission (Commission métropolitaine des transports) (É.-U.)
NCA	Norwegian Coastal Administration (Administration côtière norvégienne)
NCCS	Norwegian Center for Climate Services (Centre norvégien des services climatiques)
NMA	Norwegian Mapping Authority (Autorité norvégienne de cartographie)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Administration nationale des océans et de l'atmosphère) (É.-U.)
NPS	National Park Service (Service national des parcs) (É.-U.)

ONG	Organisation non gouvernementale
PANYNJ	Port Authority of New York and New Jersey (Administration portuaire de New York et du New Jersey)
PIIC	Programme d'infrastructure Investir dans le Canada
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PRI	Port Resilience Index (Indice de résilience des ports)
PSDS	Program for the Study of Developed Shorelines (Programme d'étude des littoraux aménagés) (É.-U.)
SIA	Système d'identification automatique
SIG	Système d'information géographique
SIVA	Shore Infrastructure Vulnerability Assessment (évaluation de la vulnérabilité des infrastructures côtières)
USACE	United States Army Corps of Engineers (Corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis)
USCG	United States Coast Guard (Garde côtière des États-Unis)
USDoD	United States Department of Defence (Département de la Défense des États-Unis)
US EPA	United States Environmental Protection Agency (Agence de protection de l'environnement des États-Unis)
VAST	Vulnerability Assessment Scoring Tool (outil de cotation de l'évaluation de la vulnérabilité)
WCU	Western Carolina University (Université de Caroline de l'Ouest)
WSDOT	Washington State Department of Transportation (Département des Transports de l'État de Washington) (É.-U.)

Glossaire

Cette section établit la terminologie pertinente utilisée dans le rapport. Les définitions sont tirées du *Rapport sur le climat changeant du Canada* (RCCC) (Bush et Lemmen, 2019), du récent rapport *Changement climatique 2022 : impacts, adaptation et vulnérabilité* du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2022) et du rapport *Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways* de l'Association internationale de navigation (AIPCN, 2020).

Adaptation

Processus d'ajustement au climat réel ou prévu et à ses effets. Dans les systèmes humains, l'adaptation vise à modérer ou à éviter les dommages ou à tirer profit des occasions bénéfiques. Dans certains systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'ajustement au climat prévu et à ses effets.

Options d'adaptation

L'ensemble des stratégies et mesures disponibles et appropriées pour aborder l'adaptation. Elles comprennent un large éventail de mesures qui peuvent être classées comme structurelles, institutionnelles, écologiques ou comportementales.

Capacité d'adaptation

Capacité des systèmes, des institutions, des humains et des autres organismes à s'adapter aux dommages potentiels, à tirer parti des occasions ou à réagir aux conséquences (GIEC 2020; MA, 2005).

Exposition

Présence d'individus, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de fonctions, de services et de ressources environnementales, d'infrastructures ou d'actifs économiques, sociaux ou culturels dans des lieux et des contextes qui pourraient subir des effets négatifs.

Danger

Occurrence potentielle d'un événement ou d'une tendance physique d'origine naturelle ou humaine susceptible de provoquer des pertes de vies humaines, des blessures ou d'autres effets sur la santé, ainsi que des dommages et des pertes d'actifs, d'infrastructures, de moyens de subsistance, de services, de prestations, d'écosystèmes et de ressources environnementales.

Répercussions

Conséquences des risques réalisés sur les systèmes naturels et humains, où les risques résultent des interactions entre les dangers liés au climat (y compris les événements météorologiques/climatiques extrêmes), l'exposition et la vulnérabilité. Les répercussions font généralement référence aux effets sur les vies, les moyens de subsistance, la santé et le bien-être, les écosystèmes et les espèces, les actifs économiques, sociaux et culturels, les services (y compris les services écosystémiques) et les infrastructures. Les répercussions peuvent être appelées conséquences ou résultats, et peuvent être négatives ou bénéfiques.

Mésadaptation

Mesures susceptibles d'entraîner un risque accru de résultats défavorables liés au climat, notamment par une augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES), une vulnérabilité accrue ou déplacée aux changements climatiques, des résultats plus inéquitables ou une diminution du bien-être, aujourd'hui ou à l'avenir. Le plus souvent, la mésadaptation est une conséquence involontaire (GIEC, 2022).

Actifs maritimes

Aux fins du présent rapport, les actifs maritimes sont définis collectivement comme les installations, les infrastructures, les opérations et les systèmes (adapté de l'AIPCN, 2020).

Pêche en mer

Aux fins du présent rapport, la pêche en mer englobe les pêches commerciales, les pêches autochtones, la pêche de subsistance et la pêche récréative.

Atténuation (des changements climatiques)

Intervention humaine visant à réduire les émissions ou à renforcer les puits de gaz à effet de serre (GES); efforts globaux pour réduire la concentration de GES dans l'atmosphère.

Horizon de planification

L'horizon de planification est la période de temps future visée par une stratégie d'adaptation aux changements climatiques (adapté de l'AIPCN, 2020).

Résilience

La capacité des systèmes sociaux, économiques et écologiques interconnectés à faire face à une tendance, une perturbation ou un événement dangereux, en réagissant ou en se réorganisant de manière à maintenir leur fonction, leur identité et leur structure essentielles. La résilience est un attribut positif lorsqu'elle maintient la capacité d'adaptation, d'apprentissage ou de transformation (GIEC 2022; Conseil de l'Arctique, 2016).

Risque

Potentiel de conséquences négatives pour les systèmes humains ou écologiques, en reconnaissant la diversité des valeurs et des objectifs associés à ces systèmes. Dans le contexte des changements climatiques, les risques peuvent provenir des répercussions potentielles des changements climatiques ainsi que des réponses humaines aux changements climatiques. Les conséquences négatives pertinentes comprennent celles sur les vies, les moyens de subsistance, la santé et le bien-être, les actifs et les investissements économiques, sociaux et culturels, les infrastructures, les services (y compris les services écosystémiques), les écosystèmes et les espèces. Dans le contexte des répercussions des changements climatiques, les risques résultent d'interactions dynamiques entre les dangers liés au climat et l'exposition et la vulnérabilité du système humain ou écologique touché à ces dangers (GIEC, 2022).

Évaluation des risques

Estimation scientifique qualitative ou quantitative des risques.

Sensibilité

Degré auquel un système ou une espèce est touché, de manière négative ou bénéfique, par la variabilité ou les changements climatiques.

Onde de tempête

Augmentation temporaire, en un lieu donné, de la hauteur de la mer en raison de conditions météorologiques extrêmes (faible pression atmosphérique ou vents forts).

Menace (changements climatiques)

Dans le présent rapport, les menaces liées aux changements climatiques font référence aux risques et aux répercussions attendus des dangers des changements climatiques sur les infrastructures, les moyens de subsistance, la santé et le bien-être, l'économie, les actifs sociaux et culturels, etc.

Vulnérabilité

Propension ou prédisposition à subir des effets néfastes. La vulnérabilité englobe une variété de concepts et d'éléments, notamment la sensibilité et l'exposition aux dommages, ainsi que le manque de capacité à y faire face et à s'adapter.

Liste des figures

Figure 1. La relation entre la vulnérabilité, les risques climatiques, les répercussions et l'adaptation 3

Liste des tableaux

Tableau E 1. Répercussions des dangers climatiques sur le secteur maritime canadien viii

Tableau E 2. Stratégies et exemples d'adaptation pour les sous-secteurs de l'environnement maritime canadien . xi

Tableau E 3. Pratiques exemplaires et stratégies pour l'évaluation des changements climatiques et la planification de l'adaptation xvi

Tableau 1. Répercussions des dangers climatiques sur le secteur maritime canadien20

Tableau 2. Application du cadre d'évaluation de la vulnérabilité et d'adaptation de la FHWA par les territoires de compétence des États-Unis.....25

Tableau 3. Outils et ressources d'évaluation de la vulnérabilité aux États-Unis29

Tableau 4. Stratégies d'adaptation des États-Unis32

Tableau 5. Stratégies d'adaptation de la Norvège38

Tableau 6. Stratégies d'adaptation des Pays-Bas42

Tableau 7. Stratégies et mesures d'adaptation relatives aux infrastructures portuaires et côtières45

Tableau 8. Stratégies et mesures d'adaptation relatives au transport maritime commercial46

Tableau 9. Stratégies et mesures d'adaptation relatives à la pêche en mer48

Tableau 10. Stratégies et mesures d'adaptation relatives au tourisme marin et côtier.....49

Tableau 11. Stratégies et mesures d'adaptation relatives au transport maritime intérieur.....49

Vulnérabilité de l'environnement maritime canadien aux changements climatiques

1.0 Introduction

Le Centre pour le transport maritime responsable Clear Seas a mandaté Dillon Consulting Limited (Dillon) pour fournir une analyse des besoins futurs de l'environnement maritime canadien en matière d'adaptation aux changements climatiques. Ces changements et les menaces associées – comme l'élévation du niveau de la mer et les phénomènes météorologiques violents – posent des défis aux utilisateurs des océans et des eaux intérieures. La vulnérabilité aux changements climatiques a été cernée comme un problème qui touche le transport maritime au Canada et à l'étranger (Scott et coll., 2013; Becker et coll., 2018).

1.1 But

Le but du présent rapport est de fournir une compréhension claire de l'étendue des menaces liées aux changements climatiques et d'élaborer des stratégies d'adaptation potentielles pour gérer ces menaces dans l'environnement maritime canadien. Les renseignements fournis dans ce rapport servent à appuyer la prise de décision par la Garde côtière canadienne et d'autres ministères, les administrations portuaires, l'industrie, les organisations non gouvernementales, les communautés autochtones et côtières et les gouvernements autochtones responsables de la prestation de services maritimes. Ce rapport aidera ces décideurs à explorer des approches stratégiques intégrées et à long terme de la planification de l'adaptation aux changements climatiques pour la prise de décisions concernant la gestion des services maritimes au Canada, y compris la sécurité, l'accessibilité et la pérennité des voies navigables du Canada.

1.2 Objectifs

Le présent rapport vise les objectifs suivants :

- Cerner les manières dont les changements climatiques peuvent avoir une incidence sur les voies navigables canadiennes et leurs utilisateurs;
- Évaluer comment ces incidences peuvent influencer la prestation des services maritimes par les responsables de la sécurité et de la sûreté maritimes, y compris les effets sur les actifs, les installations et les infrastructures maritimes, les activités, les programmes opérationnels, la logistique, les règlements et les politiques; et fournir des stratégies potentielles pour gérer le

processus d'adaptation aux changements climatiques afin d'éclairer les futures décisions stratégiques de programme, les investissements, ainsi que les plans d'adaptation aux changements climatiques et d'atténuation des risques pour la Garde côtière canadienne et les autres ministères, les administrations portuaires, l'industrie, les organisations non gouvernementales, les communautés autochtones et côtières et les gouvernements autochtones.

1.3 Portée

Ce rapport se concentre sur les résultats d'une analyse documentaire évaluant les menaces liées aux changements climatiques et cernant les stratégies d'adaptation potentielles partout au Canada, y compris les systèmes marins et d'eau douce (ex. à l'intérieur des terres). Les dangers liés aux changements climatiques inclus dans l'analyse sont ceux qui ont été identifiés comme étant les plus pertinents pour l'environnement maritime canadien. Les mécanismes par lesquels les dangers liés aux changements climatiques sont susceptibles d'influencer le milieu maritime canadien sont organisés selon les thèmes suivants :

- Infrastructures portuaires et côtières
- Transport maritime commercial
- Pêche en mer
- Tourisme marin et côtier
- Transport maritime intérieur

L'analyse cerne une série de stratégies d'adaptation pertinentes tant pour les opérations maritimes canadiennes que pour les utilisateurs des voies navigables du Canada, et se concentre sur celles qui sont applicables à la Garde côtière canadienne, aux ministères du gouvernement canadien, aux administrations portuaires, aux communautés autochtones et côtières, aux gouvernements autochtones, à l'industrie et aux organisations non gouvernementales.

Pour comprendre comment d'autres organismes maritimes à l'extérieur du Canada abordent la vulnérabilité et l'adaptation aux changements climatiques, des recherches ont été effectuées pour la Norvège, les États-Unis et les Pays-Bas, y compris une analyse documentaire et des entrevues avec des chercheurs travaillant dans le domaine de l'adaptation et de la résilience aux changements climatiques, particulièrement en ce qui concerne les actifs et opérations maritimes.

1.4 Comprendre les risques et les répercussions climatiques : terminologie

Les termes techniques utilisés dans ce rapport décrivent des aspects du système climatique, des changements climatiques et de la planification de l'adaptation et sont énumérés dans le glossaire du rapport (adapté d'autres ressources, voir : GIEC, 2022; AIPCN, 2020; Bush et Lemmen, 2019). Cette section du rapport présente les relations fondamentales entre les principaux termes relatifs aux changements climatiques afin de mieux comprendre les relations entre les changements climatiques,

les évaluations de la vulnérabilité et les efforts d'adaptation et d'atténuation des risques en ce qui concerne l'environnement maritime canadien.

Pour comprendre le risque lié aux changements climatiques, il est important de reconnaître qu'il est déterminé sur la base de l'interaction entre trois éléments : la prévalence des aléas climatiques, l'exposition des actifs/opérations/services qui pourraient être touchés par lesdits aléas, et la vulnérabilité des actifs aux aléas en fonction de leur sensibilité et de leur capacité d'adaptation. Les répercussions représentent les conséquences des risques climatiques réalisés sur les actifs et les systèmes. L'adaptation représente les mesures visant à gérer les répercussions des changements climatiques et peut inclure des efforts pour atténuer les répercussions ou améliorer la résilience des actifs, des opérations et des systèmes. Les évaluations des risques et de la vulnérabilité, qui sont examinées en détail dans le présent rapport, peuvent prendre de nombreuses formes et se concentrent généralement sur la relation entre les aléas climatiques et les caractéristiques des actifs en tant que mécanisme permettant d'évaluer quels actifs sont les plus exposés aux changements climatiques. Généralement, la vulnérabilité intègre à la fois la sensibilité et la capacité d'adaptation. En comprenant quels actifs sont les plus vulnérables et en déterminant le niveau de risque potentiel pour ces actifs, les résultats des évaluations de la vulnérabilité peuvent soutenir les efforts d'adaptation stratégique dans le futur (AIPCN, 2020).

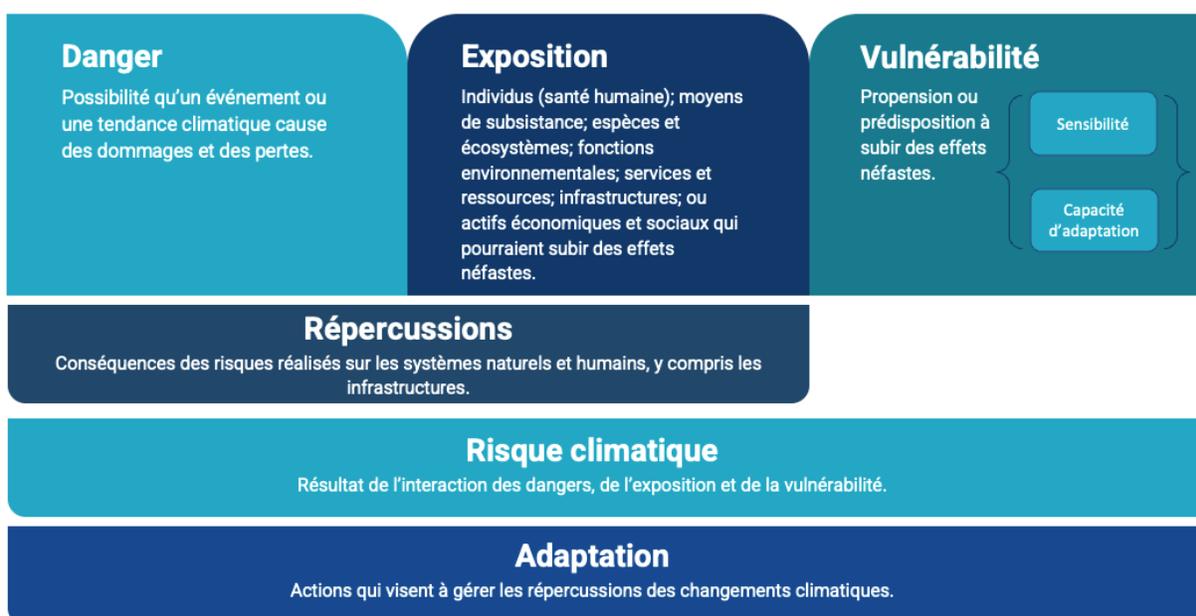


Figure 1. La relation entre la vulnérabilité, les risques climatiques, les répercussions et l'adaptation

1.5 Organisation et contenu du rapport

Le contenu du rapport est organisé comme suit :

- Section 1 :** Introduction et définition du but, de la portée et des objectifs du rapport, et définitions pertinentes
- Section 2 :** Aperçu de la méthodologie utilisée pour l'analyse
- Section 3 :** Résumé des répercussions et des risques climatiques les plus pertinents pour l'environnement maritime canadien
- Section 4 :** Conséquences des répercussions et des dangers des changements climatiques pour l'environnement maritime canadien
- Section 5 :** Exploration des évaluations des risques et de la vulnérabilité et des stratégies d'adaptation, y compris celles menées aux États-Unis, en Norvège et aux Pays-Bas
- Section 6 :** Mesures et stratégies d'adaptation pour le secteur maritime
- Section 7 :** Thèmes et conclusions clés
- Section 8 :** Recommandations et stratégies : stratégies pour gérer le processus d'adaptation aux changements climatiques afin d'éclairer les futures décisions relatives aux programmes, aux investissements et aux plans d'adaptation aux changements climatiques et d'atténuation des risques.
- Section 9 :** Décrit la documentation et les ressources citées dans le rapport.

2.0 Méthodes de recherche et d'évaluation

Cette section décrit la méthodologie appliquée pour cerner les manières dont les changements climatiques auront une incidence sur les voies navigables canadiennes et leurs utilisateurs, et comment ces changements influenceront la prestation de services maritimes par la Garde côtière canadienne et autres organisations. Les stratégies potentielles pour gérer le processus d'adaptation aux changements climatiques afin d'éclairer la planification et la prise de décision futures y sont également présentées.

Dillon a appliqué l'approche globale suivante pour réaliser l'analyse :

1. Examen de la documentation axée sur les risques liés aux changements climatiques et l'environnement maritime au Canada.
2. Détermination des aléas climatiques et de leurs répercussions connexes pour le milieu maritime canadien.
3. Analyse des répercussions des changements climatiques et des manières dont elles peuvent influencer l'environnement maritime canadien.
4. Diffusion d'une enquête en ligne auprès des chercheurs, des organismes gouvernementaux, des organisations non gouvernementales et de l'industrie pour cerner et comprendre les aléas climatiques, les répercussions et les stratégies d'adaptation.
5. Entretiens avec des chercheurs de premier plan travaillant dans le domaine de l'adaptation et de la résilience aux changements climatiques, en particulier pour les actifs et les opérations maritimes (les questions et les réponses se trouvent à l'annexe A).
6. Exploration des approches spécifiques aux évaluations des risques et de la vulnérabilité et aux stratégies d'adaptation aux États-Unis, en Norvège et aux Pays-Bas.
7. Élaboration de recommandations et de stratégies à partir de l'analyse documentaire et des renseignements recueillis lors des entretiens, afin de définir des approches stratégiques pour la planification de l'adaptation aux changements climatiques et la prise de décision.

2.1 Revue de la documentation

Dillon a analysé et synthétisé des renseignements provenant de diverses sources, telles que la documentation évaluée par les pairs, la littérature grise, les rapports gouvernementaux et les rapports de l'industrie, afin de cerner et de cataloguer les répercussions des changements climatiques susceptibles d'influencer le milieu maritime (et de quelle manière). Les résultats scientifiques et techniques ont été compilés et interprétés en fonction de leur importance pour les objectifs du projet. Parmi les principales sources utilisées dans le cadre de l'analyse documentaire pour comprendre les risques climatiques, les répercussions, les évaluations des risques et de la vulnérabilité, et les stratégies d'adaptation, figurent les ressources suivantes :

Aléas climatiques

- Gouvernement du Canada : Le littoral maritime du Canada face à l'évolution du climat (Lemmen et coll., 2016)
- GIEC : Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité. Chapitre 6 : Systèmes océaniques (Pörtner et coll., 2014)

Répercussions climatiques

- Institut international du développement durable : Renforcer la résilience climatique des infrastructures canadiennes : Une revue de la littérature pour éclairer la voie à suivre (Swanson et coll., 2021)
- Gouvernement du Canada : Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : Perspective canadienne (Lemmen et coll., 2004)

Évaluations des risques et de la vulnérabilité et stratégies d'adaptation

- Association internationale de navigation (AIPCN) : *Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways* (AIPCN, 2020)
- *Climate Change Adaptation Strategies and Policy Options for Arctic Shipping in Canada*. Rapport préparé pour Transports Canada (Dawson et coll., 2017)

2.2 Gagner en perspective : chercheurs, utilisateurs maritimes et opérations maritimes

2.2.1 Entretiens avec des chercheurs et des programmes de recherche de premier plan

Une liste des principaux programmes de recherche et chercheurs (universitaires, organisations non gouvernementales et professionnels de l'industrie) travaillant dans le domaine de l'adaptation et de la résilience aux changements climatiques à l'échelle mondiale, y compris ceux qui sont spécifiques aux actifs et aux opérations maritimes, a été dressée. Un inventaire des principaux chercheurs et programmes de recherche contribuant aux connaissances sur la résilience aux changements climatiques et l'adaptation des services maritimes pour soutenir la sécurité, l'accessibilité et la durabilité des voies navigables a également été établi. Huit chercheurs clés ont été contactés pour une entrevue virtuelle de trente minutes. Les chercheurs et programmes de recherche désignés comme chefs de file en matière de résilience et d'adaptation aux changements climatiques comprenaient les organisations suivantes :

1. Université RMIT (Australie)
2. Institut de recherche maritime des Pays-Bas (MARIN)
3. Université du Rhode Island (Département des affaires maritimes)
4. Association des administrations portuaires canadiennes (AAPC)
5. L'Alliance verte

6. Corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis (Centre de recherche et de développement en génie)
7. Garde côtière des États-Unis
8. Institut climatique du Canada

Les entrevues étaient centrées sur une série de questions axées sur l'adaptation afin de cerner des stratégies d'adaptation et de résilience, la capacité du secteur maritime à s'adapter aux changements climatiques, les stratégies émergentes à l'appui de l'adaptation au climat spécifiques aux actifs et aux opérations maritimes, et les stratégies d'adaptation qui ont été mises en œuvre et se sont avérées fructueuses. Les questions d'entrevue et les résumés des réponses sont présentés à l'annexe A.

2.2.2 Enquête sur le climat : répercussions, risques, adaptation et résilience des voies navigables

Les principaux chercheurs et programmes de recherche contribuant aux connaissances sur la résilience et l'adaptation des services maritimes aux changements climatiques qui n'ont pas été interviewés ont été invités à répondre à une enquête Google en ligne (Annexe B). L'enquête a été conçue pour cerner et cataloguer les répercussions et les risques vécus ou anticipés par les utilisateurs des voies navigables et les chercheurs, et pour comprendre les cadres décisionnels et les stratégies d'adaptation, tant dans le secteur maritime que dans les industries parallèles, qui sont essentiels pour soutenir des voies navigables sécuritaires, accessibles et durables.

2.3 Une analyse des évaluations des risques et de la vulnérabilité et des stratégies d'adaptation dans d'autres pays

Une analyse des évaluations de la vulnérabilité aux changements climatiques et des études sur l'atténuation des risques liés aux changements climatiques ont été examinées aux États-Unis, en Norvège et aux Pays-Bas. Chacun de ces pays représente une nation qui donne la priorité à l'adaptation aux changements climatiques, à l'atténuation de ces derniers et à la recherche. Ces trois pays ont été inclus pour les raisons suivantes :

- Les États-Unis ont été inclus dans l'évaluation car leurs voies navigables sont très proches des voies navigables canadiennes; il existe donc de nombreuses similitudes en ce qui concerne les risques et les répercussions climatiques;
- La Norvège a été incluse car elle est un pays nordique dont la géographie arctique est similaire à celle du Canada;
- Les Pays-Bas sont un pays maritime clé qui tient compte des répercussions des changements climatiques, notamment les inondations et l'élévation du niveau de la mer.

3.0 Résumé des dangers climatiques pour l'environnement maritime canadien

Cette section présente les principaux dangers climatiques cernés pour l'environnement maritime canadien, tels qu'ils ressortent de l'analyse documentaire et des idées glanées auprès des principaux chercheurs et utilisateurs maritimes. Les risques liés aux changements climatiques pour l'environnement maritime canadien peuvent être classés en quatre principaux groupes :

- Biochimie marine
- Élévation du niveau de la mer
- Événements météorologiques extrêmes
- Changements dans la cryosphère

Tous les dangers sont interconnectés et peuvent s'influencer et s'exacerber mutuellement (Bush et Lemmen, 2019). Par exemple, on prévoit que les effets combinés de l'élévation du niveau de la mer et des ondes de tempête plus intenses et plus fréquentes seront plus préjudiciables à la stabilité du littoral que l'un ou l'autre de ces effets pris de manière isolée. Cet effet combiné est également représenté par les répercussions des conditions météorologiques extrêmes sur la pêche en mer, qui peuvent être aggravées par la modification du calendrier et de la disponibilité des espèces exploitées commercialement, causées par le réchauffement des températures océaniques et la modification de la dynamique des écosystèmes (biochimie). Chaque catégorie de danger climatique est examinée plus en détail ci-dessous.

3.1 Première catégorie de danger : changements dans la biochimie marine

La chimie des océans a évolué tout au long du XX^e siècle et devrait continuer à changer (US EPA, 2021a; Cheng et coll., 2020; NOAA, 2020; IUCN, s.d.). Les changements de la chimie de l'eau peuvent avoir des répercussions importantes sur les environnements marins côtiers; plus précisément, les changements de température, de salinité et d'acidification, ainsi que l'appauvrissement en oxygène, peuvent modifier la structure et la fonction de ressources et d'écosystèmes marins précieux. Ces changements ont des incidences sur les environnements côtiers et les voies navigables du Canada, ainsi que sur leurs utilisateurs, notamment :

- La composition et l'abondance des espèces sont touchées lorsque le réchauffement des océans modifie la répartition géographique du biote marin, ce qui peut entraîner l'apparition d'espèces envahissantes qui exacerbent ce problème en modifiant la dynamique des écosystèmes (Sorte et coll., 2010; Poloczanska et coll., 2016; Rockwell et coll., 2009). Le calendrier et la disponibilité des espèces commercialement importantes sont cruciaux pour le succès de l'industrie de la pêche en mer qui a des répercussions sur les économies locales et nationales.

- La salinité de la surface de la mer augmente depuis 1960 dans les régions océaniques où la salinité est supérieure à la moyenne mondiale (Cheng et coll. 2020; Durack et coll., 2012), ce qui peut entraîner une corrosion accélérée des infrastructures au fil du temps (AIPCN, 2020). Les parties plus fraîches de l'océan, comme l'Arctique et l'Antarctique, observent une diminution de la salinité en réponse à la fonte des glaciers et de la glace de mer (Durack et coll., 2012; Haumann et coll., 2016). La diminution de la salinité de surface peut avoir les mêmes répercussions sur l'industrie de la pêche que les augmentations de température en modifiant les schémas de distribution spatiale et temporelle des populations (Poloczanska et coll., 2016). La végétation côtière sensible, comme les marais salés essentiels aux espèces de poissons et d'invertébrés autochtones, peut également être altérée par l'augmentation de la température de l'océan.
- La perte de la végétation protectrice limite la capacité du littoral à résister à l'érosion côtière, ce qui a une incidence sur les infrastructures portuaires et le tourisme maritime (Lapointe et coll., 2021; Miller et coll., 2020).
- Lorsque la température augmente et que la saturation en oxygène dissous diminue, les zones hypoxiques dans la colonne d'eau (c'est-à-dire les « zones mortes ») constituent un risque pour la vie marine et peuvent entraîner des mortalités de poissons à grande échelle, une altération du développement physiologique et une perte d'habitat pour les organismes benthiques, ce qui a des ramifications pour la pêche commerciale (Altieri et Gedan, 2014; NOAA, 2021).
- Les tendances croissantes de l'acidification des océans ont été identifiées comme étant gravement préjudiciables à de multiples groupes d'organismes, notamment les diatomées, les invertébrés benthiques (y compris les espèces exploitées commercialement comme le homard et le crabe), les poissons, les algues et les herbes marines (Pörtner et coll., 2014).

3.2 Deuxième catégorie de danger : élévation du niveau de la mer

Le niveau de la mer devrait continuer à augmenter à l'échelle mondiale (US EPA, 2021b). L'augmentation des niveaux d'eau peut entraîner une augmentation des inondations et des débordements, endommageant les infrastructures portuaires et contribuant à l'érosion côtière (Izaguirre et coll., 2021; Swanson et coll., 2021). La hauteur des vagues et la durée des saisons météorologiques extrêmes devraient également augmenter en raison de la hausse des niveaux d'eau, ce qui présente un risque à la fois pour les infrastructures, pour la pêche en mer et pour la navigation et le transport maritime (Cohen et coll., 2019). Les infrastructures côtières, y compris les terminaux et les ports pour petits bateaux, peuvent devenir plus exposées à l'action des vagues et aux inondations, car les barrières de protection telles que les digues et les brise-lames sont submergées. Au fil du temps, les côtes non développées et inondées de façon répétée par l'élévation du niveau de la mer poussent la végétation côtière (ex. les marais salés) vers l'intérieur des terres, ce qui a une incidence sur le littoral terrestre avec l'eau salée intrusive (Borchert et coll., 2018). Le risque plus élevé d'inondation à court terme et la transformation permanente des rivages à long terme ont des conséquences environnementales, sociales et économiques importantes (Lemmen et coll., 2016).

3.3 Troisième catégorie de danger : événements météorologiques extrêmes

Les données historiques et les tendances prévues indiquent que la fréquence et l'ampleur des phénomènes météorologiques extrêmes continueront d'augmenter en raison des changements climatiques (Swanson et coll., 2021). Des tempêtes plus intenses et plus fréquentes, y compris les ouragans, augmenteront considérablement la probabilité d'inondation par ondes de tempête sur les trois côtes du Canada, exacerbant les répercussions déjà cernées de l'érosion côtière et des dommages aux infrastructures (Lemmen et coll., 2016; Swanson et coll., 2021). Les communautés côtières qui dépendent du tourisme peuvent être fortement touchées par les conditions météorologiques extrêmes, ce qui est économiquement coûteux pour l'industrie (Lapointe et coll., 2021). Les services de transport maritime peuvent être perturbés quand les traversiers résidentiels et commerciaux ou les navires marchands sont retardés par les tempêtes, ou si des dommages sont causés aux routes d'accès et aux quais (Coll et coll., 2013). La réduction de la visibilité due au brouillard, aux blizzards ou aux tempêtes de sable peut aggraver les retards (AIPCN, 2020). Une augmentation d'autres phénomènes météorologiques extrêmes tels que les ouragans, la sécheresse, les pluies abondantes et les inondations est prévue en raison de l'augmentation des précipitations. Ces phénomènes peuvent tous causer des dommages directs et indirects aux navires et aux systèmes opérationnels (AIPCN, 2020). L'accessibilité routière et ferroviaire aux ports est cruciale pour maintenir le flux d'individus, de biens et de services (Lemmen et coll., 2016).

3.4 Quatrième catégorie de danger : changements dans la cryosphère

L'étendue spatiale et temporelle de la glace de mer devrait continuer à diminuer (Pizzolato et coll., 2014). La réduction de la couverture de glace de mer dans les régions nordiques du Canada devrait accroître la demande d'utilisation des corridors libres de glace pour le transport maritime, l'exploration des ressources et le tourisme (Mudryk et coll., 2021; Swanson et coll., 2021). Avec l'augmentation de l'activité, il pourrait y avoir une nouvelle demande de développement des ports de l'Arctique pour accueillir plus fréquemment des navires plus grands (Wang et coll., 2019). Bien que cela puisse apporter certains avantages aux économies locales et mondiales, cela augmente considérablement les dangers et les risques potentiels pour le secteur maritime et ses utilisateurs. Le vêlage des plateformes de glace entraîne la formation d'un plus grand nombre d'icebergs de petite et moyenne taille, ce qui rend ces chenaux arctiques nettement plus dangereux à naviguer. On s'attend à ce qu'un nombre accru de heurts de coque et de naufrages résulte de l'ouverture de l'océan Arctique, compromettant la sécurité du personnel des navires (Dawson et coll., 2017; Schlanger, 2019). De plus, les résidents du Nord canadien comptent sur les sentiers semi-permanents traversant la glace de mer pour accéder aux services essentiels, mais les schémas de neige et de glace moins prévisibles rendent les déplacements dans ces zones plus dangereux pour ces utilisateurs. L'augmentation du tourisme est susceptible d'entraîner une plus grande pollution environnementale qui présente des risques pour la santé écologique (Lemmen et coll., 2016).

Les zones de pergélisol sont plus sujettes à l'érosion côtière que leurs homologues tempérées en raison de la combinaison de plusieurs facteurs liés au climat : le réchauffement des températures entraîne le

dégel du pergélisol, ce qui réduit la stabilité des côtes gelées, et l'augmentation des inondations, des ondes de tempête et de l'action des vagues dégrade rapidement la côte (Jones et coll., 2018).

3.5 Résultats de l'enquête : dangers climatiques observés et notés

Afin d'obtenir des points de vue et des connaissances sur les dangers climatiques, des questions ont été posées dans l'enquête en ligne pour savoir quelles menaces climatiques précises ont été notées et observées dans le cadre de leurs opérations et recherches respectives.

Les dangers climatiques pouvant être sélectionnés dans l'enquête comprennent l'augmentation de l'intensité des tempêtes, l'augmentation de l'action et de l'intensité des vagues, l'élévation du niveau de la mer, la migration des espèces, la fonte de la glace de mer, l'érosion et la sédimentation, les changements dans la chimie des océans, la fonte du pergélisol et les inondations côtières. D'après les réponses obtenues, les répercussions et les dangers les plus fréquemment sélectionnés sont l'augmentation de l'intensité des tempêtes, l'élévation du niveau de la mer, la fonte de la glace de mer et les inondations côtières. Dans les questions ouvertes, les répondants ont mentionné les dangers climatiques suivants en lien avec leurs activités et leurs recherches :

- Augmentation de la fréquence des vagues de chaleur marine à l'échelle régionale et mondiale
- Chaleur extrême, vents violents, sécheresse, masses d'air arctiques hivernales se déplaçant vers le sud, augmentation des feux de forêt, réduction de la glace des lacs en hiver, déplacement d'espèces envahissantes
- Changements dans les conditions de glace pluriannuelles; la fonte de la glace de mer n'est pas uniforme et les changements peuvent entraîner des conditions de glace réellement plus difficiles dans certaines zones de l'Arctique

3.6 Résultats de l'enquête : répercussions des changements climatiques sur les services

L'enquête a permis de recueillir des renseignements sur l'incidence des dangers climatiques sur les services maritimes. Les dangers climatiques pouvant être sélectionnés dans l'enquête comprenaient l'augmentation de l'intensité des tempêtes, l'augmentation de l'action et de l'intensité des vagues, l'élévation du niveau de la mer, la migration des espèces, la fonte de la glace de mer, l'érosion et la sédimentation, les changements dans la chimie des océans, la fonte du pergélisol et les inondations côtières. À la question de savoir quels dangers climatiques ont été observés comme ayant une forte incidence sur les services, le danger le plus fréquemment sélectionné par les répondants est l'inondation côtière. La fonte du pergélisol, l'érosion et la sédimentation et l'augmentation de l'action et de l'intensité des vagues ont été les moins souvent sélectionnées par les répondants.

Des questions ouvertes portant sur la manière dont des dangers climatiques précis ont été observés/étudiés pour avoir une incidence sur les services ont été posées dans l'enquête. Les répondants ont fait part des observations suivantes concernant les dangers liés aux changements climatiques et leurs conséquences sur l'environnement maritime :

- Modification de la migration/remontée des poissons au printemps
- Utilisation accrue de l'accès aux eaux publiques en raison de la chaleur extrême
- Vents forts qui réduisent l'utilisation des bateaux de plaisance
- Augmentation des accidents de navigation
- Vents violents, tempêtes de verglas et charge de neige causant des dommages aux arbres et des coupures de lignes électriques
- Détérioration accrue de la chaussée
- Utilisation accrue du sel de déneigement et du déneigement
- Augmentation des réclamations d'assurance des municipalités
- Phénomènes météorologiques violents entraînant des modifications de la phénologie (ex. les vagues de chaleur marine et le moment de la mue des homards)
- Augmentation du nombre d'ouragans le long de la côte Est et répercussions secondaires en cascade dues à la perte de services essentiels (ex. électricité, communications, transport de surface)

La section suivante explore plus en détail les répercussions potentielles des dangers liés aux changements climatiques sur des sous-secteurs de l'environnement maritime canadien.

4.0 Répercussions des dangers liés aux changements climatiques sur l'environnement maritime canadien

Cette section présente une synthèse des répercussions des changements climatiques susceptibles d'influencer l'environnement maritime canadien (c.-à-d. les voies navigables et leurs utilisateurs) et de quelle manière, d'après l'analyse documentaire et les réponses aux sondages et entrevues. Les répercussions sont regroupées en sept thèmes :

- Infrastructures portuaires et côtières
- Transport maritime commercial
- Pêche en mer
- Tourisme marin et côtier
- Transport maritime intérieur
- Points de vue autochtones et répercussions maritimes des changements climatiques
- Répercussions futures des changements climatiques sur la souveraineté et la sécurité de l'Arctique

4.1 Premier thème : infrastructures portuaires et côtières

Les ports remplissent une fonction essentielle dans la chaîne d'approvisionnement de même que dans le commerce et l'économie à l'échelle mondiale (Becker et coll., 2018). Toute incidence significative sur les infrastructures portuaires peut avoir des répercussions ultérieures sur l'économie locale, nationale et mondiale (Becker et coll., 2018). Alors que le climat mondial continue de changer, une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes – fortes précipitations, vagues de chaleur, tempêtes, ouragans – et davantage de changements « à évolution lente » tels que l'élévation du niveau de la mer, la salinité de surface et la diminution de la couverture de glace de mer, sont anticipés.

Les changements du niveau de la mer varieront au Canada au cours de ce siècle. L'élévation du niveau de la mer modifiera la nature de l'action des vagues le long des côtes et augmentera la gravité des ondes de tempête (Swanson et coll., 2021). Cela entraînera diverses répercussions sur les infrastructures portuaires et côtières. L'élévation du niveau de la mer, les ondes de tempête plus graves et les changements de régime des vagues peuvent directement inonder et endommager les ports et autres infrastructures côtières essentielles telles que les liaisons routières ou ferroviaires, entraînant des coûts importants (Lemmen et coll., 2016). Bien que certains ports puissent trouver des avantages à pouvoir accueillir des navires à plus fort tirant d'eau à la suite de l'élévation du niveau de la mer, l'augmentation des taux de sédimentation et d'érosion dans les canaux de navigation peut nécessiter des activités de dragage plus réactives, tandis que l'augmentation des taux de corrosion due aux changements de salinité de l'eau accélérera la dégradation des infrastructures (AIPCN, 2020). En outre, les tendances montrent une augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes tropicales; en particulier

dans l'océan Atlantique, ce qui peut élever les risques de fermeture des ports et de dommages à long terme sur les infrastructures portuaires (Becker et coll., 2018).

L'augmentation des précipitations et les inondations à l'intérieur des terres peuvent avoir une incidence sur les opérations portuaires en endommageant les marchandises, les équipements et les liaisons routières ou ferroviaires importantes (Schweighofer, 2014). L'augmentation de l'intensité et de la durée du brouillard peut réduire la visibilité, entraînant des conditions dangereuses pour les opérations portuaires. L'augmentation des coûts d'entretien des infrastructures portuaires peut entraîner des incidences monétaires importantes pour les exploitants portuaires. De plus, l'entretien des routes et des voies ferrées côtières, la perturbation du trafic et les retards peuvent entraîner d'importants coûts monétaires et de renonciation pour tous les secteurs maritimes qui dépendent de la fiabilité des fonctions portuaires.

4.2 Deuxième thème : transport maritime commercial

Les changements climatiques auront probablement une incidence sur les routes commerciales maritimes, car les tempêtes deviendront plus intenses et plus fréquentes (AIPCN, 2020). Pour éviter ou minimiser les répercussions associées au mauvais temps, les navires sont souvent contraints d'ajuster leurs itinéraires, ce qui entraîne des retards potentiels et une augmentation de la consommation de carburant. Les navires qui n'ont pas accès aux services de routage météorologique risquent de subir des retards importants, des pertes de cargaison ou des dommages (Wagner, 2021). Une plus grande incidence des efflorescences algales nuisibles et des espèces envahissantes peut avoir des effets sur le transport maritime en altérant les prises d'eau de refroidissement/eau douce, ce qui nécessite davantage d'entretien des navires (Lemmen et coll., 2016). Si l'on tient compte des effets des changements climatiques sur les infrastructures portuaires, le réseau de transport maritime peut rencontrer des perturbations plus fréquentes des opérations de chargement/déchargement, ce qui entraîne des perturbations de la chaîne d'approvisionnement.

Le transport maritime joue un rôle essentiel dans l'acheminement des marchandises vers les communautés de l'Arctique canadien. Bien que l'accès maritime à l'Arctique canadien ait historiquement été limité, en raison de l'état des glaces, à une fenêtre de un à trois mois entre juillet et septembre, les changements climatiques ont commencé et continueront à modifier l'état des glaces de mer, facilitant ainsi des saisons de transport de plus en plus dynamiques (Mudryk et coll., 2021). Le consensus général est qu'il existe une possibilité future d'augmentation du trafic maritime dans les eaux arctiques en raison de la diminution de la quantité de glace de mer et de la modification du moment de sa formation (Swanson et coll., 2021). Cela peut présenter de nouveaux corridors de transport maritime et donc de nouvelles occasions pour le transport, le développement des ressources naturelles et l'exploration pétrolière et gazière (Lemmen et coll., 2016). Cependant, il existe encore des risques considérables qui pourraient influencer les futurs modèles de trafic maritime dans l'Arctique canadien (Mudryk et coll., 2021). Les conditions de glace imprévisibles, les cartes hydrographiques limitées et le manque d'infrastructures de soutien font partie de ces risques.

Une certaine augmentation du trafic maritime est anticipée dans un avenir proche, mais la probabilité d'une augmentation rapide du trafic est faible compte tenu de la persistance de la glace et d'autres dangers dans la région. Dans ce cas, les changements climatiques servent de catalyseur pour le transport maritime dans l'Arctique et non de moteur direct, car d'autres facteurs, tels que les prix des denrées de base et les avancées technologiques, peuvent contribuer de manière significative aux changements des tendances futures (Dawson et coll., 2017).

L'augmentation potentielle de l'activité dans l'Arctique canadien n'est pas seulement due à une augmentation du transport; le tourisme, la pêche et l'exploration (abordés ci-dessous) seront également à l'origine de ce changement. L'augmentation de l'activité peut s'accompagner d'une augmentation de la demande de services de la Garde côtière canadienne, comme la recherche et le sauvetage (Frost, 2021) et les services hydrographiques. La navigation dans l'Arctique canadien peut encore être dangereuse en raison des risques accrus associés aux eaux peu profondes et non cartographiées, au manque d'aides à la navigation et aux conditions météorologiques incertaines. Plus les individus s'aventurent au nord, plus les opérations de recherche et de sauvetage deviennent difficiles. En plus de la complexité des opérations dans l'Arctique, d'autres facteurs aggravants, comme l'obscurité totale, les vents violents et les longues distances par rapport aux infrastructures de soutien, peuvent poser encore plus de défis à la Garde côtière canadienne et à ses partenaires.

La réduction de la couverture de glace de mer pourrait également se traduire par une réduction du besoin (et des exigences en matière de services locaux) de services de déglacage de la Garde côtière canadienne (Rompkey et Cochrane, 2009). Dans l'ensemble, une saison libre de glace plus longue peut apporter une série d'occasions et de risques pour de multiples activités maritimes dans l'Arctique.

4.3 Troisième thème : pêche en mer

Les modifications prévues de la biochimie marine, telles que les changements de température, d'acidité et d'oxygène dissous dans l'océan, peuvent avoir des répercussions importantes sur la population et la distribution des poissons. Les changements de température de l'océan peuvent avoir une incidence sur les modèles de migration de la vie marine, car ils se déplacent vers des régions où les températures sont plus fraîches ou plus optimales (Poloczanska et coll., 2016). Lors d'un événement bien documenté sur la côte ouest de la Colombie-Britannique de 2013 à 2015, le réchauffement des eaux côtières a facilité la croissance et la prolifération d'algues nuisibles et l'afflux d'espèces envahissantes, endommageant l'écosystème local et ayant une incidence sur les pêches locales (Lemmen et coll., 2016).

La réduction des niveaux d'oxygène dissous peut créer des environnements hypoxiques pour les espèces marines. Cela se traduit par une perte d'habitat et des changements de distribution pour les espèces mobiles, une augmentation de la mortalité pour les espèces plus immobiles, une modification des taux de croissance pour différents animaux et une réduction globale de la productivité (Altieri et Gedan, 2014; NOAA, 2021). Il est attendu que la réduction de la productivité parmi les espèces marines réduise possiblement le potentiel économique de l'industrie de la pêche (Gregg et coll., 2018). De plus,

si les espèces pêchées commercialement ont des déplacements de distribution, cela peut entraîner des changements dans les schémas de trafic maritime.

L'acidification des océans représente une menace importante pour des espèces commerciales de poissons, de mollusques, de crustacés et de gastéropodes. Des espèces telles que les huîtres et les homards connaissent déjà des phénomènes tels que la dissolution de la coquille, un retard de croissance et la mortalité (NOAA, 2020). Les changements climatiques augmentent la température et l'acidité des océans et modifient les niveaux de salinité tout en diminuant l'abondance de l'oxygène dissous. Ces changements peuvent avoir une incidence sur la distribution, la productivité, la reproduction, la croissance et la migration de nombreuses espèces d'importance commerciale et, à leur tour, influencer sur le succès des efforts de pêche (Gregg et coll., 2018). En outre, l'industrie de la pêche en mer sera confrontée à des conditions de travail plus difficiles et plus dangereuses avec une augmentation de la gravité et de la fréquence des événements météorologiques extrêmes (Rezaee et coll., 2016).

4.4 Quatrième thème : tourisme marin et côtier

Les changements dans les régimes climatiques saisonniers et la diminution de la couverture de glace de mer ont augmenté l'accès maritime à l'Arctique canadien (Dawson et coll., 2017). Par conséquent, le secteur du tourisme marin a connu une croissance fulgurante au cours des dernières décennies (Stewart et coll., 2011; Dawson et coll., 2014; Pizzolato et coll., 2014). Le trafic des yachts privés et des navires de croisière a augmenté de 110 % et de 400 %, respectivement, entre 2005 et 2015 (Lemmen et coll., 2004; Lemmen et coll., 2016). Au fur et à mesure que le climat évolue, de nouveaux passages dans l'Arctique canadien émergent et une saison de croisière plus longue peut entraîner une augmentation du tourisme dans le Nord.

Malgré les possibilités offertes par le développement du tourisme, il existe des risques importants liés aux effets négatifs sur l'environnement, la société et la culture locales, au manque d'infrastructures de soutien pour faire face à une croissance aussi importante du tourisme dans l'Arctique, ainsi qu'aux capacités limitées de recherche et de sauvetage. Les risques de collision entre navires sont particulièrement élevés en raison des cartes hydrographiques limitées et des conditions de glace imprévisibles. Des risques sérieux pourraient influencer les tendances futures du tourisme dans l'Arctique canadien (Mudryk et coll., 2021).

Une autre partie importante de l'industrie du tourisme est le tourisme côtier, qui est défini par *Tourism Development International* comme « le secteur de l'industrie du tourisme qui s'appuie sur les touristes et les visiteurs prenant part à des activités de loisirs et de vacances actives et passives ou à des voyages sur (ou dans) les eaux côtières, leurs rivages et leurs arrière-pays immédiats » (Lapointe et coll., 2021). Comme le tourisme côtier tourne autour de l'interface mer-terre, les répercussions des changements climatiques, tels que l'élévation du niveau de la mer, les ondes de tempête et l'érosion côtière, peuvent continuer à toucher les infrastructures touristiques côtières. Au Québec, les Îles-de-la-Madeleine, un petit archipel du golfe du Saint-Laurent où le tourisme est le deuxième plus grand contributeur à l'économie des îles, en sont un exemple (Arseneau Bussièrès et Chevrier, 2008; Tourisme Québec,

2021). Les Îles-de-la-Madeleine sont menacées par des taux d'érosion croissants qui peuvent être attribués à l'élévation du niveau de la mer, à la réduction de la couverture de glace de mer, aux changements dans les processus d'hivernage et dans les modèles de précipitation. Tous ces facteurs peuvent mener à des cas de resserrement des côtes, de perte d'habitat et de recul des rivages.

En général, de nombreuses régions le long de la côte atlantique sont très sensibles à l'élévation du niveau de la mer. Il s'agit notamment de la côte nord de l'Île-du-Prince-Édouard, de la côte du golfe du Nouveau-Brunswick, d'une grande partie de la côte atlantique de la Nouvelle-Écosse et de certaines parties de Charlottetown et de Saint John. Les principaux problèmes observés dans ces régions sont l'augmentation des inondations dues aux ondes de tempête, la submersion permanente de certaines parties de la côte, l'érosion accélérée des plages et des dunes côtières, la dégradation des zones humides côtières et l'intrusion d'eau salée dans les aquifères côtiers (Lemmen et coll., 2004; Lemmen et coll., 2016). La côte du Pacifique présente une sensibilité généralement faible à l'élévation du niveau de la mer, la plus grande sensibilité se situant dans certaines parties des îles de la Reine-Charlotte, du delta du fleuve Fraser et de certaines parties de Victoria et de Vancouver. Les principaux problèmes observés dans ces régions sont la rupture de digues, les inondations et l'érosion côtière (Lemmen et coll., 2016).

4.5 Cinquième thème : transport maritime intérieur

Les Grands Lacs et le fleuve Saint-Laurent forment l'un des plus longs systèmes de navigation intérieure au monde, reliant plus de 110 ports au Canada et aux États-Unis par une série de canaux, de rivières, de détroits, d'écluses et de chenaux (Commission mixte internationale, s.d.).

Le réchauffement des températures de l'air, l'augmentation des précipitations et les oscillations plus extrêmes entre les périodes de sécheresse et de fortes précipitations dans la région des Grands Lacs entraîneront une variabilité des niveaux d'eau qui posera des défis aux infrastructures côtières (Cohen et coll., 2019; Groupe de travail sur les enjeux émergents du Conseil de la qualité de l'eau des Grands Lacs, 2017). La baisse des niveaux d'eau peut entraîner des défis pour la navigation dans les parties peu profondes des chenaux et des ports des Grands Lacs. Cela peut conduire à la décision coûteuse de réduire la quantité de marchandises transportées afin de poursuivre les opérations de transport à une certaine capacité (Lemmen et al, 2004; Schweighofer, 2014). Par ailleurs, des niveaux d'eau plus élevés peuvent être bénéfiques pour la navigation de navires transportant un volume de marchandises plus important, mais peuvent également contribuer à l'inondation des quais et accélérer l'érosion du littoral (Swanson et coll., 2021).

De plus, la réduction de la couverture de glace des lacs causée par la hausse des températures pourrait entraîner des inondations et une érosion plus importantes sur les infrastructures et les communautés côtières, car la glace joue un rôle essentiel dans la protection des infrastructures côtières contre l'impact des vagues (Swanson et coll., 2021). D'autres événements extrêmes - inondations, tempêtes, blizzards, etc. - peuvent causer des dommages directs, des défaillances structurelles, des temps d'arrêt et la fermeture des actifs de transport par voie d'eau, des activités de manutention des marchandises et des systèmes opérationnels (AIPCN, 2020). Des conséquences similaires sont attendues pour le vaste

système d'écluses, de canaux et de barrages qui régulent les niveaux d'eau et le flux de trafic dans le système des Grands Lacs.

4.6 Sixième thème : points de vue autochtones et répercussions des changements climatiques sur l'environnement maritime¹

Les activités de récolte comme la chasse, la pêche, le piégeage et la cueillette de plantes sauvages font partie du mode de vie des peuples autochtones depuis des millénaires. Pour de nombreuses communautés autochtones, notamment celles des Territoires du Nord-Ouest, la plupart des activités de chasse, de cueillette et de pêche ont lieu dans les grandes baies et les bras de mer le long de la côte et loin à l'intérieur des terres. Par conséquent, bon nombre de leurs traditions sont vulnérables aux répercussions des changements climatiques. Les poissons et les invertébrés marins importants pour les communautés autochtones devraient diminuer jusqu'à 64 % d'ici 2050, selon le scénario d'émissions élevées du GIEC (Whitney et coll., 2020). Les cinq espèces de saumons anadromes, qui constituent collectivement un aliment de base pour les communautés autochtones, devraient diminuer de 12,1 à 46,8 % d'ici 2050, selon le même scénario d'émissions, ce qui pourrait gravement influencer l'accès des Autochtones aux nutriments essentiels (Marushka et coll., 2018). Les changements dans la biochimie des océans et des cours d'eau intérieurs sont susceptibles de perturber les modèles de frai et de migration des poissons, et d'avoir une incidence sur la capacité des communautés à accéder aux lieux de récolte, de chasse et de pêche (Ford et coll., 2008; Whitney et coll., 2020).

Les communautés autochtones des territoires nordiques sont également vulnérables aux effets des changements climatiques sur les conditions de la glace de mer. En raison des distances nécessaires pour se rendre des communautés éloignées aux zones de ressources de subsistance, la glace de mer constitue la principale surface sur laquelle les déplacements s'effectuent. Le système de glace de mer relie les communautés aux zones traditionnelles de chasse, de pêche et de piégeage. Parmi les effets qui continuent d'être observés, citons la réduction de l'épaisseur de la glace, une débâcle plus précoce et une formation de la glace plus tardive et plus lente. De nombreuses communautés autochtones dépendent de la prévisibilité de la formation des glaces et des caractéristiques de la glace de mer. Les conditions imprévisibles de la glace de mer posent donc des risques liés à des conditions de voyage dangereuses, conduisant les individus à s'échouer ou à tomber dans l'eau et limitant l'accès aux sources essentielles de nourriture (Lemmen et coll., 2016).

Un rapport portant sur les répercussions des changements climatiques et les stratégies d'adaptation issues des connaissances, des points de vue et des expériences autochtones devrait être publié en 2022. Ce rapport est codirigé par Graeme Reed, conseiller principal en politiques à l'Assemblée des Premières Nations, et Shari Fox, chercheuse scientifique au *National Snow and Ice Data Center* de l'Université du Colorado à Boulder.

¹ À noter que les idées présentées dans la littérature n'ont pas été corroborées dans les discussions avec les communautés autochtones, les gouvernements et l'industrie à ce jour. Une entrevue avec le Conseil des pêches des Premières Nations aura probablement lieu dans le futur, afin de mieux comprendre les risques climatiques pertinents, les répercussions observées et les efforts de planification de l'adaptation et de résilience.

4.7 Septième thème : répercussions futures des changements climatiques sur la souveraineté et la sécurité de l'Arctique

À l'heure actuelle, huit pays ont une revendication géographique dans l'Arctique, notamment le Canada, le Danemark, la Finlande, l'Islande, la Norvège, la Russie, la Suède et les États-Unis (Conseil de l'Arctique, 2015). Le Canada en abrite une grande partie, avec un peu moins des deux tiers de son territoire situé au nord de la limite du pergélisol isolé (Ressources naturelles Canada, 2017). De multiples intervenants détiennent un pouvoir politique et économique à l'échelle mondiale et ont donc la capacité de modifier le paysage arctique.

Du point de vue des changements climatiques, un accès maritime accru aux ressources et aux eaux de l'Arctique peut permettre une augmentation de l'activité économique et du trafic maritime, notamment par le passage du Nord-Ouest (PNO), qui relie les océans Atlantique et Pacifique. Le réchauffement accru dû aux changements climatiques et la réduction de la couverture de glace de mer pourraient remettre en question les arguments juridiques du Canada pour réglementer la navigation dans le passage du Nord-Ouest. Il est attendu que les ressources naturelles inexploitées de l'Arctique deviennent une source de tension internationale dans l'avenir (Dawson et coll. 2017). Une utilisation étrangère soutenue des voies de navigation arctiques pourrait faire du PNO un détroit international. Des défis géopolitiques pourraient donc survenir au cours du siècle prochain, car un Arctique accessible (nouvelles routes commerciales et ressources) suscite un débat sur la souveraineté de la route en tant qu'eaux intérieures plutôt que détroit international (Dawson et coll. 2017). En outre, l'amélioration de l'accès augmente également le potentiel d'entrée illégale, de braconnage et de trafic d'êtres humains et de substances sur les petits navires (Dawson et coll., 2017).

4.8 Résumé des répercussions

Le tableau 1 présente un résumé des répercussions potentielles de dangers climatiques précis sur l'environnement maritime canadien.

Tableau 1. Répercussions des dangers climatiques sur le secteur maritime canadien

Sous-secteur de l'environnement maritime canadien	Chimie des océans <i>(changements de température et de salinité, acidification des océans et appauvrissement en oxygène)</i>	Élévation du niveau de la mer <i>(inondations et crues côtières, érosion et ondes de tempête)</i>	Événements météorologiques extrêmes <i>(visibilité réduite, ondes de tempête, risques pour la sécurité, sécheresse extrême, fortes précipitations, vents violents)</i>	Changements dans la cryosphère <i>(fonte du pergélisol, changements dans la glace de mer, érosion côtière)</i>
Infrastructures portuaires et côtières	<ul style="list-style-type: none"> • La végétation littorale protège les rivages de l'érosion, qui peut entraîner des dommages aux infrastructures portuaires • Augmentation des taux de corrosion des infrastructures 	<ul style="list-style-type: none"> • Migration du littoral vers l'intérieur des terres • Inondation des barrières de protection (digues, brise-lames) • Dommages à l'environnement bâti, aux navires et aux équipements, en particulier aux infrastructures ancrées sur le rivage 	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages à l'environnement bâti, aux navires et aux équipements • Fermetures ou retards des ports et des traversiers • Réduction de la fonctionnalité des installations de traitement portuaires 	<ul style="list-style-type: none"> • Les zones de pergélisol sont plus exposées au risque d'érosion côtière • Besoin d'infrastructures et de technologies de soutien (ex. technologie de surveillance) pour une activité accrue
Transport maritime commercial	<ul style="list-style-type: none"> • Répercussions sur l'emplacement des voies de navigation 	<ul style="list-style-type: none"> • Fermetures potentielles de ports • Possibilité d'un plus grand volume de marchandises et de navires plus grands en raison des niveaux d'eau plus élevés dans les zones marines 	<ul style="list-style-type: none"> • Risques de sécurité liés aux conditions météorologiques • Réduction potentielle de la capacité de transport de marchandises • Temps d'attente plus longs pour le traitement • Inefficacité de la navigation des navires 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du trafic maritime dans l'Arctique • Augmentation des frappes et des naufrages et opérations de recherche et de sauvetage • Augmentation des déversements et de la pollution • Besoin d'infrastructures et de technologies de soutien pour une activité accrue

Sous-secteur de l'environnement maritime canadien	Chimie des océans <i>(changements de température et de salinité, acidification des océans et appauvrissement en oxygène)</i>	Élévation du niveau de la mer <i>(inondations et crues côtières, érosion et ondes de tempête)</i>	Événements météorologiques extrêmes <i>(visibilité réduite, ondes de tempête, risques pour la sécurité, sécheresse extrême, fortes précipitations, vents violents)</i>	Changements dans la cryosphère <i>(fonte du pergélisol, changements dans la glace de mer, érosion côtière)</i>
Pêche en mer	<ul style="list-style-type: none"> • Changements dans la composition et l'abondance des espèces • Réduction de l'accès des Autochtones à la pêche • Modification du calendrier et de la disponibilité des espèces exploitées commercialement • Anomalies physiologiques et mortalités de poissons • Augmentation des espèces envahissantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Fermetures potentielles de ports 	<ul style="list-style-type: none"> • Risques de sécurité liés aux conditions météorologiques pour la pêche commerciale et récréative 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des frappes et des naufrages et des opérations de recherche et de sauvetage • Augmentation du potentiel d'entrée illégale et de braconnage sur les petits bateaux • Modification des zones traditionnelles de chasse, de pêche et de piégeage pour les communautés autochtones • Risque accru de problèmes de santé humaine et de sécurité liés aux déplacements sur la glace de mer
Tourisme marin et côtier	<ul style="list-style-type: none"> • Les changements dans la composition et l'abondance des espèces exploitées commercialement déplacent les lieux d'alimentation de la mégafaune marine 	<ul style="list-style-type: none"> • Répercussions des inondations, des débordements et des ondes de tempête sur les zones touristiques côtières importantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Risques de sécurité liés aux conditions météorologiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation du trafic de tourisme maritime récréatif dans l'Arctique • Augmentation des frappes et des naufrages et des opérations de recherche et de sauvetage • Augmentation des déversements et de la pollution • Besoin d'infrastructures et de technologies de soutien pour une activité accrue

Sous-secteur de l'environnement maritime canadien	Chimie des océans <i>(changements de température et de salinité, acidification des océans et appauvrissement en oxygène)</i>	Élévation du niveau de la mer <i>(inondations et crues côtières, érosion et ondes de tempête)</i>	Événements météorologiques extrêmes <i>(visibilité réduite, ondes de tempête, risques pour la sécurité, sécheresse extrême, fortes précipitations, vents violents)</i>	Changements dans la cryosphère <i>(fonte du pergélisol, changements dans la glace de mer, érosion côtière)</i>
Transport maritime intérieur	--	<ul style="list-style-type: none"> • Changements potentiels dans la navigation des cargaisons et des navires dans les chenaux et les ports des Grands Lacs 	<ul style="list-style-type: none"> • Les oscillations extrêmes entre la sécheresse et les fortes précipitations ont une incidence sur les niveaux d'eau douce à l'intérieur des terres • La sédimentation et l'érosion dans les rivières compromettent la navigation • Risques de sécurité liés aux conditions météorologiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Protection limitée des rivages avec une couverture de glace réduite • Augmentation des opérations d'échouage, de recherche et de sauvetage et d'intervention environnementale • Besoin d'infrastructures et de technologies de soutien (ex. surveillance de la profondeur des canaux)

4.9 Planification de l'adaptation et de la résilience au Canada

Au Canada, le soutien à l'adaptation aux changements climatiques est actuellement assuré par diverses stratégies et politiques, notamment par la Stratégie nationale d'adaptation du Canada et le programme Optique des changements climatiques. Ce dernier exige qu'une évaluation de la résilience aux changements climatiques soit effectuée sur les projets d'infrastructure recevant un financement du Programme d'infrastructure Investir dans le Canada (PIIC) et du Fonds d'atténuation et d'adaptation en matière de catastrophes (FAAC) d'Infrastructure Canada, afin de déterminer les risques climatiques potentiels et de les atténuer dans la conception et la construction. Le programme de l'évaluation des risques liés aux actifs de transport (ERAT) de Transports Canada fournit également des fonds aux propriétaires d'actifs de transport pour qu'ils effectuent des évaluations des risques liés aux changements climatiques et élaborent des plans d'adaptation pour leurs actifs, y compris les ports et les infrastructures portuaires.

Le Centre canadien des services climatiques et l'Institut climatique du Canada sont des organismes importants pour la collecte et la diffusion d'informations pertinentes sur les répercussions et l'adaptation. Un outil en ligne contenant 243 études de cas d'adaptation au climat dans tout le pays est disponible dans *Le Canada dans un climat en changement : faire progresser nos connaissances pour agir*. Cette carte interactive ([Carte des actions en adaptation](#)) permet aux utilisateurs de saisir une série de paramètres - enjeu climatique précis, secteur, stade d'adaptation, type d'action, type de milieu et priorité d'application - pour cibler des exemples de stratégies d'adaptation qui se rapportent à un scénario choisi. Cet outil fournit des renseignements précieux qui se rapportent directement aux répercussions sur l'environnement maritime canadien et les secteurs connexes.

La section suivante décrit la planification de l'adaptation et de la résilience climatiques, y compris les évaluations des risques et de la vulnérabilité, telle qu'elle est menée dans d'autres territoires de compétence.

5.0 Évaluations des risques et de la vulnérabilité et stratégies d'adaptation d'autres pays

Cette section présente une analyse des approches adoptées par les gardes côtières, les organismes gouvernementaux et l'industrie de trois autres pays en ce qui concerne les évaluations des risques et de la vulnérabilité aux changements climatiques, les stratégies d'adaptation et les efforts de résilience pour les actifs et les opérations maritimes. Chaque section présente des cadres, des stratégies et des politiques, des exemples d'évaluation des risques et de la vulnérabilité, et des stratégies d'adaptation.

5.1 États-Unis

5.1.1 Cadres, stratégies et politiques

En ce qui concerne le gouvernement des États-Unis, il existe une variété de cadres, de stratégies et de politiques axés sur les changements climatiques, notamment (mais pas exclusivement) les suivants :

- 2022 : *Climate Strategy* (stratégie climatique), Armée des États-Unis
- 2021 : *Strategic Framework for Addressing Climate Change* (cadre stratégique pour faire face aux changements climatiques), Département américain de la Sécurité intérieure
- 2021 : *Climate Adaptation Plan* (plan d'adaptation au climat), Département américain de la Défense
- 2018 : *Climate Resilience Design Guidelines* (lignes directrices pour une conception axée sur la résilience aux changements climatiques), Administration portuaire du New Jersey
- 2017 : *NAVFAC Installation Adaptation & Resilience Climate Change Planning Handbook* (NAVFAC – manuel de planification de l'adaptation et de la résilience des installations aux changements climatiques)
- 2014 : *Climate Adaptation Plan : Ensuring Transportation* (plan d'adaptation aux changements climatiques : protéger les transports), Département américain des Transports
- Résilience des infrastructures et des systèmes
- 2014 : *Climate Change Adaptation Roadmap* (feuille de route pour l'adaptation aux changements climatiques), Département américain de la Défense
- 2010 : *U.S. Navy Climate Change Road Map : Task Force Climate Change* (feuille de route de la marine américaine sur les changements climatiques : groupe de travail sur les changements climatiques), Département de la Marine des États-Unis

De nombreuses applications des évaluations climatiques et des efforts de planification de l'adaptation ont été menées à l'appui de stratégies et de politiques climatiques plus larges. Un examen des cadres, des outils et des applications d'évaluation des risques et de la vulnérabilité climatiques est présenté ci-dessous, avec des exemples provenant des gouvernements, de l'industrie et de la recherche aux États-

Unis. Il est important de reconnaître que les stratégies, les politiques et les cadres climatiques varient considérablement et que les évaluations reposent sur des méthodologies et des approches différentes, comme en témoignent les évaluations des risques et de la vulnérabilité décrites ci-dessous.

5.1.2 Exemples d'évaluation des risques et de la vulnérabilité

5.1.2.1 Federal Highway Administration – Cadre d'évaluation de la vulnérabilité et d'adaptation

La *Federal Highway Administration* (FHWA) a élaboré un cadre d'évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation, qui sert de guide et de ressource pour analyser les répercussions des changements climatiques sur les infrastructures de transport. Le cadre est orienté vers les départements d'État, les organisations et les agences qui sont responsables de la planification, de la construction et de l'entretien du système de transport aux États-Unis. Il agit comme un moyen d'intégrer les questions liées à l'adaptation aux changements climatiques dans la prise de décision en matière de transport (FHWA, 2017).

Le cadre s'appuie sur sept étapes pour réaliser une évaluation de la vulnérabilité. Les programmes pilotes menés par la FHWA de 2010 à 2015 ont fourni des exemples de la manière dont les territoires de compétence des États-Unis ont entrepris des étapes précises du cadre d'évaluation de la vulnérabilité, propres aux infrastructures de transport, y compris les actifs liés à la mer. Des exemples de la façon dont différents territoires de compétence ont mis en œuvre les étapes du cadre de la FHWA sont décrits dans le tableau 2 ci-dessous. Dans la mesure du possible, des exemples d'études de cas liées à l'environnement maritime ont été fournis.

Tableau 2. Application du cadre d'évaluation de la vulnérabilité et d'adaptation de la FHWA par les territoires de compétence des États-Unis

Étape du cadre d'évaluation de la vulnérabilité et d'adaptation de la FHWA	Exemples d'études de cas
1. Articuler les objectifs et définir la portée de l'étude	<p>Californie : région de la baie de San Francisco (Bonham-Carter et coll., 2014)</p> <p>La <i>Metropolitan Transportation Commission</i> (MTC) s'est appuyée sur une étude initiale qui indiquait les zones les plus sensibles à l'élévation du niveau de la mer et aux ondes de tempête. La MTC a élaboré des profils de risque pour les actifs de transport et l'élévation du niveau de la mer en se concentrant sur trois zones cibles et sur les actifs centraux et adjacents, et a élaboré des stratégies d'adaptation détaillées pour protéger les actifs clés.</p>
2. Obtenir des données sur les actifs	<p>Californie : région de la baie de San Francisco (Bonham-Carter et coll., 2014)</p> <p>La <i>Metropolitan Transportation Commission</i> a utilisé un questionnaire en ligne pour recueillir des données sur les actifs et leurs composants auprès du personnel de l'agence et a géocodé tous les renseignements.</p> <p>Washington (Département des Transports de l'État de Washington, 2011)</p>

Étape du cadre d'évaluation de la vulnérabilité et d'adaptation de la FHWA	Exemples d'études de cas
	<p>Le Département des Transports de l'État de Washington a compilé un inventaire des actifs et a cartographié les emplacements des actifs dans le SIG pour les infrastructures appartenant à l'État (ex. routes, ponts, terminaux de traversier). L'intégration de données provenant de nombreuses sources constitue un défi.</p> <p>Maryland (Maryland State Highway Administration, 2014) La <i>Maryland State Highway Administration</i> a utilisé une combinaison de données qualitatives et quantitatives (sources de données régionales et fédérales) relatives aux actifs et un logiciel SIG pour organiser, présenter et analyser les données dans un format unique et cohérent.</p>
3. Obtenir des données climatiques	<p>Arizona et Tennessee (Anderson et coll., 2015; Département des Transports du Tennessee, 2015) Le Département des Transports de l'Arizona et le Département des Transports du Tennessee ont utilisé des données à échelle réduite du projet de comparaison de modèles couplés (CMIP) pour les précipitations, la température, etc., et l'outil de traitement des données climatiques du CMIP du Département américain des Transports pour obtenir des projections climatiques et des observations historiques.</p>
4. Évaluer la vulnérabilité	<p>Washington (Département des Transports de l'État de Washington, 2011) L'évaluation de la vulnérabilité du département des transports de l'État de Washington a utilisé une approche structurée et axée sur les intervenants pour évaluer qualitativement les risques et a inclus 14 ateliers. L'analyse a pris en compte la nature critique des actifs et les répercussions potentielles des scénarios de changement climatique de l'État et a utilisé un système de notation qualitatif.</p> <p>Alabama; Mobile (FHWA, 2015) L'étude <i>Gulf Coast</i> du Département américain des Transports s'est concentrée sur les modes de transport (autoroutes, ports, aéroports, chemins de fer, transports en commun et pipelines), et a utilisé des indicateurs précis d'exposition, de sensibilité et de capacité d'adaptation pour élaborer une cote de vulnérabilité pour chaque actif et facteur de stress climatique.</p>
5. Cerner, analyser et classer par ordre de priorité les options d'adaptation	<p>Californie : District 1 (GHD, ESA et Trinity Associates, 2014) Le Département des Transports de la Californie (Caltrans) a utilisé une analyse multicritères (incluant le coût, la flexibilité de la conception, les considérations d'ordre social et environnemental) et a pondéré les critères en fonction des idées des intervenants pour cerner les options d'adaptation.</p> <p>New York : Bassin du lac Champlain (FHWA, 2017) Le Département des Transports de l'État de New York a élaboré une approche d'évaluation des avantages, incluant des facteurs sociaux, économiques et environnementaux, afin de prioriser les options d'adaptation pour les ponts.</p>

Étape du cadre d'évaluation de la vulnérabilité et d'adaptation de la FHWA	Exemples d'études de cas
6. Intégrer les résultats de l'évaluation dans la prise de décision	<p>New York et New Jersey (PANYNJ, 2011) L'Administration portuaire de New York et du New Jersey (PANYNJ) a réalisé une évaluation de la vulnérabilité et des risques des infrastructures critiques de l'agence et a mis en place des critères d'évaluation de la conception des projets d'infrastructure existants et nouveaux.</p>
7. Suivi et révision	<p>New York et New Jersey (PANYNJ, 2011) L'évaluation de la vulnérabilité de l'Administration portuaire de New York et du New Jersey (PANYNJ) a classé les actifs à faible risque comme des actifs « à surveiller » qui seront contrôlés et réévalués au fil du temps.</p>

5.1.2.2 National Park Service/Université de la Caroline de l'Ouest – Protocole d'évaluation de la vulnérabilité des actifs face aux dangers côtiers et à l'élévation du niveau de la mer

Le National Park Service (NPS), en partenariat avec le programme d'étude des littoraux aménagés (PSDS) de l'Université de Caroline de l'Ouest (WCU), a élaboré un protocole d'évaluation de la vulnérabilité des actifs aux dangers côtiers et à l'élévation du niveau de la mer qui se concentre sur la vulnérabilité des infrastructures physiques aux risques climatiques. Le protocole comporte quatre étapes (NPS, 2017) :

1. Analyse et cartographie de l'exposition – analyse l'exposition des actifs aux dangers climatiques et à l'élévation du niveau de la mer grâce à l'utilisation de sources de données et de cartographie géospatiale. Une cote d'indicateur d'exposition est fournie sur la base de la relation spatiale entre les actifs et les risques climatiques et l'élévation du niveau de la mer. Une cote totale d'exposition est fournie pour chaque actif
2. Analyse de sensibilité – analyse la sensibilité des actifs aux dangers climatiques et à l'élévation du niveau de la mer à l'aide d'un questionnaire sur les actifs
3. Calcul de la vulnérabilité – calcul de la vulnérabilité en additionnant les cotes d'exposition et de sensibilité et en les classant dans des catégories de classement de la vulnérabilité
4. Analyse des stratégies d'adaptation – utilise les données relatives aux actifs pour axer les stratégies sur les actifs dont le degré de vulnérabilité et le niveau de priorité varient

5.1.2.3 Garde côtière américaine – Évaluation de la vulnérabilité des infrastructures côtières

La Garde côtière américaine (USCG) possède un vaste portefeuille d'infrastructures, d'installations et d'actifs côtiers (GAO, 2019). Depuis 2015, le programme de génie civil de l'USCG mène une évaluation nationale des vulnérabilités des infrastructures côtières à une série de catastrophes naturelles et de dangers climatiques, appelée évaluation de la vulnérabilité des infrastructures côtières (SIVA) (GAO, 2019). L'USCG utilise des sources nationales et étatiques d'informations climatiques pour soutenir l'évaluation de la vulnérabilité. La SIVA et les résultats qui en découlent servent à éclairer la priorisation des projets d'infrastructure futurs de l'USCG. Le processus de priorisation et le classement des projets d'infrastructure pour la réparation ou d'autres mesures dans le cadre de ce programme ne sont pas

apparents dans les ressources examinées, mis à part la soumission des informations sur les actifs au Conseil de planification de l'approvisionnement, de la construction et des améliorations de l'USCG et au Conseil de planification de l'entretien au niveau du dépôt régional à des fins de priorisation des projets (GAO, 2019). L'évaluation de la vulnérabilité des infrastructures côtières a commencé en 2015 et se poursuivra jusqu'en 2025.

5.1.2.4 Département des Transports de l'État de Washington - Évaluation de la vulnérabilité

Le Département des Transports de l'État de Washington (WSDOT) a utilisé un modèle conceptuel d'évaluation des risques climatiques pour évaluer la vulnérabilité des infrastructures de transport, y compris les terminaux et les opérations de traversier, les ponts et les bâtiments, aux dangers climatiques, notamment l'élévation du niveau de la mer, les changements de précipitations et de température, et les risques d'incendie (WSDOT, 2011).

La démarche s'est déroulée en trois étapes :

- Déterminer l'état existant des actifs et de l'environnement
- Établir des critères qualitatifs pour la sélection initiale (à la fois pour la nature critique des actifs et l'incidence des changements climatiques)
- Effectuer un examen qualitatif

Quatorze ateliers ont été organisés pour réaliser la partie qualitative de l'évaluation et ont utilisé deux variables pour effectuer une évaluation qualitative : la nature critique des actifs (qui a été définie par les participants de l'atelier en utilisant une échelle de cotation de 1 à 10) et les répercussions potentielles des scénarios de changement climatique. Les évaluations qualitatives des répercussions et de la nature critique des actifs ont été utilisées pour créer des couches de données et des cartes SIG des répercussions climatiques prévues. Les informations tirées de cette évaluation ont fourni des indications sur la vulnérabilité des actifs et les répercussions des changements climatiques sur ces derniers comme point de départ pour soutenir les stratégies d'adaptation futures.

5.1.2.5 Administration portuaire de New York et du New Jersey (PANYNJ) - Évaluation de la vulnérabilité

L'Administration portuaire de New York et du New Jersey (PANYNJ) a réalisé une évaluation de la vulnérabilité et des risques des infrastructures critiques de l'agence face aux aléas climatiques, notamment l'élévation du niveau de la mer, les ondes de tempête, les précipitations et les températures (PANYNJ, 2011). Une analyse des risques a été utilisée pour classer par ordre de priorité les actifs les plus exposés aux dangers climatiques et déterminer les stratégies d'adaptation pour ces actifs. Le niveau de risque des actifs a été évalué à l'aide d'approches quantitatives et qualitatives concernant la probabilité que les aléas climatiques se produisent pendant la durée de vie de l'actif et l'ampleur des conséquences pour l'actif. Une matrice de risque a été utilisée pour déterminer quels actifs étaient prioritaires pour l'adaptation et les actifs qui ont été identifiés comme présentant le plus grand risque ont été priorisés. Les stratégies d'adaptation élaborées par la PANYNJ ont été organisées en stratégies

d'entretien et d'exploitation, en investissements en capital ou en stratégies réglementaires (PANYNJ, 2011).

5.1.3 Outils et ressources pour l'évaluation des risques et de la vulnérabilité

Les outils et ressources cernés qui ont été utilisés dans le processus d'évaluation des risques et de la vulnérabilité aux changements climatiques sont présentés dans le Tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3. Outils et ressources d'évaluation de la vulnérabilité aux États-Unis

Agence ou organisation	Ressource	Description
Département américain des Transports	Outil de cotation de l'évaluation de la vulnérabilité (VAST)	Chiffrier électronique Microsoft Excel® qui permet d'effectuer un examen quantitatif de la vulnérabilité des actifs de transport d'après des indicateurs. Comprend de nombreux types d'actifs et de facteurs de stress climatiques, notamment les ports et les voies navigables, l'augmentation de la température et la chaleur extrême, les inondations intérieures dues aux précipitations, l'élévation du niveau de la mer/les marées extrêmement hautes, les ondes de tempête, le vent, la sécheresse, les tempêtes de poussière, les feux de forêt, les tempêtes hivernales, les changements dans le gel/dégel et le dégel du pergélisol.
Département de la Défense des États-Unis	Outil d'évaluation du climat (DCAT) du Département de la Défense	Un outil en ligne qui permet de repérer les installations du Département de la Défense les plus exposées aux aléas climatiques. L'outil utilise les données climatiques historiques et les changements climatiques futurs et permet d'effectuer une évaluation préalable de la vulnérabilité des installations, exprimée par une combinaison d'exposition (désignée par l'outil) et de sensibilité. Il est prévu que le DCAT soit utilisé pour effectuer des évaluations de l'exposition au climat pour toutes les grandes installations du Département américain de la Défense d'ici 2022.
Comité d'experts sur la résilience des ports	Indice de résilience des ports (PRI)	Un indice de résilience des ports (PRI) a été élaboré par des chefs de file du secteur aux États-Unis en tant qu'outil permettant d'envisager le niveau de préparation des ports aux dangers naturels et aux événements météorologiques et cherche à cerner les forces et les faiblesses de la gestion et des opérations (Morris et coll., 2016). L'indice de résilience des ports (PRI) est un outil fondé sur des questions et conçu pour permettre aux administrations et à la direction des ports d'évaluer leur propre vulnérabilité en ce qui concerne les changements climatiques et les dangers naturels (Becker et coll., 2018).

Agence ou organisation	Ressource	Description
Comté de Santa Clara	Silicon Valley 2.0. Outil d'aide à la décision pour la préparation aux changements climatiques	Pour soutenir et automatiser la réalisation d'évaluations de la vulnérabilité et la détermination des conséquences économiques pour les actifs du comté, un outil d'aide à la décision pour la préparation aux changements climatiques a été mis au point et appliqué pour comprendre, cerner et hiérarchiser les vulnérabilités aux changements climatiques au sein du comté de Santa Clara et soutenir les efforts d'adaptation. Cet outil Web englobe une évaluation de la vulnérabilité pour comprendre quels actifs infrastructurels seront exposés aux variables des changements climatiques et à quel degré, ainsi qu'une évaluation des risques pour comprendre le niveau de conséquence économique (County of Santa Clara, 2015).
Armée des États-Unis	Manuel sur la résilience climatique	Un manuel de l'armée américaine sur la résilience climatique (<i>U.S. Army Climate Resilience Handbook</i> ou ACRH) a été élaboré pour guider les planificateurs de l'armée dans le processus d'évaluation systématique du risque d'exposition aux aléas climatiques et d'intégration de ces connaissances et données dans les processus de planification des installations existantes, tels que les plans directeurs (Pinson et coll., 2020). Le processus de planification comporte quatre étapes visant à accroître la résilience climatique des installations de l'armée américaine (Pinson et coll., 2020) : <ol style="list-style-type: none"> 1. Fixer des buts et des objectifs pour le plan à rédiger et/ou à réviser 2. Déterminer les phénomènes météorologiques extrêmes susceptibles de se produire, ainsi que huit effets liés au climat 3. Déterminer les installations, les infrastructures, les actifs et les missions qui peuvent être vulnérables 4. Déterminer les mesures d'adaptation à utiliser - non structurelles, structurelles, axées sur la nature
Federal Highway Administration	Processus d'évaluation de la prise de décision en matière d'adaptation (ADAP)	Le processus d'évaluation de la prise de décision en matière d'adaptation (ADAP) est un outil fondé sur les risques qui aide à déterminer les approches privilégiées pour la conception de projets en fonction du coût du cycle de vie, de la résilience et du cadre réglementaire et politique. L'ADAP peut être appliqué pour évaluer des actifs existants ou de nouveaux projets (FHWA, 2016).
Département de la Sécurité intérieure (DHS)	Cadre de gestion des risques liés aux infrastructures critiques	À l'appui du plan national d'infrastructure du Département de la Sécurité intérieure, il existe un cadre de gestion des risques en cinq étapes pour l'évaluation des infrastructures essentielles, qui vise à aider les propriétaires et les exploitants

Agence ou organisation	Ressource	Description
		d'infrastructures essentielles publiques et privées à cerner les priorités, à formuler des objectifs clairs, à atténuer les risques, à mesurer les progrès et à s'adapter en fonction des réactions et de l'évolution de l'environnement (DHS, 2013). Ce cadre démontre son utilité pour les environnements, les opérations et les infrastructures maritimes dans le cadre d'une évaluation de la vulnérabilité.
National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)	Directives pour envisager l'utilisation de rivages vivants (2015)	Le Groupe de travail sur les rivages vivants de la <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> (NOAA) a proposé des orientations pour soutenir l'utilisation des rivages vivants comme mesures d'adaptation innovantes pour appuyer les efforts de résilience côtière. Des questions physiques et écologiques aux côtés des facteurs de site à prendre en compte sont fournies pour l'emploi de rivages vivants comme mesure d'adaptation pour encourager la stabilisation du littoral et lutter contre son érosion (NOAA, 2015).
Centre de recherche et de développement en génie de l'armée américaine	Quantification des risques pour le maintien des capacités des actifs et des missions des installations militaires côtières	La recherche s'est concentrée sur la quantification des risques liés à l'élévation du niveau de la mer et aux dangers côtiers pour les actifs et les capacités de mission des installations militaires côtières à la station navale de Norfolk en Virginie. L'un des principaux résultats de cette étude a été l'élaboration d'une approche défendable fondée sur les risques pour communiquer les risques associés à l'élévation du niveau de la mer dans le contexte des actifs et de la préparation militaires, qui peut être appliquée ailleurs (Burks-Copes et coll., 2014).
Administration portuaire du New Jersey	Lignes directrices pour une conception axée sur la résilience aux changements climatiques	Normes qui représentent une approche tenant compte des risques pour construire les infrastructures de la région à long terme. Les directives de conception tiennent compte des facteurs tels que l'élévation des crues, la durée de vie des actifs par rapport aux projections d'élévation du niveau de la mer et la nature critique des actifs, et fournissent des liens vers des recommandations et des exigences techniques (PANYNJ, 2018).
Département américain des Transports	Évaluation de la nature critique dans la planification de l'adaptation des transports (ICF International, 2014).	Une ressource pour réduire l'éventail des actifs pris en compte dans une évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques.

5.1.4 Stratégies d'adaptation aux États-Unis

Des stratégies d'adaptation ont émergé de l'évaluation des approches de la vulnérabilité climatique aux États-Unis. Le

Tableau 4 présente les stratégies d'adaptation utilisées aux États-Unis et spécifiques à l'environnement maritime.

Tableau 4. Stratégies d'adaptation des États-Unis

Organisation ou territoire de compétence	Dangers climatiques cernés	Actifs à risque	Mesures d'adaptation envisagées ou employées
Garde côtière des États-Unis (USCG) (GAO, 2019)	Tempêtes, notamment ouragans, inondations, catastrophes naturelles, sécheresse	Bâtiments, installations et infrastructures appartenant à la Garde côtière américaine, y compris les jetées, les quais, les hangars à bateaux, les ascenseurs pour petits bateaux, les stations et les bâtiments d'entretien	<ul style="list-style-type: none"> Placer les principaux systèmes (chauffage, ventilation, etc.) sur le toit des bâtiments. Déplacer des installations à l'intérieur des terres Publier des lignes directrices en matière de planification technique afin d'accroître la résilience des infrastructures en ce qui concerne les risques naturels et climatiques.
Port de Providence, Rhode Island (Becker et coll., 2017)	Conséquences du scénario d'un ouragan de catégorie 3 (inondations, submersion)	Infrastructure de transport du port	<ul style="list-style-type: none"> Protéger Réinstaller Accueillir
Corps des ingénieurs de l'armée américaine (USACE) (USACE, 2013)	Vagues, ondes associées au changement du niveau de la mer et tempêtes côtières	Zones côtières vulnérables	<ul style="list-style-type: none"> Les caractéristiques naturelles et axées sur la nature prises en compte sont les dunes et les plages, les caractéristiques végétales, les récifs d'huîtres et de corail, les îles-barrières et les forêts/arbustes maritimes. Les mesures non structurelles envisagées comprennent les politiques et la gestion des plaines inondables, la protection contre les inondations, les avertissements de crue et les efforts de préparation connexes et la réinstallation. Les mesures structurelles envisagées comprennent l'utilisation de levées, de barrières contre les ondes de tempête, de digues et de

Organisation ou territoire de compétence	Dangers climatiques cernés	Actifs à risque	Mesures d'adaptation envisagées ou employées
			revêtements, d'épis et de brise-lames détachés.
Port de Long Beach (Port de Long Beach, 2016)	Niveau de la mer et ondes de tempête	Infrastructure du port, réseaux de transport, bâtiments essentiels et services publics	<ul style="list-style-type: none"> • Prise en compte des répercussions des changements climatiques dans les politiques, les plans et les directives relatifs au port • Ajout d'une analyse de l'élévation du niveau de la mer au processus de permis d'aménagement portuaire • Réalisation d'une étude sur les effets combinés des inondations fluviales et côtières afin de définir des mesures d'adaptation • Mesures de protection du littoral
Pont The Cochrane-Africatown USA Mobile, Alabama (Brinckerhoff et ICF International, 2014)	Élévation du niveau de la mer	Pont sur une voie navigable	<ul style="list-style-type: none"> • Limiter la hauteur des navires • Reconfigurer les ports en mer pour accueillir davantage de navires • Remplacer par un pont plus haut à la fin de la durée de vie • Surveiller le niveau de la mer et agir en conséquence
Tunnel George C. Wallace, I-10, Mobile, Alabama (Brinckerhoff et ICF International, 2014)	Onde de tempête	Tunnel côtier	<ul style="list-style-type: none"> • Relever le mur du portail • Relever tous les murs d'approche • Installer des vannes de crue temporaires
Quai 1 du terminal charbonnier McDuffie Mobile, Alabama (Brinckerhoff et ICF International, 2014)	Onde de tempête	Jetée d'expédition	<ul style="list-style-type: none"> • Des adaptations doivent être envisagées pour préserver les équipements critiques et les services auxiliaires
Comté de Santa Clara	Élévation du niveau de la mer, ondes de tempête, inondations fluviales, feux de forêt et chaleur extrême	Bâtiments et propriétés, communications, écosystèmes, énergie, transport	<ul style="list-style-type: none"> • Effectuer une analyse de débordement des actifs existants de protection contre les inondations du littoral • Augmenter les critères de conception pour les projets actuels et futurs de protection contre les inondations, en passant d'une crue centennale à une crue plus importante • Cerner et envisager les possibilités de réinstallation des installations critiques

Organisation ou territoire de compétence	Dangers climatiques cernés	Actifs à risque	Mesures d'adaptation envisagées ou employées
			<ul style="list-style-type: none"> • Évaluer la nature critique des actifs et envisager les options d'adaptation en comparant leurs coûts et avantages relatifs • Sécuriser l'emplacement des actifs dans des zones non exposées aux risques • Intégrer les questions relatives aux changements climatiques dans tous les processus de planification et de prise de décision des organismes de transport
Cape Lookout National Seashore (NPS, 2018)	Les risques climatiques pris en compte comprennent le potentiel d'inondation, les inondations extrêmes, l'élévation du niveau de la mer, les inondations, la modification du littoral	152 structures (bâtiments et abris) et 70 actifs de transport (routes, segments de route, parcs de stationnement, promenades, systèmes riverains/voies d'eau/marinas, systèmes de carburant et sentiers principaux)	<ul style="list-style-type: none"> • Élever • Réinstaller • Protéger/concevoir • Déclasser et enlever • Nouvelle conception résistante aux tempêtes • Déclassement technique

5.2 Norvège

5.2.1 Cadres, stratégies et politiques

En 2007, un groupe de travail interministériel a été nommé pour promouvoir la coordination et le dialogue dans le cadre des travaux nationaux d'adaptation au climat. Le groupe de travail était dirigé par le ministère du Climat et de l'Environnement et, en 2008, le gouvernement a présenté une plateforme quinquennale visant à améliorer la résilience de la société aux changements climatiques et à réduire la vulnérabilité de la Norvège aux changements climatiques, tout en renforçant sa résilience à ces derniers. En 2010, un rapport officiel norvégien (NOU 2010:10), intitulé *Adapting to a Changing Climate*, a été publié (ministère norvégien de l'Environnement, 2012). Dans ce rapport, un comité nommé par le gouvernement a évalué la vulnérabilité de la Norvège aux effets des changements climatiques et la nécessité de s'adapter. Ce comité était composé d'experts d'organismes gouvernementaux, d'instituts de recherche et de la société civile. Le NOU intègre de nombreux aspects décrits dans les directives techniques du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour l'évaluation des répercussions et des adaptations au changement climatique et dans

le Livret du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) sur les méthodes d'évaluation des effets du changement climatique et les stratégies d'adaptation (Lieberknecht, 2020).

Le ministère norvégien du Climat et de l'Environnement est responsable de l'ensemble des rapports sur la politique de lutte contre les changements climatiques en Norvège, y compris les rapports sur les progrès en matière d'adaptation. La Loi nationale sur le climat engage le gouvernement à fournir des rapports annuels au Parlement sur l'état d'avancement de l'adaptation. Un système national de suivi, de rapport et d'évaluation de l'adaptation aux changements climatiques en Norvège n'a pas encore été mis en place. Toutefois, la Norvège a adhéré au Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030 et s'est engagée à le mettre en œuvre. Le Cadre de Sendai fixe quatre priorités d'action spécifiques : 1) comprendre les risques de catastrophe; 2) renforcer la gouvernance des risques de catastrophe pour mieux les gérer; 3) investir dans la réduction des risques de catastrophe pour renforcer la résilience; 4) améliorer la préparation pour une intervention efficace et pour « faire et reconstruire mieux » pendant le rétablissement, la réhabilitation et la reconstruction.

La Norvège s'appuie sur de nombreux organismes pour recueillir les dernières données climatiques afin de mieux éclairer ses efforts d'adaptation. Plusieurs exemples de ces organismes sont présentés dans les sections suivantes. Une entité notable dans le domaine de la recherche climatique en Norvège est le Centre norvégien des services climatiques (NCCS), qui sert de centre coordonné où les décideurs peuvent avoir accès aux informations climatiques pertinentes pour l'adaptation aux changements climatiques. Le NCCS est le fruit d'une collaboration entre l'Institut météorologique norvégien, la Direction norvégienne des ressources en eau et de l'énergie, Uni Research et le Centre Bjerknes pour la recherche sur le climat (BCCR) (Conseil de l'Arctique, 2018). En 2017, le NCCS a lancé le rapport *Climate in Norway 2100 NCCS - A Knowledge Base for Climate Adaptation*. Le BCCR est également l'un des plus grands centres de recherche scientifique sur le climat en Europe et contribue largement à la connaissance du climat pour les décideurs, les entreprises et la population. Comme le NCCS, le BCCR est une collaboration entre quatre institutions partenaires en Norvège. Ces initiatives de recherche sont cruciales pour récupérer les données climatiques nécessaires à la compréhension des tendances climatiques passées, présentes et futures qui sont fondamentales pour évaluer la vulnérabilité des municipalités norvégiennes aux changements climatiques.

L'Institut de recherche marine (IRM) dispose d'un vaste programme de surveillance des paramètres océanographiques physiques et biologiques. L'Autorité norvégienne de cartographie (NMA) fournit une expertise sur les marées, les extrêmes du niveau de la mer (ondes de tempête), les niveaux de référence à utiliser dans la planification, et les changements observés et prévus du niveau de la mer. La Norvège dispose d'un grand nombre de programmes de surveillance terrestre comprenant des paramètres ou des indicateurs climatiques, qui peuvent également être utilisés pour évaluer les effets des changements climatiques. Les programmes de surveillance à long terme de plusieurs glaciers sur le continent norvégien sont réalisés principalement par la Direction norvégienne des ressources en eau et de l'énergie (NVE) (ministère norvégien du Climat et de l'Environnement, 2018). Un programme de surveillance du climat efficace peut soutenir l'évaluation des risques et de la vulnérabilité grâce à un examen continu des changements des dangers climatiques et peut soutenir l'élaboration de pratiques

d'adaptation et de résilience sur une base plus régulière (avec la capacité de réagir plus rapidement aux dangers des changements climatiques et aux répercussions connexes).

5.2.2 Exemples d'évaluation des risques et de la vulnérabilité

Il est soupçonné que l'exposition historiquement faible de la Norvège aux répercussions des changements climatiques (Université de Notre Dame, 2019) a contribué à la difficulté de trouver une littérature pertinente limitée dans l'ensemble de l'analyse concernant les évaluations des risques et de la vulnérabilité et les efforts de planification de l'adaptation pour la Norvège. Peu d'exemples d'évaluations des risques et de la vulnérabilité ont été découverts. Les questions pertinentes pour les évaluations des risques et de la vulnérabilité en Norvège sont présentées ci-dessous.

Le projet européen ROADAPT est un ensemble de lignes directrices pour l'adaptation des infrastructures de transport aux changements climatiques (Bles et coll., 2015). Cet effort conjoint entre la Norvège, les Pays-Bas, l'Allemagne et le Danemark est un processus en plusieurs étapes qui adopte une approche fondée sur les risques pour évaluer les vulnérabilités et cerner des stratégies d'adaptation. Tout d'abord, il s'agit de sélectionner les données appropriées à utiliser dans la prise de décision et de mener des évaluations des risques climatiques à l'initiative des intervenants. Les idées glanées au cours de ce processus sont utilisées dans des évaluations de la vulnérabilité et des répercussions socio-économiques fondées sur le SIG (décrites ci-dessous) qui, en fin de compte, conduisent à la sélection de stratégies d'adaptation appropriées (FHWA, 2017b).

L'Administration norvégienne des côtes (NCA) réalise des évaluations des risques et de la vulnérabilité afin d'adapter les projets d'infrastructure aux changements climatiques. La NCA a mis en œuvre une stratégie climatique et environnementale (2016-2018). En plus de son plan d'action connexe, la stratégie décrit comment la NCA doit contribuer à atteindre à la fois les objectifs nationaux et les obligations internationales en matière d'environnement et de climat (ministère norvégien du Climat et de l'Environnement, 2021).

Une pratique notable qui est adoptée en Norvège est l'intégration des projections climatiques dans les procédures de planification et de conception (FHWA, 2017b). Par exemple, la planification des projets, la conception, l'exploitation, l'entretien et la gestion du réseau de l'agence norvégienne des routes publiques incluent des questions sur les répercussions des changements climatiques dans la conception et l'exploitation. Cela est illustré dans le manuel d'entretien qui recommande d'élaborer et de déployer des mesures d'adaptation au climat dans le cadre des opérations d'entretien programmées (FHWA, 2017b). La mise à jour des orientations techniques pour inclure ces questions ne peut que soutenir les futurs efforts d'adaptation.

La Norvège a également pris des mesures pour répondre à l'augmentation prévue de l'accessibilité des eaux arctiques aux activités humaines, ce qui augmenterait également le besoin d'opérations de recherche et de sauvetage. Dans cette optique, les services d'hélicoptère ont été étendus et de nouveaux satellites du système d'identification automatique (SIA) ont été lancés pour renforcer les efforts de suivi des navires (ministère norvégien du Climat et de l'Environnement, 2021).

5.2.3 Outils et ressources pour l'évaluation des risques et de la vulnérabilité

AlSyRisk est un module d'évaluation du risque lié au trafic maritime qui inclut des données environnementales (y compris le climat) dans son approche. Il utilise les données SIA, les informations sur le navire, les données météorologiques, les statistiques historiques d'accidents et des algorithmes avancés pour calculer la probabilité d'accidents de navires, le risque de marée noire et les pertes de vies humaines (Skinnermoen et coll., 2021). Les probabilités et les risques de collisions (frontales, de dépassement et de croisement), d'échouage (motorisé et à la dérive), d'incendie, de naufrage et de pertes de vies humaines dues à des accidents sont calculés (Skinnermoen et coll., 2021).

Le module EnviRisk utilise les données d'AlSyRisk, les données environnementales de havmiljo.no, d'autres ensembles de données environnementales et des modèles de dérive des hydrocarbures pour produire des calculs environnementaux en temps quasi réel des risques de déversement d'hydrocarbures le long de toute la côte norvégienne (Brude et coll., 2021). Le système donnera aux utilisateurs la possibilité d'avoir accès à des renseignements détaillés sur la zone, l'écosystème, les espèces, la vulnérabilité et le temps de récupération estimé.

En avril 2021, l'Administration côtière norvégienne a commandé le lancement du microsatellite de suivi maritime NorSat-3 construit par le *Space Flight Laboratory* de Toronto. La charge utile contenait un récepteur de système d'identification automatique qui joue un rôle déterminant dans l'acquisition des messages des navires maritimes civils afin de fournir des informations sur l'emplacement des navires et le trafic maritime. Les informations reçues peuvent être utilisées pour les modèles d'évaluation des risques de la Norvège, tels que AlSyRisk et EnviRisk.

5.2.4 Stratégies d'adaptation en Norvège

Des stratégies d'adaptation ont émergé de l'évaluation des approches de la vulnérabilité climatique en Norvège. Le Tableau 5 présente les stratégies d'adaptation utilisées en Norvège et spécifiques à l'environnement maritime.

Tableau 5. Stratégies d'adaptation de la Norvège

Organisation ou territoire de compétence	Dangers climatiques cernés	Actifs à risque	Mesures d'adaptation envisagées ou employées
Ministère norvégien du Climat et de l'Environnement (2012)	Élévation du niveau de la mer, ondes de tempête, acidification des océans	Chenaux, phares, bouées, les brise-lames, ports et leurs infrastructures connexes	Concevoir des actifs capables de résister à une corrosion plus rapide en raison de l'acidification des océans
	Érosion, fonte du permafrost, fonte de la glace de mer	Téléphériques	Déplacement des installations vers l'intérieur des terres
	Élévation du niveau de la mer	Bâtiments côtiers historiques	Rehaussement des fondations des bâtiments
Agence norvégienne des routes publiques	Risques côtiers (spécifiques au site)	Routes publiques	Intégration des projections climatiques dans les procédures de planification et de conception (FHWA, 2017b)

5.3 Pays-Bas

Les Pays-Bas ont une longue histoire de mise en œuvre de mesures de protection contre les inondations en dehors des répercussions associées aux changements climatiques. La position géographique du pays le rend vulnérable aux inondations d'eau de mer et d'eau douce, et à ce titre, le pays a mis en place plusieurs mesures d'adaptation aux inondations depuis des décennies (ministère néerlandais des Infrastructures et de l'Environnement, 2016). La vulnérabilité accrue des infrastructures et des actifs en raison des changements climatiques a fait en sorte que la grande majorité des évaluations des risques et de la vulnérabilité et des stratégies d'adaptation se sont concentrées sur les inondations.

5.3.1 Cadres, stratégies et politiques

5.3.1.1 Stratégie nationale d'adaptation au climat (2016)

Les Pays-Bas disposent de plusieurs initiatives, politiques et stratégies visant à évaluer les dangers, les risques et les répercussions climatiques afin de cerner les mesures d'adaptation appropriées. La stratégie nationale d'adaptation au climat (ministère néerlandais des Infrastructures et de l'Environnement, 2016) identifie les mesures climatiques nécessaires en fonction de l'effet, du risque et

de l'urgence. Elle organise les répercussions des changements climatiques selon quatre catégories d'effets fondées sur les changements observés et prévus dans l'environnement : plus chaud, plus humide, plus sec, et élévation du niveau de la mer. L'importance de ces changements est évaluée en fonction de leur incidence sur neuf secteurs : la sécurité publique; l'informatique et les télécommunications; l'énergie; les infrastructures (route, rail, eau et aviation); les loisirs et le tourisme; la santé et le bien-être; l'agriculture, l'horticulture et la pêche; la nature; et l'eau et la gestion de l'espace. Chacun de ces secteurs contient des éléments qui sont pertinents pour l'environnement maritime et côtier, et les répercussions sur un secteur peuvent entraîner des répercussions primaires ou secondaires sur les activités des fournisseurs de services maritimes.

Cette stratégie, associée au programme Delta (voir ci-dessous), guide l'approche des Pays-Bas en matière d'évaluation des changements climatiques, de détermination de la vulnérabilité et de mise en œuvre et de suivi des mesures d'adaptation. Elle repère les acteurs clés des secteurs vulnérables et décrit comment ils doivent contribuer à l'adaptation dans le cadre de la stratégie nationale. Par exemple, l'agence nationale Rijkswaterstaat joue un rôle essentiel dans la surveillance des niveaux d'eau pour les environnements marins et d'eau douce, avec des outils de prévision qui servent de système d'alerte pour les inondations, ce qui est crucial pour la protection des infrastructures et des actifs (Spatial Adaptation Knowledge Portal, 2022).

La ville de Rotterdam dispose d'un programme de protection contre les changements climatiques (*Climate Proof*) qui vise à rendre la ville et le port résilients aux répercussions climatiques d'ici 2025. Par exemple, le port de Rotterdam a mis en œuvre le projet pilote *Botlek Water Safety* en 2015 et 2016 dans le but d'examiner les conséquences des inondations dues aux changements climatiques, en particulier l'élévation du niveau de la mer. Le projet pilote était une initiative conjointe de l'Administration portuaire de Rotterdam et d'autres intervenants, notamment des entreprises du secteur privé (Port de Rotterdam, n.d.-a; Port de Rotterdam n.d.-b; AIPCN, 2020).

5.3.1.2 *Accord bilatéral avec la Federal Highway Administration des États-Unis*

Le Rijkswaterstaat a actuellement un accord bilatéral avec la *Federal Highway Administration* des États-Unis pour collaborer à des stratégies de résilience climatique des infrastructures de transport (FHWA, 2017c). L'utilisation de certaines parties des cadres des deux pays – la méthodologie européenne ROADAPT et le cadre d'adaptation climatique de la *Federal Highway Administration* – pour collaborer à des projets communs a profité aux organisations des deux pays. La méthode européenne ROADAPT est un ensemble de lignes directrices pour l'adaptation des infrastructures de transport aux changements climatiques (Bles et coll., 2015). Cette coopération bilatérale met en évidence le double avantage qui découle de la collaboration avec d'autres territoires de compétence sur des questions similaires.

5.3.1.3 *Programme Delta (2010)*

Le programme Delta, en cours depuis 2010, se concentre sur les ressources en eau douce et la sécurité de l'eau dans le contexte des changements climatiques et de l'adaptation (ministère néerlandais des Affaires Économiques et de la Politique Climatique, 2018). Le programme s'articule autour de trois

principaux thèmes : la gestion des risques d'inondation, la gestion de l'eau douce et l'adaptation spatiale. Les plans de la politique décrivent les mesures précises qui garantiront que les Pays-Bas seront « à l'épreuve des changements climatiques » d'ici 2050, depuis la cartographie des zones vulnérables jusqu'à la mise en œuvre et au suivi des mesures d'adaptation.

Le plan Delta pour l'adaptation spatiale décrit, entre autres, les répercussions prévues liées aux inondations et à l'adaptation spatiale aux inondations. Ces informations sont utilisées pour réaliser des évaluations de la vulnérabilité afin de définir les priorités en matière d'adaptation. Les organes directeurs adoptent une approche fondée sur le risque (au lieu de se concentrer uniquement sur la probabilité des répercussions) pour déterminer les priorités en matière d'adaptation climatique en fonction de l'urgence et de la gravité ainsi que de la probabilité de l'effet (ministère néerlandais des Affaires Économiques et de la Politique Climatique, 2018). À la date de publication du rapport NC7 (février 2018), il a été noté que les projets concrets d'adaptation aux changements climatiques en cours comportaient des options « sans regret » (c'est-à-dire à faible risque) et que l'accent reste principalement mis sur les politiques et les accords entre les intervenants.

Le programme de connaissances sur l'élévation du niveau de la mer, dans le cadre du programme Delta, se concentre sur les aspects de la sécurité de l'eau spécifiques aux répercussions de l'élévation du niveau de la mer sur plusieurs secteurs (économie, aménagement du territoire, agriculture et nature) (Spatial Adaptation Knowledge Portal, 2022).

Il est évident que la recherche continue sur les répercussions des changements climatiques est une priorité pour les Pays-Bas afin de s'assurer que les risques et les vulnérabilités appropriés sont pris en compte au fur et à mesure des avancées de la recherche scientifique et des politiques climatiques. Actuellement, les mesures d'adaptation en sont aux premières étapes de leur mise en œuvre et l'accent a été mis sur la compréhension de l'ampleur de l'incidence et des mesures d'adaptation requises par une communication cohérente entre les intervenants concernés. Cela comprend des ateliers et des études collaboratives en vue de cerner les lacunes en matière de connaissances dans des secteurs tels que la qualité et la quantité de l'eau, la planification urbaine, le transport maritime et la pêche.

5.3.2 Évaluations des risques et de la vulnérabilité

Plusieurs initiatives sont actuellement en cours aux Pays-Bas en ce qui concerne l'évaluation des risques et de la vulnérabilité afin de hiérarchiser les mesures d'adaptation au climat.

5.3.2.1 Tests de résistance

La sécheresse, la chaleur, l'engorgement et les inondations ont été identifiés par le programme Delta comme les principales catégories de répercussions des changements climatiques par rapport auxquelles les évaluations de vulnérabilité sont menées. Plusieurs ressources en ligne ont été créées pour faciliter la réalisation de « tests de résistance » permettant d'évaluer les effets pertinents des changements climatiques sur des zones précises. Les tests de résistance constituent la première étape des évaluations de la vulnérabilité pour les Pays-Bas et sont considérés comme exploratoires et préliminaires par nature (Spatial Adaptation Knowledge Portal, 2022). Le but de cet exercice est de

repérer les effets des changements climatiques qui sont pertinents pour un scénario donné ou une zone particulière, ce qui permet d’orienter les analyses ultérieures. Des vulnérabilités plus précises peuvent ensuite être identifiées sur la base des résultats du test de résistance, à partir desquels des objectifs concrets d’adaptation peuvent être fixés. L’utilisation de ce processus en deux étapes permet aux organes directeurs de cerner à la fois les défis et les occasions pouvant découler des changements climatiques.

5.3.2.2 *Port et ville de Rotterdam*

Le Port de Rotterdam et la Ville de Rotterdam ont travaillé en collaboration pour cartographier les probabilités et les conséquences des inondations, soupeser les risques, et cerner et sélectionner les mesures d’adaptation appropriées dans de nombreuses zones portuaires (AIVP, 2021). La méthodologie et le cadre utilisés ont été élaborés spécifiquement pour le Port de Rotterdam et comportent les éléments suivants :

- Une approche fondée sur une matrice pour évaluer les probabilités et les conséquences des inondations
- L’inclusion des dommages économiques et environnementaux, des risques pour la vie et des perturbations sociales comme catégories de conséquences dans l’analyse
- Une série d’ateliers pour évaluer le risque d’élévation du niveau de la mer et d’inondation

Les stratégies d’adaptation découlant de cette approche relèvent des catégories des mesures préventives, de l’adaptation spatiale et de la gestion de crise et des exemples sont fournis dans la section suivante.

5.3.2.3 *Gouvernement des Pays-Bas*

Le gouvernement néerlandais mène une étude pour déterminer l’état actuel des bâtiments et des sites gouvernementaux, y compris les ports, dans le contexte de la vulnérabilité aux changements climatiques, et a commencé à évaluer l’assurabilité de ces actifs au regard des risques liés aux changements climatiques. La recherche continue sur les dangers liés aux changements climatiques, les vulnérabilités et les mesures d’adaptation a été élevée au rang de priorité pour la région et des études sont en cours pour renforcer la résilience climatique des bâtiments gouvernementaux (ministère néerlandais des Infrastructures et de la Gestion de l’eau, 2018).

5.3.3 Outils d’évaluation des risques et de la vulnérabilité

Le [Portail de connaissances sur l’adaptation climatique](#) est la ressource en ligne pour des renseignements sur l’adaptation climatique et sert également d’outil pour surveiller l’efficacité des politiques d’adaptation par secteur. Il héberge l’[Atlas des effets climatiques](#) qui est une carte Web permettant aux utilisateurs (citoyens, gouvernements, industries, etc.) d’évaluer la vulnérabilité des zones d’intérêt. Le programme de mise en œuvre néerlandais indique que le portail de connaissances sur l’adaptation climatique sera utilisé comme une plaque tournante pour l’échange de connaissances en ce qui concerne le suivi des mesures d’adaptation. La mise en œuvre sera évaluée pour l’efficacité

de la réduction des risques et les risques liés aux changements climatiques seront surveillés simultanément (Spatial Adaptation Knowledge Portal, 2022). De même, l'Atlas des dommages climatiques est un outil qui permet aux intervenants de mieux comprendre les coûts économiques prévus résultant des répercussions de chaque catégorie d'effets en fonction de l'emplacement géographique dans le pays.

Amsterdam Rainproof est une initiative qui vise à sensibiliser et à créer des partenariats pour encourager les citoyens, le gouvernement, l'industrie et d'autres intervenants à construire des infrastructures résilientes au climat et axées sur la gestion des fortes précipitations (Amsterdam Rainproof, 2022).

5.3.4 Stratégies d'adaptation aux Pays-Bas

À l'heure actuelle, les mesures d'adaptation en sont aux premiers stades de la mise en œuvre et l'accent a été mis sur la compréhension de l'ampleur de l'incidence et des mesures d'adaptation requises par une communication cohérente entre les intervenants concernés. Le programme de mise en œuvre de la stratégie nationale d'adaptation au climat (ministère néerlandais des Infrastructures et de la Gestion de l'eau, 2018) reconnaît que les initiatives d'adaptation aux changements climatiques sont relativement nouvelles et qu'à ce titre, elles ont adopté une approche d'« apprentissage par la pratique ». La plupart des mesures en place sont de nature procédurale ou administrative, comme la détermination des risques climatiques et la sensibilisation des parties responsables, la coordination du dialogue entre le gouvernement, l'industrie et les autres intervenants, et la collecte, la gestion et l'analyse des données climatiques pour éclairer la prise de décision (ministère néerlandais des Infrastructures et de la Gestion de l'eau, 2018).

Des stratégies d'adaptation ont émergé de l'évaluation des approches de la vulnérabilité climatique aux Pays-Bas. Le Tableau 6 présente les stratégies d'adaptation utilisées aux Pays-Bas et spécifiques à l'environnement marin.

Tableau 6. Stratégies d'adaptation des Pays-Bas

Organisation ou territoire de compétence	Dangers climatiques cernés	Actifs à risque	Mesures d'adaptation envisagées ou employées
Conseil municipal de Rotterdam (CNUCED, 2020)	Inondations, élévation du niveau de la mer	Infrastructure physique	<ul style="list-style-type: none"> • Aire de sécurité pour la protection des marchandises aux points de collecte sécurisés • Construction étanche à l'eau en raison du rez-de-chaussée inondable et du déplacement interne des marchandises vers les étages supérieurs • Digue à petit compartiment • Infrastructure surélevée • Structure écologique • Construction étanche et mur anti-inondation pour protéger les fonctions essentielles dont l'opération continue doit être garantie

Organisation ou territoire de compétence	Dangers climatiques cernés	Actifs à risque	Mesures d'adaptation envisagées ou employées
Gouvernement des Pays-Bas (ministère néerlandais des Infrastructures et de la Gestion de l'eau, 2018)	Inondations, événements climatiques extrêmes	Bâtiments et infrastructures gouvernementaux	<ul style="list-style-type: none"> Protéger les bâtiments du climat Évaluer l'assurabilité des infrastructures endommagées par des phénomènes météorologiques extrêmes en tant que mesure proactive pour minimiser les pertes financières Exploration pour l'élaboration de nouvelles règles de construction
Gouvernement des Pays-Bas (ministère néerlandais des infrastructures et de la gestion de l'eau, 2018)	Intrusion d'eau	Infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> Construction de digues qui transforment les intrusions d'eau en canaux et en lacs (Rosenburg, 2020) Déplacement des structures et ajustement de l'emplacement des digues (FHWA, 2017c)
Gouvernement des Pays-Bas (ministère néerlandais des infrastructures et de la gestion de l'eau, 2018)	Élévation du niveau de la mer, érosion	Zones côtières	<ul style="list-style-type: none"> Reconstitution du sable dans les zones côtières – The Sand Engine (FHWA, 2017b) Élargissement des dunes Culture des vasières, des prairies et des marais salés Dispositifs d'atténuation des vagues pour favoriser l'habitat écologique (FHWA, 2017c) Ingénierie écodynamique (FHWA, 2017c)
Gouvernement des Pays-Bas (ministère néerlandais des infrastructures et de la gestion de l'eau, 2018)	Élévation du niveau de la mer, érosion et inondations	Infrastructures protégées telles que les digues	<ul style="list-style-type: none"> Modifications physiques de la largeur et de la profondeur des lits de rivière Ajustement de l'emplacement des digues (FHWA, 2017c)
Port et ville de Rotterdam (AIVP, 2021)	Risques d'inondation	Infrastructures et processus portuaires	<ul style="list-style-type: none"> Plans de gestion des urgences, de rétablissement et de crise et préparation des installations d'urgence (AIVP, 2021) Rehaussement des barrières, des sites et des structures des berges, rehaussement des systèmes vulnérables et imperméabilisation des actifs (AIVP, 2021).

6.0 Mesures et stratégies d'adaptation pour le secteur maritime

Cette section décrit les thèmes des stratégies d'adaptation et fournit des mesures et des stratégies d'adaptation tirées de l'analyse documentaire, des entrevues et d'autres ressources qui démontrent leur utilité pour les secteurs de l'environnement maritime canadien. Les mesures d'adaptation varient selon les aspects du secteur maritime auxquels elles s'appliquent. L'analyse documentaire a démontré qu'il existe cinq grands types de stratégies d'adaptation pour les infrastructures et les actifs maritimes : les procédures, l'évitement, l'adaptation, la protection et le retrait. Une définition de ces stratégies d'adaptation est décrite ci-dessous et suivie d'exemples dans les tableaux 7 à 11. Swanson et coll. (2021) ont déjà décrit ces cinq types de stratégies d'adaptation, dont les définitions ont été adaptées pour le présent rapport :

Procédure : Stratégies qui soutiennent ou éclairent les processus de planification de l'adaptation. Exemples : programmes d'éducation sur les changements climatiques, collecte et organisation des données climatiques, cadres de planification et règlements.

Évitement : Stratégies visant à éloigner les aménagements et les actifs des zones vulnérables et qui sont particulièrement pertinentes pour les nouvelles infrastructures et les nouveaux projets.

Adaptation : Stratégies visant à réduire ou à minimiser l'incidence des changements climatiques. Ces stratégies peuvent inclure des mesures techniques ou des solutions fondées sur la nature pour s'adapter aux répercussions climatiques. Par exemple, la mise en place de récifs artificiels, de plages perchées, de rivages vivants, de zones humides, de fossés de drainage et de jardins pluviaux dans la planification côtière afin d'atténuer les effets de l'élévation du niveau de la mer, de l'érosion, des événements météorologiques extrêmes et de nombreux autres dangers (Swanson et coll., 2021).

Protection : Stratégies visant à réduire les répercussions climatiques sur les infrastructures et l'environnement par la mise en place de barrières ou de tampons de protection. Exemples : brise-lames, murs de soutènement, récifs artificiels, revêtements ou gabions, protection du littoral, digues et zones humides artificielles.

Retrait : Stratégies visant à déplacer les actifs vulnérables afin de prévenir d'autres dommages ou d'éviter une défaillance complète. Ces stratégies sont particulièrement pertinentes pour les actifs et les infrastructures existants.

6.1 Types de stratégies d'adaptation

Cette section présente un résumé de stratégies d'adaptation précises glanées au cours de l'analyse des secteurs pertinents de l'environnement maritime canadien. Les types de stratégies d'adaptation ne sont pas tous applicables à chaque secteur pertinent de l'environnement maritime canadien et les stratégies devraient varier en fonction du site et de l'emplacement. Par exemple, les stratégies d'évitement s'appliquent principalement aux ports et aux infrastructures côtières et sont moins applicables à l'industrie de la pêche en mer, bien que des stratégies procédurales puissent être mises en œuvre dans

tous les secteurs. Le Tableau 7, le Tableau 8, le Tableau 9, le Tableau 10 et le Tableau 11 présentent les stratégies d'adaptation d'autres pays (exemples internationaux) et incluent également des stratégies et exemples canadiens pertinents pour les sous-secteurs de l'environnement maritime canadien, tels que mentionnés dans les rapports et la documentation propres au Canada.

6.1.1 Infrastructures portuaires et côtières

Tableau 7. Stratégies et mesures d'adaptation relatives aux infrastructures portuaires et côtières

Stratégies canadiennes	Exemples internationaux
<ul style="list-style-type: none"> • Collecte de données : surveillance du niveau des mers, suivi des phénomènes météorologiques extrêmes, conception d'outils de prévision, évaluation de la stabilité des fondations dans les zones de pergélisol et autres infrastructures côtières • Zonage côtier pour éviter le développement de nouvelles infrastructures dans les zones vulnérables • Mise en œuvre d'exigences réglementaires pour les systèmes de fondation dans les zones de pergélisol, qui absorberont mieux les mouvements de terrain dus aux cycles de gel/dégel • Utilisation d'outils tels que les thermosiphons dans les zones de pergélisol • Rehaussement des crêtes des digues et des murs de soutènement • Intégration d'infrastructures hybrides telles que des brise-lames littoraux et des récifs artificiels • Intégration de la protection contre les inondations dans les infrastructures côtières (ex. bâtiments surélevés ou flottants) • Ajout d'un blindage en enrochement ou d'une protection contre les affouillements aux infrastructures et aux actifs existants • Restauration ou construction d'habitats côtiers, notamment de dunes, de marais salés, de forêts marines et de zones humides • Mise en œuvre de mesures visant à stabiliser la végétation littorale • Reconstitution du sable dans les zones côtières • Renforcement des zones de pergélisol des rives dans les zones côtières 	<p><i>États-Unis</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Déplacement des installations à l'intérieur des terres après les dégâts causés par les ouragans • Utilisation de matériaux résistants à l'eau et de systèmes de télécommunication surélevés pour la reconstruction/réparation des infrastructures de l'USCG • Mise en œuvre de critères d'évaluation de la conception pour les projets d'infrastructure existants et nouveaux • Mobilisation active des intervenants pour déterminer une stratégie de résilience pour un port • Exploration des mesures infrastructurelles de protection du littoral pour un terminal portuaire • Réalisation d'évaluations techniques pour cerner les vulnérabilités des installations, y compris celles qui concernent les ports • Élaboration de conseils pour envisager l'utilisation de rivages vivants comme mesure d'adaptation <p><i>Pays-Bas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Évaluation de l'assurabilité des infrastructures endommagées par des phénomènes météorologiques extrêmes comme mesure proactive pour minimiser les pertes financières • Amsterdam Rainproof : créer des partenariats pour encourager les citoyens, le gouvernement, l'industrie et les autres intervenants à construire des infrastructures résilientes aux changements climatiques • Élargissement des dunes • Couverture d'assurance des bâtiments vulnérables et, éventuellement, nouveaux règlements en matière de construction axés sur l'adaptation • Récupération de l'excès d'eau lors de fortes précipitations • Construction d'infrastructures résilientes aux changements climatiques, axées sur la gestion des fortes précipitations

Stratégies canadiennes	Exemples internationaux
<ul style="list-style-type: none"> Mesures de protection dure telles que les enrochements, les digues, les épis (Lemmen et coll., 2016) <p>Entrevues d'experts (D. Bolduc, L'Alliance verte)</p> <ul style="list-style-type: none"> Lors de l'analyse de la résilience climatique, il faut tenir compte de l'entretien continu des actifs, ainsi que de la construction initiale Inclure les stratégies à l'égard des changements climatiques dans la planification à long terme (construction de quais, investissement dans l'expansion du terminal) 	<ul style="list-style-type: none"> Reconstitution du sable dans les zones côtières (The Sand Engine) Culture de vasières, de prairies et de marais salés pour faire face à l'élévation du niveau de la mer Mesures d'adaptation à terre visant à évacuer rapidement les eaux excessives des inondations (ministère néerlandais des Infrastructures et de l'Environnement, 2016; ministère néerlandais des Affaires Économiques et de la Politique Climatique, 2018; ministère néerlandais des Infrastructures et de la Gestion de l'eau, 2018; Rosenberg, 2020)

6.1.2 Transport maritime commercial

Tableau 8. Stratégies et mesures d'adaptation relatives au transport maritime commercial

Stratégies canadiennes	Exemples internationaux
<ul style="list-style-type: none"> Collecte de données : schémas migratoires de la mégafaune marine, suivi des phénomènes météorologiques extrêmes, surveillance du vêlage des glaces dans l'Arctique Amélioration des mesures de préparation aux situations d'urgence : signalement des incidents, systèmes de sécurité et services de recherche et de sauvetage en mer, préparation et lutte contre la pollution marine Collaboration avec les Forces armées canadiennes afin d'élaborer des procédures visant à améliorer la préparation et l'intervention en cas d'urgence (ex. stationnement stratégique des ressources de la GCC ou des FAC) (Smith, 2020) Planification de saisons routières plus courtes dans les régions du nord (commencer les contrats d'approvisionnement plus tôt, modifier le transport de marchandises pour en accueillir davantage par voyage) (Lemmen et coll., 2016) Augmentation des prévisions, de la planification et de la délivrance de permis pour les activités des navires dans l'Arctique (Swanson et coll., 2021) Évitement des zones de l'Arctique qui sont devenues plus dangereuses en raison du vêlage des glaces Inclusion d'une plus grande endurance des navires dans les efforts de planification futurs, compte tenu de la possibilité d'un accès accru à l'Arctique en raison des changements de la couverture de glace de mer, des changements 	<p><i>États-Unis</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Intégration des facteurs relatifs aux changements climatiques dans tous les processus de planification et de prise de décision des organismes de transport <p><i>Pays-Bas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Efforts de gestion de crise, y compris des plans d'urgence, de redressement et de gestion de crise et la préparation d'installations d'urgence <p><i>Norvège</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Augmentation des capacités de recherche et de sauvetage en prévision de conditions de navigation maritime plus dangereuses (ministère norvégien du Climat et de l'Environnement, 2021) Utilisation de modules en ligne (AISyRisk) pour évaluer les risques liés au trafic maritime, notamment les accidents de navires, le risque de marée noire et les pertes de vies humaines Utilisation d'un microsatellite de suivi maritime pour comprendre l'emplacement des navires et le trafic maritime pour les modèles d'évaluation des risques Intégration des projections climatiques dans les procédures de planification et de conception

Stratégies canadiennes	Exemples internationaux
<p>des conditions de glace pluriannuelles et des conditions annuelles de la saison intermédiaire</p> <p>Aperçu de l'enquête</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une plus grande endurance des navires de la GCC pour tenir compte de la possibilité d'un accès accru à l'Arctique en raison de la réduction potentielle de la couverture de glace due aux changements climatiques • Formes de coque des brise-glace de la future flotte permettant d'obtenir un éventail complet de capacités (GCC) • Efforts de planification de la gestion des urgences 	

6.1.3 Pêche en mer

Tableau 9. Stratégies et mesures d'adaptation relatives à la pêche en mer

Stratégies canadiennes	Exemples internationaux
<ul style="list-style-type: none"> Collecte de données : comportement, frai, migration et modes d'alimentation, volumes de capture, prises accessoires, suivi de l'apparition d'espèces envahissantes Réévaluation des saisons et des lieux de pêche sur la base des données les plus récentes sur les espèces Amélioration des mesures de préparation aux situations d'urgence Collaboration avec les Forces armées canadiennes afin d'élaborer des procédures visant à améliorer la préparation et l'intervention en cas d'urgence (ex. stationnement stratégique des ressources de la GCC ou des FAC) (Smith, 2020). Augmentation des prévisions, de la planification et de la délivrance de permis pour les activités des navires dans l'Arctique (Swanson et coll., 2021) Modification des navires et des flottes pour s'adapter à des vagues plus importantes Ajout d'un blindage en enrochement ou d'une protection contre les affouillements aux infrastructures et aux actifs existants <p>Aperçu de l'enquête</p> <ul style="list-style-type: none"> Modification de l'équipement afin d'avoir accès à la récolte de nouvelles espèces commerciales Considérations relatives à l'implantation de l'aquaculture, à l'alerte précoce (technologique) et à la diversification des cultures Accent sur la gestion régionale et internationale (gestion transfrontalière) Inclusion de données sur les changements climatiques dans les modèles des pêches Stratégies visant à accroître la résilience des stocks de poissons actuels Établissement d'objectifs en matière de pêches en collaboration avec d'autres secteurs de compétence en vue de faciliter la disponibilité des ressources halieutiques sur une plus longue période 	<p><i>États-Unis</i> (Johnson, 2012; Gregg et coll., 2012)</p> <ul style="list-style-type: none"> Mise en place de réserves marines et d'autres programmes visant à améliorer la résilience et la reconstitution des stocks de poissons Utilisation de la gestion adaptative des pêches Répartition des risques par l'entremise d'assurances, de coopératives et d'autres formes de financement Élaboration de programmes pour encourager et aider à la diversification des moyens de subsistance Amélioration de la recherche, de la surveillance et des prévisions climatiques Élaboration de stratégies nationales et régionales pour prévenir la destruction des habitats Protection des infrastructures côtières critiques utilisées par l'industrie de la pêche Réalisation de recherches et d'évaluations pour les espèces de poissons <p><i>Pays-Bas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Ajustement des quotas de pêche Adaptation des espèces cibles et des techniques de pêche Introduction de la gestion des écosystèmes Étiquetage écologique et certification du poisson Réaffectation des parcelles d'élevage de moules Aquaculture sur d'anciennes prairies - s'effectue pour la sole et le turbot (Nillesen et van Ierland, 2006)

6.1.4 Tourisme marin et côtier

Tableau 10. Stratégies et mesures d'adaptation relatives au tourisme marin et côtier

Stratégies canadiennes	Exemples internationaux
<ul style="list-style-type: none"> • Collecte de données : schémas comportementaux, de frai, d'alimentation et de migration de la mégafaune marine; surveillance des déversements dans l'environnement • Réglementation du développement de nouvelles activités touristiques dans les zones vulnérables • Augmentation des prévisions, de la planification et de la délivrance de permis pour les activités des navires de croisière et autres navires à vocation touristique dans l'Arctique (Swanson et coll., 2021) • Élaboration de politiques visant à restreindre l'utilisation et l'accès aux sites touristiques vulnérables (Dawson et coll., 2017) 	<p><i>États-Unis</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Les caractéristiques naturelles et fondées sur la nature prises en compte par l'USACE qui peuvent atténuer les répercussions des risques climatiques dans la zone côtière peuvent soutenir le tourisme marin et côtier et servir d'attractions côtières (ex. les dunes et les plages, les récifs d'huîtres) • Les rivages vivants comme mesure d'adaptation axée sur la nature <p><i>Il est à noter que le tourisme marin et côtier est étroitement lié aux sous-secteurs du transport maritime et des infrastructures portuaires et côtières. Voir ci-dessus pour des exemples précis relatifs à ces éléments du secteur.</i></p>

6.1.5 Transport maritime intérieur

Tableau 11. Stratégies et mesures d'adaptation relatives au transport maritime intérieur

Stratégies canadiennes	Exemples internationaux
<ul style="list-style-type: none"> • Collecte de données : niveaux d'eau dans les rivières, suivi des phénomènes météorologiques extrêmes, bathymétrie des rivières • Construction et élargissement des dunes • Augmentation du dragage des canaux • Restauration ou construction de zones humides, de plaines inondables et de zones tampons riveraines dans les écosystèmes fluviaux • Création de zones de contournement des inondations ou de canaux de secours <p>Entrevues d'experts (D. Bolduc, L'Alliance verte)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Études sur les niveaux d'eau des Grands Lacs et du Saint-Laurent • Évaluation de l'érosion et des sources d'érosion dues aux activités de transport, y compris les bateaux de plaisance et les navires commerciaux 	<p><i>États-Unis</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Restriction de la hauteur des navires pour tenir compte de l'élévation du niveau de la mer lorsque les ponts se trouvent au-dessus des voies navigables (Brinckerhoff et ICF International, 2014) <p><i>Pays-Bas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • L'excès d'eau provenant des niveaux élevés des rivières a été absorbé par la construction de digues transformant ces intrusions d'eau en canaux et en lacs • Outils prédictifs servant de système d'alerte en cas d'inondations • Modifications physiques de la largeur et de la profondeur des lits de rivière • Renforcement des infrastructures de protection existantes telles que les digues • Mise en œuvre de mesures de repli dans les zones sujettes aux inondations fluviales en déplaçant les structures et en ajustant l'emplacement des digues (Federal Highway Administration, Département américain des Transports, 2017b)

6.1.6 Points de vue autochtones et adaptation aux changements climatiques

La Stratégie nationale inuite sur les changements climatiques (Inuit Tapiriit Kanatami, 2019) vise à contrer les répercussions des changements climatiques grâce à des stratégies d'adaptation spécifiques basées sur cinq priorités : connaissances et capacités; santé, bien-être et environnement; systèmes alimentaires; infrastructures; et énergie. Les stratégies procédurales visant à atteindre les objectifs fixés comprennent la recherche et la surveillance des changements climatiques menées par les Inuits, qui seront utilisées pour éclairer l'élaboration des politiques futures. L'accent est mis sur la réalisation d'évaluations de la vulnérabilité afin de déterminer les priorités en matière d'adaptation, dont l'une consiste à améliorer la sécurité maritime pour les pêcheurs inuits qui dépendent de la glace de mer pour se déplacer. Il s'agit notamment d'adopter des mesures de sécurité pour les pêcheurs et d'améliorer les capacités et les infrastructures des services de recherche et de sauvetage.

6.1.7 Résultats de l'enquête : priorités des mesures d'adaptation

Les répondants à l'enquête devaient indiquer leur niveau de priorité en matière de recherche et de planification opérationnelle pour une série de risques et de répercussions climatiques, notamment l'augmentation de l'intensité des tempêtes, l'augmentation de l'action et de l'intensité des vagues, l'élévation du niveau de la mer, la migration des espèces, la fonte de la glace de mer, l'érosion et la sédimentation, les changements dans la chimie des océans, la fonte du pergélisol et les inondations côtières. Chaque danger climatique a été sélectionné (à des degrés divers) comme une priorité pour la planification de l'adaptation et les efforts de recherche. Le danger climatique le plus fréquemment sélectionné comme priorité pour les mesures d'adaptation est la fonte de la glace de mer.

7.0 Principaux thèmes et conclusions

Cette section aborde les thèmes généraux et les résultats de l'analyse concernant la planification de l'adaptation et de la résilience, y compris les évaluations des risques et de la vulnérabilité.

7.1 Adaptation aux changements climatiques : une pratique récente

Dans le passé, les efforts mondiaux en matière de climat se sont davantage concentrés sur la limitation et la réduction de la croissance des émissions de gaz à effet de serre (GES). L'atténuation des changements climatiques a historiquement été au premier plan tandis que l'adaptation aux changements climatiques n'a pas reçu beaucoup d'attention en raison des nombreuses incertitudes liées au calendrier et aux niveaux d'incidence (Timilsina, 2021). Cela est illustré par un rapport de 2019 d'un groupe de banques multilatérales de développement qui a noté que plus de 80 % du financement climatique mondial engagé à ce jour a été consacré aux activités d'atténuation des changements climatiques et moins de 20 % a été alloué à l'adaptation et à la résilience (Timilsina, 2021). En tant que telles, la plupart des stratégies observées dans l'analyse se sont concentrées sur des mesures d'adaptation précoces et plus procédurales plutôt que sur des mises à jour des infrastructures physiques. Cependant, la plupart des décideurs politiques à l'échelle mondiale s'accordent désormais à dire que l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation doivent aller de pair.

7.2 L'importance de la collaboration intersectorielle

Dans l'ensemble des cadres et des politiques décrits dans chaque territoire de compétence, la collaboration des intervenants – l'industrie, le gouvernement, les parties voisines et les communautés côtières – et des détenteurs de droits (ex. les communautés autochtones) au début du processus est considérée comme essentielle à la conception et à la mise en œuvre réussies des stratégies d'adaptation et de résilience au climat. Le processus de collaboration entre les intervenants et les détenteurs de droits devrait être spécifique au contexte et au lieu. Un soutien explicite de la part de plusieurs ordres de gouvernement et de l'industrie pour les initiatives axées sur le climat est essentiel pour atteindre les résultats souhaités en matière de résilience climatique et définir la toile de fond sur laquelle les décisions réglementaires et législatives peuvent être prises. Ce niveau de soutien a été observé par d'autres pays qui se tournent vers la Norvège et les Pays-Bas pour obtenir des conseils en matière d'adaptation au climat, et il est considéré comme une étape nécessaire pour renforcer la résilience climatique (ex. la Federal Highway Administration du Département américain des Transports, 2017a).

7.3 Accessibilité des données climatiques

La mise en œuvre d'évaluations de la vulnérabilité et de stratégies d'adaptation, ainsi que le suivi des progrès accomplis, s'appuient sur une recherche continue sur l'évolution des conditions climatiques et peuvent bénéficier d'une stratégie globale de gestion des données. Pour ce faire, il est nécessaire de former des partenariats avec les intervenants du gouvernement, de l'industrie et du monde universitaire afin de garantir que la prise de décision repose sur les données disponibles les plus récentes. En ayant

une bonne compréhension des projections climatiques, les décideurs disposent des informations nécessaires pour élaborer les réponses appropriées afin de s'adapter aux répercussions prévues des changements climatiques. La Norvège s'est engagée à mener des recherches sur le climat par l'entremise de plusieurs initiatives de recherche et les Pays-Bas se sont engagés à le faire par l'intermédiaire de leur portail de connaissances pour l'adaptation au climat. Il est important de disposer de données climatiques accessibles, mais aussi compréhensibles par les décideurs. Des données climatiques ciblées, contextuelles et compréhensibles peuvent faire la différence entre des mesures pratiques et une confusion supplémentaire, l'inaction ou un manque de sensibilisation à des risques non cernés. Dans tous les territoires de compétence, la recherche continue a été identifiée comme une priorité pour s'assurer que les décisions s'appuient sur les renseignements climatiques les plus pertinents et les plus récents.

L'élaboration de stratégies d'adaptation efficaces dépend de la qualité et de la quantité des données climatiques utilisées pour éclairer les évaluations des risques et de la vulnérabilité. Étant donné que de plus en plus de gouvernements sont aux prises avec les effets des changements climatiques et que la science du climat ne cesse d'évoluer, les bases de données climatiques devraient continuer à s'étendre. Cela pourrait ouvrir la voie à des collaborations entre des entités de différents secteurs et industries. Les mesures clés mises en évidence dans la littérature soulignent également l'importance de la collaboration entre les entités publiques et privées aux échelons local, régional et national, car elle peut contribuer à la rationalisation des processus d'évaluation des risques et de la vulnérabilité et de planification de l'adaptation, en particulier pour les infrastructures critiques.

7.4 Incertitudes inhérentes aux données climatiques

Il existe des incertitudes inhérentes à la science du climat et aux projections de données sur les changements climatiques, notamment :

1. Variabilité naturelle du climat – les projections de données climatiques s'appuient sur des normales climatiques (généralement une période de 30 ans) – données climatiques moyennes sur une période de temps. Cela peut atténuer l'incidence des phénomènes extrêmes, qui peuvent ne pas être pris en compte dans les projections. Les projections climatiques sont générées à de grandes échelles géographiques (à l'aide de modèles climatiques mondiaux et régionaux), puis une réduction d'échelle statistique ou un autre processus similaire est utilisé pour générer des projections plus granulaires. Une incertitude est introduite lors de la réduction d'échelle ou de la production de projections à une échelle plus granulaire que celle des modèles climatiques. Les caractéristiques terrestres et la variabilité des régimes météorologiques et des événements climatiques induite par les microclimats contribuent à cette incertitude. En outre, il existe d'autres facteurs de variabilité climatique qui sont externes au système climatique, par exemple l'activité volcanique et les changements de la production solaire. En raison de l'imprévisibilité de ces événements, ils ne sont pas pris en compte dans les projections de données climatiques (Données climatiques Canada, 2022).
2. Incertitude des modèles – les modèles climatiques continuent d'être mis à jour à mesure que la technologie et la science du climat progressent. Ces modèles ont des applications étendues,

mais conservent des incertitudes liées à des effets comme les mécanismes de rétroaction, l'incertitude des concentrations atmosphériques de GES à l'avenir et les nuances générales des systèmes naturels qui peuvent ne pas être saisies. Chaque modèle produira des résultats légèrement différents, car ils sont calibrés différemment (Données climatiques Canada, 2022). La meilleure pratique consiste à utiliser des ensembles ou des séries de modèles climatiques pour déterminer les tendances communes et toute la gamme des scénarios futurs possibles (Données climatiques Canada, 2022).

Il est important de comprendre les incertitudes relatives aux projections climatiques pour planifier efficacement l'atténuation des risques liés aux changements climatiques. Aux Pays-Bas, les chercheurs préconisent des stratégies flexibles avec des échéances permettant de pivoter en fonction des besoins. À mesure que le climat change, l'efficacité des stratégies d'adaptation planifiées peut également changer. Une leçon tirée de l'évaluation de la vulnérabilité menée par l'Administration portuaire de New York et du New Jersey (PANYNJ) a réitéré l'importance de l'accès aux données et aux informations, en particulier les connaissances institutionnelles, pour mener à bien leur analyse respective de la vulnérabilité et des risques (PANYNJ, 2011).

7.5 Souplesse et variété des cadres d'évaluation des risques et de la vulnérabilité

Comme le montre l'analyse des secteurs de compétence, il existe une variété d'approches et de méthodologies dans les cadres d'évaluation des risques et de la vulnérabilité. Les approches varient dans leur inclusion d'approches qualitatives ou quantitatives, la mobilisation des intervenants, le jugement professionnel, les systèmes d'aide à la décision, entre autres éléments. Les approches utilisées dépendent des objectifs de l'évaluation et des buts précis du site.

Cette réalité est également mise en évidence dans le contexte canadien. Lemmen et coll. (2016) soulignent les différences entre les évaluations de la vulnérabilité fondées sur la communauté, sur le génie et sur le secteur. Les évaluations communautaires intègrent les connaissances traditionnelles à la science occidentale et sont souvent axées sur la gouvernance. Les évaluations techniques sont souvent menées dans les régions nordiques où les répercussions des changements climatiques sont fortement liées au dégel du pergélisol et à la réduction de la couverture de glace de mer. Par exemple, les analyses des profils de terrain et les données disponibles sur l'érosion côtière aideraient à évaluer la vulnérabilité des infrastructures côtières dans l'Arctique. Les évaluations sectorielles sont principalement axées sur la manière dont les effets des changements climatiques influenceront la vulnérabilité d'une industrie ou d'un secteur entier, comme le transport maritime.

7.6 Principes fondamentaux et utilité des processus d'évaluation des risques et de la vulnérabilité

Malgré les différences entre les cadres et les approches en matière de risques et de vulnérabilité, ils tendent à suivre les mêmes principes de processus de gestion des risques (ex. Gestion des risques ISO31000) et sont éclairés, en partie, par des analyses de données climatiques spécifiques à la région ou à la zone en question. Des cadres tels que le cadre d'évaluation de la vulnérabilité et d'adaptation

utilisé par la *Federal Highway Administration* des États-Unis, le cadre de gestion des risques liés aux infrastructures critiques du Département de la Sécurité intérieure des États-Unis, le guide de l'AIPCN sur la planification de l'adaptation au changement climatique dans les ports et les voies navigables intérieures et le protocole du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP) élaboré au Canada décrivent les étapes nécessaires pour effectuer des évaluations de la vulnérabilité et analyser les risques. Ces cadres tendent à suivre des étapes clés similaires, à savoir :

1. Collecte et intégration de données et d'informations sur l'emplacement, les caractéristiques et la sensibilité au climat des actifs
2. Collecte de données sur les événements météorologiques historiques et les projections de changements climatiques
3. Évaluation des renseignements sur les actifs et le climat afin de cerner les vulnérabilités
4. Utilisation d'un processus systématique pour attribuer le niveau de risque posé par les dangers liés aux changements climatiques (en fonction d'un ou plusieurs des éléments suivants : exposition, sensibilité, probabilité, conséquence, gravité)

7.7 Utilité des cadres de risque et de vulnérabilité comme outils d'aide à la décision

Les cadres d'évaluation des risques et de la vulnérabilité, tels que le CVIIP élaboré par Ingénieurs Canada, l'outil d'évaluation du climat (DCAT) utilisé par le Département de la Défense des États-Unis et l'outil de cotation de l'évaluation de la vulnérabilité (VAST) utilisé par le Département des Transports des États-Unis, peuvent contribuer à l'élaboration d'évaluations des risques climatiques à l'appui de la planification à long terme et de la prise de décisions éclairées. Ils proposent des processus par étapes pour élaborer des seuils et des indicateurs de danger, évaluer les risques et la vulnérabilité et classer par ordre de priorité les actifs touchés, avec des recommandations pour élaborer des mesures d'adaptation pour les actifs les plus à risque/vulnérables. Aux Pays-Bas, par exemple, l'Atlas des dommages climatiques fournit des estimations des dommages induits par les changements climatiques pour chaque municipalité, principalement dus à la chaleur, à la sécheresse, aux inondations urbaines et aux inondations côtières/fluviales.

En outre, les outils et cadres de prévision, comme le montre le système d'alerte précoce pour les inondations aux Pays-Bas ou le processus d'évaluation de la prise de décision en matière d'adaptation (ADAP) de la *Federal Highway Administration*, sont des exemples d'outils qui soutiennent les efforts de sélection et de mise en œuvre des mesures d'adaptation.

7.8 Variabilité des efforts d'adaptation aux changements climatiques

Bien que les répercussions des changements climatiques puissent être ressenties dans différentes régions, leurs contextes peuvent varier considérablement. C'est pourquoi les mesures d'adaptation aux changements climatiques ne sont pas des solutions universelles, mais sont plutôt spécifiques au contexte unique de chaque région, qui comprend des facteurs géographiques, topographiques, météorologiques et même socioculturels. Par exemple, la principale préoccupation des Pays-Bas est

liée aux inondations en raison de la position unique du pays par rapport au niveau de la mer. Par ailleurs, bien qu'étant le pays le moins vulnérable au monde aux changements climatiques, la principale préoccupation de la Norvège a été documentée comme étant l'augmentation prévue du niveau des précipitations qui, à son tour, augmentera les risques d'événements tels que les glissements de terrain et les avalanches (ministère norvégien du Climat et de l'Environnement, 2013). Aux États-Unis, les préoccupations ont tendance à se concentrer sur l'élévation du niveau de la mer, les événements météorologiques extrêmes et les changements de température et ont suscité des efforts d'adaptation qui varient largement en fonction des actifs, des opérations et des installations concernés. Au Canada, les efforts d'adaptation varient d'un bout à l'autre du pays, en fonction des milieux marins et d'eau douce, des dangers climatiques les plus préoccupants et des priorités des territoires de compétence et des organisations.

7.9 Mésadaptation

La mésadaptation a été signalée comme une conséquence involontaire de l'absence d'adaptation adéquate (et souple) aux changements climatiques (AIPCN, 2020). Bien que les tendances et les schémas observés soient essentiels pour éclairer la prise de décision dans un cadre d'adaptation, il faut reconnaître que les projections comportent des incertitudes. Il ne s'agit pas de prédictions, mais plutôt d'estimations scientifiquement étayées de la fréquence des dangers climatiques futurs. La souplesse doit être intégrée aux stratégies d'adaptation afin de favoriser une bonne utilisation des ressources. En ne pas tenir compte des conséquences d'une intervention dans un domaine sur d'autres infrastructures, actifs ou secteurs peut conduire à une mauvaise adaptation en augmentant les vulnérabilités ailleurs (AIPCN, 2020). Le risque de mésadaptation peut être atténué en réalisant des évaluations appropriées des risques et de la vulnérabilité, en comprenant et en tenant compte des incertitudes dans la planification, et en favorisant la collaboration entre les intervenants concernés.

8.0 Meilleures pratiques et stratégies

Cette section décrit les pratiques exemplaires et les stratégies tirées de l'analyse spécifique à la gestion du processus d'adaptation aux changements climatiques afin d'éclairer les futures décisions stratégiques de programme, les investissements et les plans d'atténuation des changements climatiques dans l'environnement maritime canadien. Les stratégies présentées ici sont de nature générale afin de saisir l'intégralité du processus d'évaluation du climat et de planification de l'adaptation. À noter que les stratégies d'adaptation pour faire face aux dangers climatiques spécifiques aux secteurs maritimes canadiens sont détaillées dans la section 6.0. Les stratégies et les pratiques exemplaires sont détaillées ci-dessous en fonction des aspects du processus d'évaluation du climat et de la planification de l'adaptation.

8.1 Stratégie

- Les stratégies doivent être spécifiques aux systèmes, aux actifs, aux opérations ou aux installations et fondées sur des cadres d'évaluation des risques et de la vulnérabilité (Comm. Perris., Jan Brooke, AIPCN)
- La planification doit prendre en compte le court et le long terme et tenir compte de la durée de vie des actifs physiques (Centre for Climate and Security, 2016)
- Cerner et renforcer continuellement les capacités pour faire face aux risques infrastructurels, opérationnels et stratégiques (Centre for Climate and Security, 2016)
- Intégrer les scénarios et les projections des répercussions climatiques dans les cycles de planification réguliers (Centre pour le climat et la sécurité, 2016)
- Intégrer la collaboration et la mobilisation des instances publiques et privées dans le processus d'évaluation des risques et de la vulnérabilité et de planification de l'adaptation (Becker et coll., 2018)

8.2 Données climatiques

- Établir des partenariats avec des organisations ou des agences qui élaborent ou utilisent des projections climatiques (FWHA, 2017a)
- Collaborer avec les chercheurs, les ministères, l'industrie et d'autres intervenants pour soutenir l'inclusion de données et l'élaboration d'une base de données climatiques dans les processus d'évaluation
- Continuer à investir dans l'amélioration des données climatiques (Centre for Climate and Security, 2016)
- Établir et utiliser une base de données climatiques pour compiler les données et les renseignements climatiques au fil du temps

- Utiliser des sources de données historiques à long terme pour obtenir des renseignements climatiques de base (AIPCN, 2020)
- Inclure des données historiques sur les événements extrêmes pour éclairer les renseignements climatiques de base (AIPCN, 2020)
- Utiliser des scénarios climatiques qui représentent l'état futur du climat, si l'horizon de la stratégie d'adaptation s'étend au-delà de 10 ans à partir du moment où elle est mise en place (AIPCN, 2020)

8.3 Données sur les actifs

- Dresser un inventaire des actifs, des opérations et des systèmes d'infrastructure [une annexe est fournie dans le rapport de l'AIPCN (2020) qui peut aider à déterminer les actifs, les opérations et les systèmes à prendre en compte dans le processus de planification de l'adaptation]
- Mobiliser les intervenants pour aider à cerner les actifs dans le cadre d'un inventaire des actifs (AIPCN, 2020)
- Dans la mesure du possible, inclure des données spécifiques à la vulnérabilité dans les processus d'élaboration de rapports sur la gestion des actifs (FWHA, 2017a)
- Géoréférencer les données sur les actifs pendant le processus de collecte des données et l'élaboration de l'inventaire (FWHA, 2017a)

8.4 Évaluation des risques et de la vulnérabilité

- Les experts en la matière, le personnel et les intervenants locaux peuvent soutenir le processus d'évaluation des risques et assurer l'harmonisation avec le contexte local, en particulier lorsque des approches fondées sur des indicateurs sont utilisées (FWHA, 2017a)
- De nombreux cadres de gestion des risques existent et ont été appliqués à l'échelle mondiale. Lors de la sélection d'un cadre d'évaluation des risques, s'assurer de sa conformité à la norme ISO 31000 Gestion du risque - Principes et lignes directrices, 1^{re} édition, 15 novembre 2009 (Gouvernement du Canada, 2019)
- Utiliser des outils et des approches du risque pour évaluer la vulnérabilité des actifs en fonction des caractéristiques et des priorités du site et de l'emplacement
- Utiliser l'option du statu quo dans les analyses des risques pour mesurer ces derniers si aucune mesure n'est prise (AIPCN, 2020)

8.5 Options d'adaptation

- Inclure des mesures opérationnelles et institutionnelles parallèlement à des mesures structurelles et physiques (Comm. Perris., Jan Brooke, AIPCN)

- Éviter d'utiliser une approche « taille unique », car cela peut entraîner une mauvaise adaptation (Comm. perrs., Jan Brooke, AIPCN)
- Les stratégies d'adaptation pour les ports et les voies navigables dont l'horizon de planification dépasse trente ans doivent évaluer une série de scénarios climatiques futurs (AIPCN, 2020)
- Utiliser un processus participatif pour amener les intervenants à soutenir l'analyse des stratégies d'adaptation (FWHA, 2017a; Becker et coll., 2018)

8.6 Processus de prise de décision

- Veiller à ce que les processus de prise de décision tiennent compte de la durée de vie des infrastructures physiques (AIPCN, 2020)
- Les méthodes et outils d'analyse économique peuvent soutenir l'évaluation des options d'adaptation (AIPCN, 2020)
- Prendre en compte les projections du niveau de risque le plus élevé lors de la prise de décisions liées au climat (Centre for Climate and Security, 2016)

8.7 Suivi et évaluation

- Une stratégie d'adaptation doit être un document évolutif, revu et mis à jour fréquemment (AIPCN, 2020)
- Établir des processus de suivi et d'évaluation du succès des stratégies et des initiatives d'adaptation découlant des évaluations de la vulnérabilité (FWHA 2017a)
- Réévaluer les vulnérabilités à mesure que de nouvelles données scientifiques et climatiques sont disponibles (FWHA 2017a)

8.8 Communication

- Les données climatiques, les évaluations des risques, les options d'adaptation et les rapports doivent être facilement compris par les décideurs et la société civile
- Les données climatiques doivent être disponibles et accessibles à tous les niveaux de gouvernements, aux organisations non gouvernementales, à l'industrie, etc.

9.0 Bibliographie

Altieri, A. H., & Gedan, K. B. (2015). Climate change and dead zones. *Global change biology*, vol. 21, n° 4, p. 1395-1406.

Amsterdam Rainproof. (2022). Making climate-proof construction ready. Récupéré de : <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/klimaatbestendig-bouwrijp-maken>

Anderson, T., Beck, C., Gade, K., et Olmsted S. (2015). Extreme Weather Vulnerability Assessment. Préparé pour le Département des Transports de l'Arizona. Récupéré de : <https://trid.trb.org/view/1403115>

Arctic Council. (2015). Member states. Récupéré de : <https://arctic-council.org/index.php/en/about-us/member-states>

Arctic Council. (2016). Arctic Resilience Report. M. Carson and G. Peterson (éds). Stockholm Environment Institute and Stockholm Resilience Centre, Stockholm. Récupéré de : <https://mediamanager.sei.org/documents/Publications/ArcticResilienceReport-2016.pdf>

Arctic Council. (2018). Arctic Environment Ministers' Meeting: Examples of National Best Practices. Récupéré de : https://oaarchive.arctic-council.org/bitstream/handle/11374/2179/EMMFI_2018_ROVANIEMI_National-Best-Practices-Examples.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arseneau Bussières, S. et Chevrier, H. (2008). Profil socio-économique de la communauté anglophone des Îles-de-la-Madelaine. Centre de recherche sur les milieux insulaires et maritimes (CERMIM), Îles-de-la-Madeleine. Rapport présenté à Industrie Canada, vi + 83 p. Récupéré de : <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/1564005>

Association Internationale Villes Ports (AIVP). (2021). La gestion du risque d'inondation dans le port de Rotterdam. Récupéré de : <https://www.aivp.org/newsroom/la-gestion-du-risque-dinondation-dans-le-port-of-rotterdam/>

Becker, A., Burroughs, R., Kretsch, E., McIntosh, D. et Haymaker, J. (2017). Stakeholder vulnerability and resilience strategy assessment of maritime infrastructure: Pilot project for Providence, RI. Récupéré de : https://www.researchgate.net/publication/339613120_Stakeholder_vulnerability_and_resilience_strategy_assessment_of_maritime_infrastructure_Pilot_project_for_Providence_RI

Becker, A., Ng, A. K., McEvoy, D. et Mullett, J. (2018). Implications of climate change for shipping: Ports and supply chains. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 9, n° 2, p. e508.

Bles, T., Bessembinder, J., Chevreuil, M., Danielsson, P., Falemo, S., Venmans, A. (2015). ROADAPT: Roads for today, adapted for tomorrow. Lignes directrices. Récupéré de : <https://www.cedr.eu/download>

[/other_public_files/research_programme/call_2012/climate_change/roadapt/ROADAPT_integrating_main_guidelines.pdf](#)

Bonham-Carter, C., May, K., Thomas, C., Sudhalkar, A., Fish, B., Boone, A., Mak, M., Mull, J. (AECOM), DeFlorio, J. et Dempster, J. (Cambridge Systematics). (2014). Climate Change and Extreme Weather Adaptation Options for Transportation Assets in the Bay Area Pilot Project. Récupéré de : http://files.mtc.ca.gov/pdf/MTC_ClimateChng_ExtmWthr_Adtpn_Report_Final.pdf

Borchert, S. M., Osland, M. J., Enwright, N. M. et Griffith, K. T. (2018). Coastal wetland adaptation to sea level rise: Quantifying potential for landward migration and coastal squeeze. *Journal of Applied Ecology*, vol. 55, n° 6, p. 2876-2887.

Brinckerhoff, P. et ICF International. (2014). Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: The Gulf Coast Study, Phase 2. Task 3.2: Engineering Assessments of Climate Change Impacts and Adaptation Measures. Préparé pour le Center for Climate Change and Environmental Forecasting du Département des Transports des États-Unis. Récupéré de : https://web.law.columbia.edu/sites/default/files/microsites/climate-change/dot_gulf_coast_study_phase_2_task_3.2.pdf

Brinckerhoff, P. et ICF International. (2014). Impact of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: The Gulf Coast Study, Phase 2. Task 3.2: Engineering Assessments of Climate Change Impacts and Adaptation Measures. Récupéré de : https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/gulf_coast_study/phase_2_task3/task_3.2/task2phase3.pdf

Brude, O. W., Jakobsen, V., Rinaldo, Ø., Tvedt, H. B., Rudberg, A., Gravir, G., Olsen, K. E. (2021). EnviRisk - Automated Environmental Risk Assessment for Ship Traffic in Norwegian Waters. Récupéré de : <https://meridian.allenpress.com/iosc/article/2021/1/688603/473074/EnviRisk-Automated-Environmental-Risk-Assessment>

Burks-Copes, K.A., Russo, E.J.J., Bourne, S., Case, M., Davis, A., Fischenich, C., Follum, M., Li, H., Lin, L., Lofton, S. et McKay, K. (2014). Risk quantification for sustaining coastal military installation assets and mission capabilities. Corps des ingénieurs de l'armée. Vicksburg, Mississippi, États-Unis.

Bush, E. et Lemmen, D.S. (2019). Rapport sur le climat changeant du Canada. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). Récupéré de : <https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/> and <https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/definitions-2/>

Cheng, L., Trenberth, K. E., Gruber, N., Abraham, J. P., Fasullo, J. T., Li, G., Mann, M. E., Zhao, X., Zhu, J. (2020). « Improved estimates of changes in upper ocean salinity and the hydrological cycle », *Journal of Climate*, vol. 33, p. 10357-10381.

Climate Adaptation Knowledge Exchange. (2014). Washington State Department of Transportation - U.S. F.H.W.A. Climate Change Vulnerability Assessment Pilot Project. Récupéré de :

<https://www.cakex.org/case-studies/washington-state-department-transportation-us-fhwa-climate-change-vulnerability-assessment-pilot-project>

Données climatiques Canada. (2022). Comprendre les projections futures : Incertitudes relatives aux projections climatiques. Récupéré de : https://donneesclimatiques.ca/ressource/lincertitude-dans-les-projections-climatiques/?_gl=1*xkxdw2*_ga*Mjg1MDQ5OTMwLjE2NTM5NDg5OTk.*_ga_3330ZYEQPW*MTY1NDAxODgxMy4yLjAuMTY1NDAxODgxMy4w&_ga=2.194590894.2055296798.1653949000-285049930.1653948999

Cohen, S., Bush, E., Zhang, X., Gillett, N., Bonsai, B., Derkson, C., Float, G., Greenan, C. et Watson, E. (2019). Synthesis of Findings for Canada's Regions; Chapter 8 dans Rapport sur le climat changeant du Canada, E. Bush et D.S. Lemmen (éds.); Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, p. 424-443). Récupéré de : <https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/chapitre/8-0/>

Coll, J., Woolf, D. K., Gibb, S. W. et Challenor, P. G. (2013). Sensitivity of ferry services to the Western Isles of Scotland to changes in wave and wind climate. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 52, n° 5, p. 1069-1084.

County of Santa Clara. (2015). Silicon Valley 2.0 Climate Adaptation Guidebook. Office of Sustainability and Climate Action. Récupéré de : https://sustainability.sccgov.org/sites/g/files/exjcpb976/files/documents/1_150803_Final%20Guidebook_W_Appendices.pdf

Dawson, J., Copland, L., Johnston, M. E., Pizzolato, L., Howell, S. E., Pelot, R., Etienne, L., Matthews, L., Parsons, J. (2017). Climate change adaptation strategies and policy options for Arctic shipping. Rapport préparé pour Transports Canada. Ottawa, Canada.

Dawson, J., Johnston, M.E. et Stewart, E.J. (2014). Governance of Arctic expedition cruise ships in a time of rapid environmental and economic change. *Ocean and Coastal Management*, vol. 89, p. 88-99. Récupéré de : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569113003074>

de Bruin, K., Dellink, R. B., Ruijs, A., Bolwidt, L., van Buuren, A., Graveland, J., de Groot, R. S., Kuikman, P. J., Reinhard, S., Roetter, R. P., Tassone, V. C., Verhagen, A., van Ierland, E. C. (2009). Adapting to climate change in The Netherlands: An inventory of climate adaptation options and ranking alternatives. *Climatic Change*, vol. 95, p. 23-45.

De Groot, R. S., van Ierland, E. C., Kuikman, P. J., Nillesen, E. E. M., Platteeuw, M., Tassone, V. C., Verhagen, J. et Verzandvoort, S. J. E. (2006). Climate adaptation in the Netherlands. Rapport 500102 003.

Department of Homeland Security (DHS). (2013). National Infrastructure Protection Plan (NIPP) 2013: Partnering for Critical Infrastructure Security and Resilience. Washington, D.C. Récupéré de : <https://www.cisa.gov/sites/default/files/publications/national-infrastructure-protection-plan-2013-508.pdf>

Durack, P. J., Wijffels, S. E. et Matear, R. J. (2012). Ocean salinities reveal strong global water cycle intensification during 1950 to 2000. *Science*, vol. 336, 455-458.

Emerging Issues Working Group of the Great Lakes Water Quality Board. (2017). *Climate Change and Adaptation in the Great Lakes*. Récupéré de : https://www.ijc.org/sites/default/files/WQB_CCAadaptation_ProjectSummary_20170110.pdf

Ford, J. D., Pearce, T., Gilligan, J., Smit, B. et Oakes, J. (2008). Climate change and hazards associated with ice use in northern Canada. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, vol. 40, n° 4, 647-659.

Frost, S. (2021). *The Impact of Climate Change on Search and Rescue in the Arctic*. Récupéré de : <https://www.cfc.forces.gc.ca/259/290/22/305/Frost.pdf>

GHD, ESA et Trinity Associates. (2014). *District 1 Climate Change Vulnerability Assessment and Pilot Studies FHWA Climate Resilience Pilot Final Report*. Préparé pour le Département des Transports de la Californie (Caltrans) District 1. Récupéré de : <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/transportation-planning/documents/ccps-a11y-.pdf>

Gouvernement du Canada. (2019). *Optique des changements climatiques – Lignes directrices générales*. Récupéré de : <https://www.infrastructure.gc.ca/pub/other-autre/cl-occ-fra.html>

Gregg, R. M., Score, A., Pietri, D. et Hansen, L. (2016). *The state of climate adaptation in US marine fisheries management*. EcoAdapt: Bainbridge Island, WA, É.-U.

Haumann, F. A., Gruber, N., Münnich, M., Frenger, I. et Kern, S. (2016). Sea-ice transport driving Southern Ocean salinity and its recent trends. *Nature*, vol. 537, p. 89-92.

ICF International. (2014). *Assessing Criticality in Transportation Adaptation Planning*. Préparé par le Center for Climate Change du Département des Transports des États-Unis et Environmental Forecasting dans le cadre de l'étude *The Gulf Coast Study, Phase 2: Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure*. Géré par l'Office of Planning, Environment, and Realty de la Federal Highway Administration (FHWA). Récupéré de : https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/tools/criticality_guidance/criticality_guidance.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Glossary*. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (éds.)]. Cambridge University Press (sous presse).

Commission mixte internationale. (s.d.). *Grands Lacs et fleuve Saint-Laurent*. Récupéré de : <https://www.ijc.org/fr/bassins/grands-lacs>

Union internationale pour la conservation de la nature. (s.d.). Ocean deoxygenation. Récupéré de : <https://www.iucn.org/resources/issues-briefs/ocean-deoxygenation>

Inuit Tapiriit Kanatami. (2019). Stratégie nationale inuite sur les changements climatiques. Récupéré de : https://www.itk.ca/wp-content/uploads/2019/07/ITK_Climate-Change-Strategy_French-Online.pdf

Izaguirre, C., Losada, I. J., Camus, P., Vigh, J. L. et Stenek, V. (2021). Climate change risk to global port operations. *Nature Climate Change*, vol. 11, p. 14-20.

Johnson, T. (2012). Fisheries Adaptations to Climate Change. Alaska Sea Grant Marine Advisory Program. Récupéré de : <https://www.cakex.org/sites/default/files/documents/AK%20SG%20Fisheries%20Adaptations%20to%20Climate%20Change.pdf>

Jones, B. M., Farquharson, L. M., Baughman, C. A., Buzard, R. M., Arp, C. D., Grosse, G., Bull, D. L., Günther, F., Nitze, I., Urban, F., Kasper, J. L., Frederick, J. M., Thomas, M., Jones, C., Mota, A., Dallimore, S., Tweedie, C., Maio, C., Mann, D. H., Richmond, B., Gibbs, A., Xiao, M., Sachs, T., Iwahana, G., Kanevskiy, M. et Romanovsky, V. E. (2018). A decade of remotely sensed observations highlight complex processes linked to coastal permafrost bluff erosion in the Arctic. *Environmental Research Letters*, vol. 13, n° 11, p. 115001.

Kim, Y. et Ross, L. (2019). Ports: An industry guide to enhancing resilience. Resilience Primer. Four Twenty Seven Inc. et Resilience Shift, UK. Récupéré de : https://www.resilienceshift.org/wp-content/uploads/2019/10/RP-Ports_Final_Pages.pdf

Lapointe, D., Renaud, L. et Blanchard, M.E. (2021). Tourism adaptation to coastal risks: A socio-spatial analysis of the Magdalen Islands in Québec, Canada. *Water*, vol. 13, n° 17, p. 2410. Récupéré de : <https://doi.org/10.3390/w13172410>

Lemmen, D.S., Warren, F. J., Barrow, E., Schwartz, R., Andrey, R., Mills, B., Riedel, D. (2004). *Climate Change Impacts and Adaptation: A Canadian Perspective*.

Lemmen, D. S., Warren, F. J., James, T. S. et Mercer Clark, C. S. L. (éds.). (2016). *Canada's Marine Coasts in a Changing Climate*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 286 p.

Lieberknecht, L.M. (2020). *Ecosystem-Based Integrated Ocean Management: A Framework for Sustainable Ocean Economy Development*. Rapport préparé à l'intention de WWF-Norway par GRID-Arendal. Récupéré de : https://gridarendal-website-live.s3.amazonaws.com/production/documents/s_document/531/original/Ecosystem-Based_Integrated_Ocean_Management_EN_web.pdf?1587588391

Marushka, L., Kenny, T. A., Batal, M., Cheung, W. W., Fediuk, K., Golden, C. D. et Chan, H. M. (2019). Potential impacts of climate-related decline of seafood harvest on nutritional status of coastal First Nations in British Columbia, Canada. *PloS one*, vol. 14, n° 2, e0211473.

Maryland State Highway Administration. (2014). Maryland State Highway Administration Climate Change Adaptation Plan with Detailed Vulnerability Assessment. Préparé par Stantec Consulting Services Inc. Récupéré de : https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/pilots/2013-2015_pilots/maryland/final_report/mdpilot.pdf

Millennium Ecosystem Assessment (MA). (2005). Appendix D: Glossary. Dans *Ecosystems and Human Well-being: Current States and Trends. Findings of the Condition and Trends Working Group* [Hassan, R., R. Scholes et N. Ash (eds.)]. Island Press, Washington DC, É.-U., p. 893-900.

Miller, A. (2020). Shoreline erosion and sea level rise. *Climate Change and Oceanography*, 90-97.

Morris, L., Sempier, T., Ports Resilience Expert Committee. (2016). Ports Resilience Index: A Port Management Self-Assessment. GOMSG-H-16-001. Récupéré de : https://masgc.org/assets/images/Ports_resilience_index.pdf

Mudryk, L. R., Dawon, J., Howell, S.E.L., Derksen, C., Zagon, T.A., Brady, M. (2021). Impact of 1, 2 and 4 °C of global warming on ship navigation in the Canadian Arctic. Récupéré de : <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01087-6>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2015). Guidance for Considering the Use of Living Shorelines. NOAA Living Shorelines Workgroup. Récupéré de : https://www.habitatblueprint.noaa.gov/wp-content/uploads/2018/01/NOAA-Guidance-for-Considering-the-Use-of-Living-Shorelines_2015.pdf

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2020). Ocean acidification. Récupéré de : <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2021). Hypoxia. Récupéré de : <https://oceanservice.noaa.gov/hazards/hypoxia/>

National Park Service (NPS). (2017). Cape Lookout National Seashore: Coastal Hazards & Sea-Level Rise Asset Vulnerability Assessment. Département de l'Intérieur des États-Unis. Récupéré de : https://shoreline.wcu.edu/Katie/CALO_SummaryDocument_Final_WCU.pdf

Ressources naturelles Canada. (2017). Le Nord. Récupéré de : <https://www.rncan.gc.ca/le-nord/16887>

Netherlands Ministry of Economic Affairs and Climate Policy. (2018). Seventh Netherlands National Communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change (NC7). Récupéré de : <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Seventh%20Netherlands%20National%20Communication%20under%20the%20UNFCCC%20update%202018.pdf>

Netherlands Ministry of Infrastructure and the Environment. (2016). Adapting with Ambition: National Climate Adaptation Strategy 2016 (NAS). Récupéré de : <https://climate-adapt.eea.europa.eu/countries-regions/countries/netherlands>

Netherlands Ministry of Infrastructure and Water Management. (2018). Implementing with Ambition: Implementation Programme 2018-2019, National Climate Adaptation Strategy (NAS) of the Netherlands. Récupéré de : <https://climate-adapt.eea.europa.eu/countries-regions/countries/netherlands>

Norwegian Centre for Climate Services. (2017). Climate in Norway 2100 - A knowledge base for climate adaptation.

Norwegian Ministry of Climate and Environment. (2013). Climate Change Adaptation in Norway. Récupéré de : <https://www.regjeringen.no/en/dokumenter/meld.-st.-33-20122013/id725930/>

Norwegian Ministry of Climate and Environment. (2018). Norway's Seventh National Communication. Récupéré de : https://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom/submitted_natcom/application/pdf/529371_norway-nc7-br3-1-nc7_-_br3_-_final.pdf

Norwegian Ministry of Climate and Environment. (2020). Norway's integrated ocean management plans. Récupéré de : <https://www.regjeringen.no/contentassets/5570db2543234b8a9834606c33caa900/en-gb/pdfs/stm201920200020000engpdfs.pdf>

Norwegian Ministry of the Environment. (2012). Adapting to A Changing Climate. Official Norwegian Reports NOU 2010:10. Récupéré de : https://www.regjeringen.no/contentassets/00f70698362f4f889cbe30c75bca4a48/pdfs/nou201020100010000en_pdfs.pdf

PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. (2011). Climate Adaptation in the Dutch Delta: Strategic options for a climate-proof development of the Netherlands. Récupéré de : <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/PBL-2012-Climate-Adaptation-in-the-Dutch-Delt-500193002.pdf>

Pinson, A. O., White, K.D. Moore, S. A., Samuelson, S. D., Thames, B. A., O'Brien, P. S., Hiemstra, C. A., Loechl, P. M. et Ritchie, E. E. (2020). Army Climate Resilience Handbook. Washington, DC: Corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis. Récupéré de : https://www.asaie.army.mil/Public/ES/doc/Army_Climate_Resilience_Handbook_Change_1.pdf

Pizzolato, L., Howell, S. E. L., Derksen, C., Dawson, J. et Copland, L. (2014). Changing sea ice conditions and marine transportation activity in Canadian Arctic waters between 1990 and 2012. *Climatic Change*, vol. 23, p. 161-173.

Poloczanska, E. S., Burrows, M. T., Brown, C. J., García Molinos, J., Halpern, B. S., Hoegh-Guldberg, O., Kappel, C. V., Moore, P. J., Richardson, A. J. Schoeman, D. S. et Sydeman, W. J. (2016). Responses of marine organisms to climate change across oceans. *Frontiers in Marine Science*, vol. 62.

Port Authority of New York and New Jersey (PANYNJ). (2018). Climate Resilience Design Guidelines (v1.2).

Port Authority of New York and New Jersey (PANYNJ). (2011). Anticipating Climate Change (2015). Récupéré de : <https://www.panynj.gov/content/dam/port-authority/about/environmental-initiatives/partnerships-and-collaborations/Eng-Climate-Change-Article.pdf>

Port Authority of New York and New Jersey (PANYNJ). (2011). PANYNJ Assessment of the Vulnerability to the Impacts of Climate Change. Récupéré de : <https://www.adaptationclearinghouse.org/resources/panynj-assessment-of-the-vulnerability-to-the-impacts-of-climate-change.html>

Port Authority of New York and New Jersey (PANYNJ). (2018). Climate Resilience Design Guidelines (v1.2). Récupéré de : <https://www.panynj.gov/business-opportunities/pdf/discipline-guidelines/climate-resilience.pdf>

Port of Long Beach. (2016). Climate Adaptation and Coastal Resiliency Plan (CRP). Récupéré de : <https://polb.com/environment/climate-change/#climate-change-overview>

Port of Rotterdam. S.d. Botlek et Vondelingen. Récupéré de : <https://www.portofrotterdam.com/en/building-port/safe-port/flood-risk-management/botlek-and-vondelingenplaat>

Port of Rotterdam. s.d. Flood Risk Management. Site Web : <https://www.portofrotterdam.com/en/building-port/safe-port/flood-risk-management>

Pörtner, H.-O., Karl, D. M., Boyd, P. W., Cheung, W. W. L., Lluich-Cota, S. E., Nojiri, Y., Schmidt, D. N. et Zavalov, P. O. (2014). Systèmes océaniques : Chapitre 6 dans Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité (Contribution du groupe de travail II au Sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, (éd.) C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, J. K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White; Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, p. 410-484.

Rezaee, S., Pelot, R. et Finnis, J. (2016). The effect of extratropical cyclone weather conditions on fishing vessel incidents' severity level in Atlantic Canada. *Safety Science*, vol. 85, p. 33-40.

Rockwell, L. S., Jones, K. M. et Cone, D. K. (2009). First record of *Anguillicoloides crassus* (Nematoda) in American eels (*Anguilla rostrata*) in Canadian estuaries, Cape Breton, Nova Scotia. *Journal of Parasitology*, vol. 95, n° 2, p. 483-486.

Rompkey, B., Cochrane, E. (2009). Le contrôle des eaux de l'Arctique canadien: Rôle de la Garde côtière canadienne. Récupéré de : <https://sencanada.ca/content/sen/committee/402/fish/rep/rep07dec09-f.pdf>

Rosenberg, Matt. (28 août 2020). How the Netherlands Reclaimed Land From the Sea. Récupéré de : <https://www.thoughtco.com/polders-and-dikes-of-the-netherlands-1435535>

Schlanger, Z. (2019). Climate change is luring cruise ships to sail risky Arctic passages. Quartz. Récupéré de : <https://qz.com/1679630/climate-change-lures-cruise-ships-to-sail-risky-arctic-passages/>

Schweighofer, J. (2014). The impact of extreme weather and climate change on inland waterway transport. *Natural Hazards*, vol. 72, n° 1, p. 23-40.

Scott, H., McEvoy, D., Chhetri, P., Basic, F. et Mullett, J. (2013). Climate change adaptation guidelines for ports. Série de rapports Enhancing the resilience of seaports to a changing climate. National Climate Change Adaptation Research Facility.

Skinnermoen, M., Valkonen, J., Johnsrud, H. J., Olsen, K. E., Saghagen, I., Hanssen, R., Røyset, J. A. (2021). Automated calculation of risk related to ship traffic. Récupéré de : <https://aisyrisk.no/>

Smith, T. (2020). Climate Change Impact on the Demand for Canadian Armed Forces Operations. Récupéré de : <https://www.cfc.forces.gc.ca/259/290/22/286/smith.pdf>

Sorte, C. J. B., Williams, S. L., Zerebecki, R. A. (2010). Ocean warming increases threat of invasive species in a marine fouling community. *Ecology*, vol. 91, n° 8, p. 2198-2204.

Spatial Adaptation Knowledge Portal. (2022). Site Web : <https://klimaatadaptatienederland.nl/en>

Stewart, E. J., Dawson, J. et Draper, D. (2011). Cruise tourism and residents in Arctic Canada: Development of a resident attitude typology. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, vol. 18, n° 1, p. 95-106.

Swanson, D., Murphy, D., Temmer, J., and Scaletta, T. (2021). Advancing the Climate Resilience of Canadian Infrastructure: A review of literature to inform the way forward. International Institute for Sustainable Development. Récupéré de : <https://www.iisd.org/system/files/2021-07/climate-resilience-canadian-infrastructure-en.pdf>

Tennessee Department of Transportation. (2015). Assessing the Vulnerability of Tennessee Transportation Assets to Extreme Weather. Récupéré de : https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/pilots/2013-2015_pilots/tennessee/final_report/tdot.pdf

The Center for Climate and Security. (2016). Military Expert Panel Report: Sea Level Rise and the U.S. Military's Mission. Récupéré de : https://climateandsecurity.org/wp-content/uploads/2016/09/center-for-climate-and-security_military-expert-panel-report2.pdf

The World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC). (2020). Climate Change Adaptation Planning for Ports and Inland Waterways. Récupéré de : <https://www.pianc.org/publications/envicom/wg178>

Timilsina, G. (2021). Financing Climate Change Adaptation: International Initiative. Récupéré de : <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/12/6515/htm>

United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2020). Climate Change Impacts and Adaptation for Coastal Transport Infrastructure: A Compilation of Policies and Practices. Récupéré de : https://unctad.org/system/files/official-document/dtltlb2019d1_en.pdf

Tourisme Québec. (2021). Tourisme Îles de la Madeleine: Foire aux questions. Récupéré de : <https://www.tourismeilesdelamadeleine.com/fr/accueil/faq/#Activiteseconomiques>

U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA). (2015). U.S. DOT Gulf Coast Study, Phase 2, Task 3.1: Screen for Vulnerability. Récupéré de : <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/56036>

U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA). (2016). TEACR Engineering Assessment. Adaptation Decision-Making Assessment Process (ADAP). Récupéré de : https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/teacr_adap/fhwahep17004.pdf

U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA). (2017a). Vulnerability Assessment and Adaptation Framework, Third Edition. Office of Planning, Environment, & Realty. Récupéré de : https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/adaptation_framework/climate_adaptation.pdf

U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA). (2017b). *Transportation Infrastructure Resiliency: A Review of Practices in Denmark, the Netherlands, and Norway*. Récupéré de : https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/publications/gbp_june_2017/fhwahep17077.pdf

U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA). (2017c). Resilient and Sustainable Transport - Dutch Style: An interim report on bilateral cooperation between FHWA and Rijkswaterstaat. Publication n° FHWA-HEP-17-089.

Nations Unies. (2020). Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement - Adaptation des ports maritimes aux changements climatiques à l'appui du Programme de développement durable à l'horizon 2030. Récupéré de : https://unctad.org/system/files/official-document/cimem7d23_fr.pdf

United States Government Accountability Office (GAO). (2019). Coast Guard Shore Infrastructure: Processes for Improving Resilience Should Fully Align with DHS Risk Management Framework. Report to Congressional Requesters. Récupéré de : <https://www.gao.gov/assets/gao-19-675.pdf>

Université of Notre Dame. 2019. Country Index - Norway. Récupéré de : <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/>

United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2021a). Climate Change Indicators: Sea Surface Temperature. Récupéré de : <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-sea-surface-temperature>

United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2021b). Climate Change Indicators: Sea Level. Récupéré de : <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-sea-level>

US Army Corps of Engineers (USACE). (2013). Coastal Risk Reduction and Resilience: Using the Full Array of Measures. CWTS 2013-3. Washington, DC: Directorate of Civil Works, US Army Corps of Engineers. Récupéré de : <http://cdm16021.contentdm.oclc.org/utills/getfile/collection/p266001coll1/id/5270>

US Department of Defense (DoD). (2021). Department of Defense Draft Climate Adaptation Plan. Report Submitted to National Climate Task Force and Federal Chief Sustainability Officer. 1^{er} septembre 2021. Récupéré de : <https://media.defense.gov/2021/Oct/07/2002869699/-1/-1/0/DEPARTMENT-OF-DEFENSE-CLIMATE-ADAPTATION-PLAN-2.PDF>

Wagner, K. (2021). Article : Climate Change and Shipping. Récupéré de : <https://www.maritime-executive.com/features/climate-change-and-shipping>

Wang, D., Li, D., Gong, Y., Wang, R., Wang, J. et Huang, X. (2019). Development situation and future demand for the ports along the Northern Sea Route. *Research in Transportation Business & Management*, vol. 33, 100465.

Washington State Department of Transportation (WSDOT). (2011). Climate Impacts Vulnerability Assessment. Récupéré de : <https://wsdot.wa.gov/sites/default/files/2021-10/Climate-Impact-AssessmentforFHWA-12-2011.pdf>

Whitney, C. K., Frid, A., Edgar, B. K., Walkus, J., Siwallace, P., Siwallace, I. L., Ban, N. C. (2020). "Like the plains people losing the buffalo": Perceptions of climate change impacts, fisheries management, and adaptation actions by Indigenous peoples in coastal British Columbia, Canada. *Ecology and Society*, vol. 25, n° 4, p. 33.