

Corridor maritime vert : Un agenda de décarbonation du transport maritime et portuaire du système Saint-Laurent

Projet de recherche : PLAINE-2023PS01

Stratégie de développement d'un corridor maritime vert du système Saint- Laurent—Saguenay

**Claude Comtois
Brian Slack**

Février 2026

Bureau de Montréal

Université de Montréal
C.P. 6128, succ. Centre-Ville
Montréal (Québec) H3C 3J7
Tél : 1-514-343-7575
Télécopie : 1-514-343-7121

Bureau de Québec

Université Laval,
2325, rue de la Terrasse
Pavillon Palasis-Prince, local 2415
Québec (Québec) G1V 0A6
Tél : 1-418-656-2073
Télécopie : 1-418-656-2624

Corridor maritime vert : Un agenda de décarbonation du transport maritime et portuaire du système Saint-Laurent

Stratégie de développement d'un corridor maritime vert du système Saint-Laurent—Saguenay

Claude Comtois* et Brian Slack

Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport (CIRRELT)

Résumé. En 2023, le gouvernement du Canada a lancé un programme de mise en œuvre de corridors maritimes verts sur la Côte Pacifique, la Côte Atlantique et le réseau Saint-Laurent—Grands Lacs. Les corridors maritimes verts sont considérés essentiels pour atteindre les objectifs de décarbonation de l'OMI. Le présent rapport porte sur la stratégie de développement d'un corridor maritime vert Saint-Laurent—Saguenay. Le texte débute par une définition du concept de corridor maritime vert. Cela est suivi d'une analyse de projets de corridors maritimes verts à l'international et au Canada. Il s'ensuit une présentation de diverses options d'actions à prendre en vue du développement d'un corridor maritime vert. Le texte met ensuite l'accent sur une évaluation et une hiérarchisation de ces options par les membres de l'industrie portuaire qui ont participé à un atelier de réflexion sur celles-ci. Enfin, il soumet des recommandations de stratégies d'actions en vue de la création d'un corridor maritime vert du système Saint-Laurent—Saguenay visant à optimiser la décarbonation des activités maritimes et portuaires qui s'y déroulent.

Mots-clés : Corridor maritime vert, port, transport maritime, décarbonation, Saint-Laurent, Saguenay

Cette recherche a été réalisée dans le cadre des activités du programme PLAINE du Réseau Québec Maritime (RQM).

La présente étude a été réalisée en étroite collaboration avec le Centre d'expertise en logistique portuaire, notamment l'organisation de l'atelier collaboratif, la relecture d'un rapport initial et l'apport de suggestions constructives à son contenu.

Les auteurs tiennent à remercier Lucie Dick pour son aide rédactionnelle et ses commentaires éclairés.

Les résultats et opinions contenus dans cette publication ne reflètent pas nécessairement la position du CIRRELT et n'engagent pas sa responsabilité.

* Auteur correspondant: claud.comtois@umontreal.ca

TABLE DES MATIÈRES

CONTENU	PAGE
RÉSUMÉ	ii
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	vii
1. INTRODUCTION	1
1.1. Cadre stratégique	1
1.2. Mise en contexte	2
1.3. Mandat	2
1.4. Consultations	2
1.5. Réalisations	3
1.6. Principaux constats	4
1.6.1. Enjeux réglementaires	4
1.6.2. Empreinte énergétique et carbone de l'industrie	4
1.6.3. Défis de décarbonation des ports	4
1.6.4. Défis de décarbonation des navires	5
2. CORRIDOR MARITIME VERT	6
2.1. Introduction	6
2.2. Méthodologie	6
2.3. Essor des corridors maritimes verts	7
2.3.1. Corridor maritime vert côtier du Pacifique Nord-Est	7
2.3.2. Corridor maritime vert nord-sud de minerai de fer entre l'Australie et l'Asie de l'Est	8
2.3.3. Corridors maritimes verts de transport de conteneurs	8
2.3.4. L'Alliance de la Soie	9
2.3.5. Corridor maritime vert du <i>Dialogue quadrilatéral pour la sécurité</i> (QUAD)	10
2.3.6. Corridors maritimes verts européens	10
2.4. Leadership et partenariat	11
2.5. Programme de corridors maritimes verts au Canada	14
2.6. Initiatives des administrations portuaires au Québec	14
2.6.1. Montréal et Anvers	15
2.6.2. Montréal, St-John's, Oceanex et QSL	15
2.6.3. Montréal, Trois-Rivières, Québec, Saguenay et Sept-Îles	15
2.6.4. North Sea Port, Montréal, Trois-Rivières, Québec, Saguenay et Sept-Îles	15
2.7. Les ports comme éléments clés des corridors maritimes verts	16

CONTENU	PAGE
3. OPTIONS POUR UN CORRIDOR MARITIME ET PORTUAIRE DÉCARBONÉ DU SYSTÈME SAINT-LAURENT—SAGUENAY	17
3.1. Typologie d'options	17
3.1.1. Option 1. Créer des pôles d'avitaillement en carburant de remplacement le long du système Saint-Laurent—Saguenay	18
3.1.2. Option 2. Exécuter des travaux de dragage de capitalisation du chenal navigable	19
3.1.3. Option 3. Utiliser une plateforme commune d'intelligence artificielle de mesure des émissions de gaz à effet de serre (GES) des navires	21
3.1.4. Option 4. Construire un jumeau numérique du système Saint-Laurent—Saguenay	22
3.1.5. Option 5. Utiliser les zones industrialo-portuaires à des fins de stockage et de valorisation du carbone	24
3.1.6. Option 6. Sécuriser une hausse des approvisionnements électriques d'Hydro-Québec à l'horizon 2040	25
3.1.7. Option 7. Mutualiser les achats d'équipements portuaires carboneutres ..	27
3.1.8. Option 8. Élaborer un régime de placement d'obligations portuaires vertes.....	28
3.1.9. Option 9. Améliorer le réseau d'aires protégées portuaires du Saint-Laurent et du Saguenay	29
3.1.10. Option 10. Permettre aux ports de produire ou de stocker de l'énergie ..	31
4. PRIORISATION PAR LE SECTEUR PORTUAIRE	33
4.1. Atelier collaboratif.....	33
4.2. Déroulement.....	33
4.3. Compte rendu.....	35
4.3.1. Contenu	35
4.3.2. Synthèse	38
4.3.3. Actions prioritaires.....	40
5. STRATÉGIES D'ACTIONS POUR UN CORRIDOR MARITIME VERT DU SYSTÈME SAINT-LAURENT—SAGUENAY	41
5.1. Sécuriser l'approvisionnement électrique	41
5.1.1. Constat.....	41
5.1.1.1. Approvisionnement.....	42
5.1.1.2. Coût de conversion.....	42
5.1.1.3. Électrification des opérations.....	43
5.1.2. Recommandations	44
5.2. Développer une capacité portuaire de stocker de l'énergie.....	45
5.2.1. Constat.....	45
5.2.2. Recommandations	46

CONTENU	PAGE
5.3. Créer des pôles d'avitaillement en carburant de remplacement.....	47
5.3.1. Constat.....	47
5.3.2. Recommandations	49
5.4. Utiliser une plateforme commune d'intelligence artificielle	51
5.4.1. Constat.....	51
5.4.2. Recommandations	51
6. CONCLUSION.....	52
ANNEXE 1. Corridors maritimes verts à l'international	
A. Corridors maritimes verts Asie-Pacifique et Trans-Suez.....	54
B. Corridors maritimes verts Grands Lacs et Saint-Laurent	55
C. Corridors maritimes verts États-Unis Atlantique	56
D. Corridors maritimes verts Afrique méridionale	57
E. Corridors maritimes verts Amérique méridionale	58
F. Corridors maritimes verts Mer des Caraïbes.....	59
G. Corridors maritimes verts Transpacifique	60
H. Corridors maritimes verts Europe de l'Ouest	61
I. Corridors maritimes verts Europe du Nord-Est.....	62
J. Corridors maritimes verts Méditerranée occidentale	63
ANNEXE 2. Participants à l'atelier collaboratif.....	64
RÉFÉRENCES	66

CONTENU

PAGE

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Options pour un corridor maritime et portuaire vert Saint-Laurent—Saguenay	17
Tableau 2. Coefficient de pondération des paramètres d'évaluation des options proposées	39
Tableau 3. Options prioritaires pour un corridor maritime et portuaire vert Saint-Laurent—Saguenay.....	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Leaders des 62 initiatives de corridors maritimes verts, 2024.....	12
Figure 2. Parties prenantes des corridors maritimes verts, 2024	14
Figure 3. H2 powered North Sea Crossing - Corridor maritime vert entre l'Allemagne, les Pays-Bas, la Belgique, le Royaume-Uni et la Norvège, 2024	19
Figure 4. Dragage de l'estuaire de l'Elbe, Allemagne 2018	20
Figure 5. Intelligence artificielle appliquée à la Plateforme Oceania de GSTS, 2025	22
Figure 6. Jumeau numérique Advanced Port Intelligence and Coordination Assistant 2020	23
Figure 7. Évolution des capacités de stockage du CO ₂ à l'international, 2020-2030	25
Figure 8. Long Beach Container Terminal, Inc. (LBCT) et sous-station SCE, 2021	26
Figure 9. Mutualisation des achats européens en réponse à des crises, 2020-2024.	28
Figure 10. Affectation par catégorie des obligations vertes du Canada, 2023-2024.....	29
Figure 11. Aires protégées du fleuve Saint-Laurent et de la rivière Saguenay, 2024	30
Figure 12. Système batteries de stockage d'énergie, Port de Göteborg, 2022	32

1. INTRODUCTION

1.1. Cadre stratégique

Le développement du transport maritime est très étroitement lié à la croissance économique. Le transport maritime est au cœur du système de distribution de fret à l'échelle planétaire en raison de sa capacité inégalée de massifier les flux sur longue distance permettant d'abaisser les coûts par unité transportée. Cette mondialisation de l'industrie se traduit par un ensemble de routes qui maillent les océans. Environ 80 % du volume de marchandises échangé dans le monde passe par le transport maritime et 70 % de la valeur du commerce mondial transite par navire.

Au Québec, plus de 75 % des industries se situent dans les régions qui bordent le Saint-Laurent—Saguenay. Cette position très favorable permet donc d'utiliser le fleuve pour les échanges commerciaux intercontinentaux et continentaux. Le tonnage total manutentionné annuellement dans les ports du Québec oscille entre 150 et 157 millions de tonnes depuis 2019.

Les chaînes d'approvisionnement du transport maritime sur le fleuve Saint-Laurent et la rivière Saguenay sont fermement ancrées au commerce international. Le commerce intercontinental compte pour plus de 50 % des flux maritimes des ports laurentiens. L'économie du Québec est tributaire du commerce extérieur. Sa prospérité dépend fondamentalement de sa capacité de réussir sur les marchés internationaux.

- Sur le plan intercontinental, les marchés sont captifs du transport maritime en raison des changements structuraux dans l'économie mondiale qui stimulent les activités économiques et le commerce maritime océanique.
- La part du marché continental du système Saint-Laurent—Saguenay est d'environ 15 %. Ce commerce s'effectue avec les ports situés sur la Côte Atlantique et la Côte du Golfe du Mexique aux États-Unis. Les ports du Saint-Laurent—Saguenay bénéficient également de l'intégration des marchés économiques de l'Amérique Centrale et du Sud.
- Le commerce régional, soit entre les ports du Saint-Laurent, de la rivière Saguenay et des Grands Lacs, compte pour le tiers du trafic total des ports du Saint-Laurent—Saguenay. Ce trafic comprend essentiellement les expéditions de vrac sec (minerai de fer et céréales) entre les ports du Québec et ceux des Grands Lacs aux États-Unis (IMAR, 2024).

Bien que le transport maritime soit le mode de transport le plus écologique qui existe par rapport au transport par camion, par train ou par avion, il est attendu que les impacts de l'industrie maritime sur l'environnement devraient augmenter en raison de la croissance des activités portuaires et de la navigation maritime commerciale. Au Québec, les organisations gouvernementales, les parties prenantes de l'industrie, la communauté scientifique et le milieu communautaire se mobilisent pour rendre les opérations maritimes et portuaires durables. Le

programme PLAINE du Réseau Québec maritime vise à atténuer les impacts de l'industrie maritime sur l'ensemble des écosystèmes (RQM, 2023). Le programme a été développé dans le cadre de la stratégie maritime Avantage Saint-Laurent du gouvernement du Québec visant à soutenir le développement durable du secteur maritime du Québec (MTQ, 2011).

1.2. Mise en contexte

L'industrie maritime et portuaire mondiale est confrontée à des défis liés à la décarbonation. Parallèlement à ses efforts spécifiques pour atteindre une transition énergétique mondiale pour l'industrie maritime, le concept de corridors maritimes verts a été proposé par un large éventail d'organismes internationaux (Organisation maritime internationale (OMI), Global Maritime Forum (GMF), des gouvernements fédéral (Cadre canadien sur les corridors maritimes verts), provincial (Groupe de travail sur la décarbonation de l'industrie maritime) et états-unis (Green Shipping Corridors Network) ainsi que par un ensemble diversifié d'administrations portuaires et de transporteurs maritimes.

Le concept de corridor maritime vert inclut non seulement l'objectif de réduire et d'éliminer les émissions nettes de GES par l'industrie maritime et portuaire, mais vise aussi les adaptations qui se déroulent dans les zones géographiques le long du corridor qui, à leur tour, influent sur la diffusion des innovations à des régions toujours plus vastes et à des acteurs toujours plus nombreux. En outre, le corridor maritime vert compte des conditions environnementales, sécuritaires et technologiques susceptibles d'améliorer son influence et son acceptabilité du point de vue politique et social.

1.3. Mandat

Dans le but d'établir des recommandations d'actions à prendre par l'industrie maritime et portuaire du système Saint-Laurent—Saguenay afin d'atteindre la carboneutralité, le Réseau Québec maritime (RQM) a mandaté le CIRRELT pour entreprendre un projet de recherche portant sur les conditions requises pour la mise en place d'un corridor maritime vert par les parties prenantes comme agenda de décarbonation de l'industrie maritime et portuaire du système Saint-Laurent—Saguenay. Cette portion du mandat s'est réalisée en partenariat avec le Centre d'expertise en logistique portuaire.

1.4. Consultations

Les sources d'information associées à la mise en œuvre d'un corridor maritime vert Saint-Laurent—Saguenay permettant de documenter les options de décarbonation comprennent :

- Des entretiens et observations au cours de visites sur le terrain aux ports de Montréal, Québec, Trois-Rivières, Saguenay, Sept-Îles et à la Société du parc industriel et portuaire de Bécancour (SPIPB);
- Des communications et échanges de renseignements avec la direction de la Société portuaire du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie (SPBSG) (Gaspé, Gros-Cacouna, Matane et Rimouski) et du port de Baie-Comeau;
- Des entrevues en profondeur auprès d'armateurs (Fednav, Desgagnés et Canada Steamship Lines);
- Des consultations auprès de producteurs de combustibles fossiles et de carburants de remplacement (Valero, Kildair, Enerkem, Greenfield Global, Teal Chimie et Énergie, Hydrogène Québec et APL Énergies).

1.5. Réalisations

Le projet, qui est mené en collaboration avec les parties prenantes de l'industrie maritime et portuaire du système Saint-Laurent—Saguenay, a déjà produit plusieurs analyses.

- Un rapport synthèse sur les mesures d'adaptation sélective de l'environnement réglementaire et les habiletés institutionnelles à répondre aux objectifs de la transition énergétique de l'industrie maritime et portuaire du système Saint-Laurent—Saguenay [Renaud-Moyneur, S., Comtois, C. & Slack, B. (2024) *Dimension normative de la décarbonation de l'industrie maritime et portuaire sur le système Saint-Laurent*, 49 p.] ;
- Un rapport scientifique sur la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre des ports et des navires en circulation sur le système Saint-Laurent et la rivière Saguenay [Comtois, C., Cloutier, J., Novikov, S., Renaud-Moyneur, S. & Slack, B. (2024) *Consommation énergétique et émissions de GES des ports du Saint-Laurent*, Publication No. CIRRELT 2024-37, Montréal: Université de Montréal, 31 p.] ;
- Deux études comparatives des technologies vertes et carburants de remplacement visant à améliorer la prise de décisions pour l'industrie maritime et portuaire du Québec [Slack, B. Nguyen, U.P, Novikov, S. & Comtois, C. (2024) *Décarbonation du transport maritime : examen systématique des carburants de remplacement et des technologies vertes*, Publication No. CIRRELT 2024-13, Montréal: Université de Montréal, 54 p.]; [Slack, B. Nguyen, U.P, Novikov, S. & Comtois, C. (2025) *Étude comparative des carburants de remplacement pour le transport maritime sur le système Saint-Laurent*, Publication No. CIRRELT 2025-20, Montréal: Université de Montréal, 22 p.].

1.6. Principaux constats

Les constats préliminaires de la recherche incluant les observations et les représentations de l'industrie maritime et portuaire mettent en lumière quelques éléments importants :

1.6.1. Enjeux réglementaires

- Sur le plan réglementaire, le Canada se conforme aux règles établies par l'OMI mais n'impose aucune action à quiconque pour la décarbonation des activités maritimes ou portuaires;
- Les réglementations sur les émissions de GES de l'OMI changent au fil du temps et vont probablement encore changer. Par ailleurs des régions et des États et notamment l'Union européenne introduisent des réglementations particulières qui présentent des défis pour la navigation maritime internationale;
- Les organisations portuaires, exploitants de terminaux et transporteurs maritimes au Canada, poursuivent un processus continu d'interprétation et de médiation sur la mise en œuvre des normes internationales applicables;
- Certaines actions, bien qu'elles ne soient pas en totale conformité avec les normes d'organismes internationaux, sont conformes au consensus normatif de la localité où évoluent les parties prenantes à la mise en œuvre de ces actions;
- L'adaptation sélective à la capacité institutionnelle des parties prenantes de l'industrie contribue à produire un large éventail de réponses à la réglementation sur la décarbonation.

1.6.2. Empreinte énergétique et carbone de l'industrie

- Les activités du transport maritime et portuaire du système Saint-Laurent—Saguenay consomment approximativement 13 000 térajoules d'énergie pour une empreinte carbone estimée à 800 000 tonnes d'éq. CO₂/année;
- Les navires qui circulent sur le système Saint-Laurent—Saguenay comptent pour 61 % de la demande énergétique et 75 % des émissions de GES des activités du transport maritime et des ports du Québec.

1.6.3. Défis de décarbonation des ports

- Le secteur portuaire devrait connaître un accroissement de la demande énergétique en raison d'importants plans de développement d'infrastructures durant la prochaine décennie;

- L'alimentation en énergie électrique est un facteur critique pour atteindre l'objectif de zéro émission nette de GES d'ici 2050;
- Il y a peu de possibilités pour les ports du système Saint-Laurent—Saguenay de générer leur propre énergie.

1.6.4. Défis de décarbonation des navires

- À ce jour, la consommation de combustibles fossiles est un facteur déterminant de la demande énergétique d'un navire;
- Les carburants sans ou à faible teneur en carbone représentent une option essentielle pour l'industrie maritime de réduire les émissions de GES, mais il n'y a pas de consensus parmi les armateurs sur le choix de carburant de remplacement, car ces carburants ont tendance à être plus onéreux et les prix futurs de ces carburants restent incertains;
- L'offre de carburants de remplacement sur le système Saint-Laurent—Saguenay est suffisante pour respecter la réglementation en vigueur, mais il existe des écarts de prix importants entre le Québec et l'Ontario en raison des différents niveaux de taxation qui désavantagent les avitailleurs de carburants marins au Québec;
- Les réglementations détaillées sur la manutention et le stockage de carburants de remplacement restent à être formulées par les sociétés de classification et l'OMI, limitant par conséquent le pouvoir décisionnel des armateurs et des administrations portuaires qui, pour un certain temps, seront forcés de s'adapter à une période transitoire où une variété de sources d'énergie et de carburants seront requis ou offerts;
- L'électrification à quai des navires est confrontée à des enjeux majeurs sur le plan du coût d'installation du service d'électricité au quai (10 millions \$) et celui à bord des navires (1-2 millions \$);
- Le besoin de l'électrification à quai sera influencé par la croissance de l'utilisation de carburants verts par les navires, l'avènement des navires à motorisation hybride et l'électrification à quai par des barges équipées de batteries ou de piles à combustibles;
- Une part importante des décisions de décarbonation du transport maritime sur le système Saint-Laurent—Saguenay est prise et exécutée ailleurs qu'au Québec. Environ 64 % des mouvements maritimes sur le système Saint-Laurent—Saguenay sont attribuables à des navires étrangers. Les processus de décarbonation, l'adoption d'un type de carburant et le choix d'un port d'avitaillement sont des décisions d'origine étrangère qui appartiennent en propre aux maisons mères/groupes de transport maritime.

2. CORRIDOR MARITIME VERT

2.1. Introduction

Un corridor maritime vert est un concept qui implique des connexions maritimes entre certains ports qui s'engagent à poursuivre la décarbonation de leurs opérations et de leurs activités.

Un corridor maritime vert représente une approche de bas en haut à la décarbonation du transport maritime et portuaire où les accords de réduction des émissions de GES sont acceptés sur une base volontaire entre les parties prenantes sur des routes maritimes précises. En fort contraste, les réglementations du sommet vers la base mises en œuvre par l'OMI cherchent à assurer la décarbonation du transport maritime dans son ensemble. Il est suggéré que les corridors maritimes verts contribueront à répandre les expériences de pratiques écologiques et à faciliter leur généralisation à tous les espaces navigables.

Le concept a connu une impulsion à la suite de la Déclaration de Clydebank, une des résolutions de la Conférence des Parties (COP26) de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) tenue à Glasgow en novembre 2021. Les signataires de la Déclaration se sont engagés à créer des corridors maritimes internationaux à émissions nulles de carbone entre deux ports ou plus. Le Canada était l'un des 21 signataires de la Déclaration.

La simplicité du concept constitue à la fois une force et une faiblesse. Une bonne indication de la force du concept est qu'en vertu de la Déclaration originale, il avait été prévu que six corridors maritimes verts seraient établis en 2025. En fait, en 2025, le nombre d'ententes visant à établir des corridors maritimes verts est dix fois plus élevé, ce qui révèle un intérêt de l'industrie maritime pour devenir plus écologique. En même temps, l'incertitude prévaut dans l'industrie sur la manière d'établir les corridors maritimes verts, notamment en termes de coopération entre les constituants de l'industrie concernés.

Par ailleurs, les objectifs précis de certains des corridors proposés restent à définir et peu de données existent actuellement sur les réductions obtenues dans les corridors existants.

2.2. Méthodologie

Ce rapport présente une description des corridors maritimes verts qui sont en voie de développement dans le monde. Ceci fournit une indication de leur diversité géographique, de leurs objectifs et de la nature des parties prenantes impliquées. Une attention particulière est apportée aux rôles des parties prenantes et à ceux qui exercent un leadership. Les recherches montrent que de tous les acteurs, ce sont les administrations portuaires qui jouent un rôle déterminant dans la

formation, le développement et les opérations des corridors maritimes verts. Cette observation a conduit à un examen des enjeux et des possibilités qui sont réalisables pour les administrations portuaires du système Saint-Laurent—Saguenay de participer au développement de corridors maritimes verts. Un atelier qui a regroupé les membres de l'industrie portuaire du Québec a été organisé en partenariat avec le Centre d'expertise en logistique portuaire et ses résultats sont employés pour identifier les points les plus pertinents pour les administrations portuaires dans l'établissement futur de corridors maritimes verts dans le système Saint-Laurent—Saguenay.

2.3. Essor des corridors maritimes verts

Dans son rapport de novembre 2024, Global Maritime Forum (GMF) a enregistré 62 initiatives de corridor maritime vert à diverses étapes de développement (Annexe 1). Ces initiatives couvrent toutes les régions du monde, presque tous les segments du transport océanique. Un échantillon de cette liste a été analysé pour illustrer : 1) la participation des parties prenantes; 2) les objectifs de décarbonation; et 3) les mesures de mise en œuvre concrètes.

Parmi ces 62 initiatives, une attention particulière est portée sur celles dont le contexte et les caractéristiques sont le plus à même de servir d'inspiration à une initiative similaire dans le système Saint-Laurent—Saguenay.

2.3.1. Corridor maritime vert côtier du Pacifique Nord-Est

Ce corridor est un partenariat public-privé qui vise à décarboner la route maritime entre l'État de Washington, la province de Colombie-Britannique et l'État de l'Alaska en ciblant initialement sur l'industrie des croisières (Kalosh, 2023). Les partenaires comprennent les lignes de croisière Carnival, Royal Caribbean Group et Norwegian Cruise Line Holdings Ltd., les administrations portuaires de Seattle, Vancouver, Prince Rupert et Juneau, les communautés de l'Alaska, des organisations industriels du secteur des croisières et Global Maritime Forum. Les objectifs consistent à moderniser la flotte des navires de croisière et à adopter des mesures techniques et opérationnelles qui permettent de minimiser les impacts négatifs de leurs activités sur l'environnement (Dolatabadi et al, 2025).

Les stratégies de mise en œuvre du corridor maritime vert côtier du Pacifique Nord-Est peuvent se résumer comme suit :

- Identifier les sources d'approvisionnement en carburant de remplacement (biocarburants, hydrogène, ammoniac et méthanol);
- Combler les déficits d'infrastructures portuaires pour soutenir l'avitaillement des navires en carburant durable;
- Accroître l'approvisionnement et le stockage d'énergie propre dans les ports pour répondre aux besoins d'électrification des navires et des équipements portuaires;
- Moderniser la flotte de navires;

- Préserver la nature sauvage des zones côtières et restaurer les habitats marins.

2.3.2. Corridor maritime vert nord-sud de minerai de fer entre l'Australie et l'Asie de l'Est

Ce corridor est le résultat d'une collaboration entre des producteurs miniers, des transporteurs maritimes et des complexes sidérurgiques visant à décarboner la chaîne d'approvisionnement en minerai de fer (GMF, 2023). Les firmes BHP, Rio Tinto et Forescue Metals Group du secteur minier australien se sont engagées à une réduction nette de leurs émissions de GES. Oldendorff Carriers et Star Bulk cherchent à déployer une flotte de navires carboneutres. Les sidérurgistes China Baowu Steel Group Corporation (Chine), Nippon Steel Corporation (Japon), Posco Holdings (Corée) et China Steel Corporation (Taiwan) explorent les options pour produire de l'acier vert. Les objectifs consistent à : 1) promouvoir les investissements à grande échelle dans la production et l'exportation de carburants de remplacement; 2) entreprendre d'importants projets d'infrastructure pour le stockage et la livraison de combustibles verts; et 3) soutenir le carnet de commandes d'une nouvelle flotte de vraquiers.

Les plans pour concrétiser l'initiative de corridor maritime vert nord-sud de minerai de fer entre l'Australie et l'Asie de l'Est comportent plusieurs objectifs :

- Augmenter la capacité de production d'hydrogène et d'ammoniac des compagnies énergétiques australiennes;
- Développer de nouvelles installations portuaires d'importation, d'exportation et de stockage d'énergie pour soutenir la production d'électricité et les activités d'avitaillement;
- Offrir des certitudes économiques rassurantes aux propriétaires de navires sur la disponibilité et le coût des carburants de remplacement.

2.3.3. Corridors maritimes verts de transport de conteneurs

Ces corridors comprennent plusieurs liaisons transpacifique, transsuez et transatlantique d'expéditions de marchandises. Ces liaisons offrent des centaines de services hebdomadaires directs et combinés à partir de plusieurs hubs maritimes : Los Angeles, Long Beach, Shanghai, Guangzhou, Singapour et Rotterdam (MPAS & PRA, 2022; 2024; MPAS, 2023; Port of Los Angeles, 2023; SMTCL, LA & LB, 2023). Ces initiatives de corridors maritimes verts reposent pour l'essentiel sur un leadership portuaire pour relever les défis de la transition énergétique de l'industrie. Leurs objectifs consistent à : 1) modifier le portefeuille des flux énergétiques; 2) mettre en œuvre le concept de port intelligent; 3) standardiser les technologies portuaires; et 4) préserver l'équilibre des écosystèmes.

Leur stratégie se compose de plusieurs mesures :

- Souscrire des investissements dans les sources d'approvisionnement énergétique écologique;
- Comblent les déficits d'infrastructure portuaires d'avitaillement en carburant de remplacement;
- Électrifier les équipements portuaires et offrir le branchement à quai;
- Appliquer l'intelligence artificielle, les jumeaux numériques et l'internet des objets dans les pratiques des parties prenantes ainsi que des utilisateurs des corridors verts;
- Créer un espace virtuel d'échanges d'information entre les parties prenantes des corridors à l'aide de plateformes numériques dans le but d'optimiser l'utilisation des carburants remplacement, de surveiller les émissions de GES, de gérer la logistique et d'attirer des investissements verts;
- Aménager des espaces verts et des zones tampons à proximité des littoraux qui longent les corridors maritimes verts;
- Réduire les droits portuaires payables par les navires qui génèrent des émissions plus faibles de GES.

2.3.4. L'Alliance de la Soie

L'Alliance est un partenariat public-privé de la chaîne de valeur du transport maritime au départ de ou via Singapour. Les partenaires incluent PSA International une société holding de Singapour, détenue par Temasek, qui possède et exploite des terminaux portuaires à travers le monde, l'autorité maritime de Singapour (MPAS), les armateurs MSC Ship management Ltd., Pacific International Lines (Pte) Ltd (PIL), Wan Hai Lines, X-Press Feeders et Yang Ming Marine Transport Corp; le chantier naval Seatrium; le fournisseur de services logistiques en carburant marin Singfar; le fabricant de moteurs Wärtsilä; l'exploitant de navires Wilhelmsen Ship Management; la Banque asiatique de développement et l'institution financière internationale de bancassurance d'origine néerlandaise ING. Les membres de l'Alliance de la Soie ont pour objectif de modifier la nature du carburant requis par une flotte de 359 navires porte-conteneurs qui opèrent et s'avitailent à partir de Singapour et qui assurent les liaisons aller-retour avec les ports des îles du Pacifique, de l'Asie Nord-Est, de l'Asie du Sud-Est et de la Côte Est de l'Afrique (Lloyd's Register, 2023a; 2023b).

Le plan de développement du corridor maritime vert de l'Alliance de la Soie s'articule autour de six stratégies :

- Consolider la fonction du port de Singapour comme leader mondial en matière d'avitaillement de navires;
- Garantir la sécurité d'approvisionnement en carburants de remplacement des navires en escale à Singapour;
- Accélérer le développement de moteurs bicom bustibles;
- Intégrer les activités de dragage de l'expansion du port de Singapour pour les besoins du corridor maritime vert;

- Jumeler les efforts de décarbonation et de numérisation portuaire;
- Élaborer des instruments financiers permettant de mobiliser des capitaux publics et privés pour supporter les mutations technologiques et le développement d'infrastructures.

2.3.5. Corridor maritime vert du *Dialogue quadrilatéral pour la sécurité* (QUAD)

Ce corridor est fondé sur un partenariat de sécurité maritime entre les dirigeants de ses membres, soient les États-Unis, le Japon, l'Inde et l'Australie. Le QUAD s'est donné parmi ses objectifs ceux de : 1) relever les défis des changements climatiques; 2) accroître l'utilisation des technologies émergentes; et 3) renforcer la protection des infrastructures (Mohan & Govella, 2022). Suite à cette initiative, les ports de Los Angeles, Mumbai, Sydney et Yokohama ont été mandatés pour décarboner la chaîne de valeur du transport maritime avec l'établissement de deux ou trois corridors maritimes zéro émission nette dans la région Indopacifique d'ici 2030.

Plusieurs mesures significatives du corridor maritime vert du *Dialogue quadrilatéral pour la sécurité* (QUAD) sont prévues :

- Développer une chaîne d'approvisionnement en source d'énergie propre, notamment l'hydrogène vert;
- Déployer des infrastructures portuaires durables;
- Intégrer des solutions robotisées et automatisées soutenues par l'intelligence artificielle dans les activités portuaires;
- Développer un réseau à grande échelle de hubs d'avitaillement en carburant de remplacement;
- Regrouper des données satellitaires en temps réel sur les routes maritimes permettant de répondre aux défis de la circulation maritime;
- Réduire les risques des aléas naturels extrêmes par les connexions numériques et l'échange d'informations climatiques;
- Renforcer la résilience de l'environnement numérique des chaînes logistiques;
- Partager les meilleures pratiques de protection des écosystèmes marins côtiers;
- Établir un réseau commun de promotion des investissements.

2.3.6. Corridors maritimes verts européens

L'Union européenne impose des tarifs d'utilisation des voies maritimes en Europe et des ports qui s'y trouvent, dont la grille est subordonnée aux émissions de GES des utilisateurs. De plus elle a imposé une adoption progressive de carburant renouvelable et bas carbone pour les navires ainsi que l'utilisation de l'alimentation électrique à quai dans les ports à partir de 2030 (European Commission, 2025). Parmi les actions des projets de corridors maritimes verts élaborés en partenariat public-privé, citons :

- Le corridor maritime vert Clean Tyne entre le Royaume-Uni et les Pays-Bas mise sur l'électrification des équipements portuaires, l'utilisation de batteries sur les services de traversiers, le développement d'un hub en carburant de remplacement et la numérisation des infrastructures portuaires (Port of Tyne, 2023);
- Le corridor maritime vert Douvre-Calais-Dunkerque compte sur les biocarburants et l'électricité pour remplacer les carburants fossiles (Port of Dover, 2022);
- Le corridor maritime vert Göteborg-Gand a pour objectif de développer de nouvelles infrastructures portuaires pour le captage, l'utilisation et le stockage du carbone (North Sea Port, 2022);
- Le réseau européen de corridor maritime vert se donne comme but de développer un réseau d'infrastructures portuaires de stockage d'énergie verte (Maersk McKinney Møller Center, 2022).

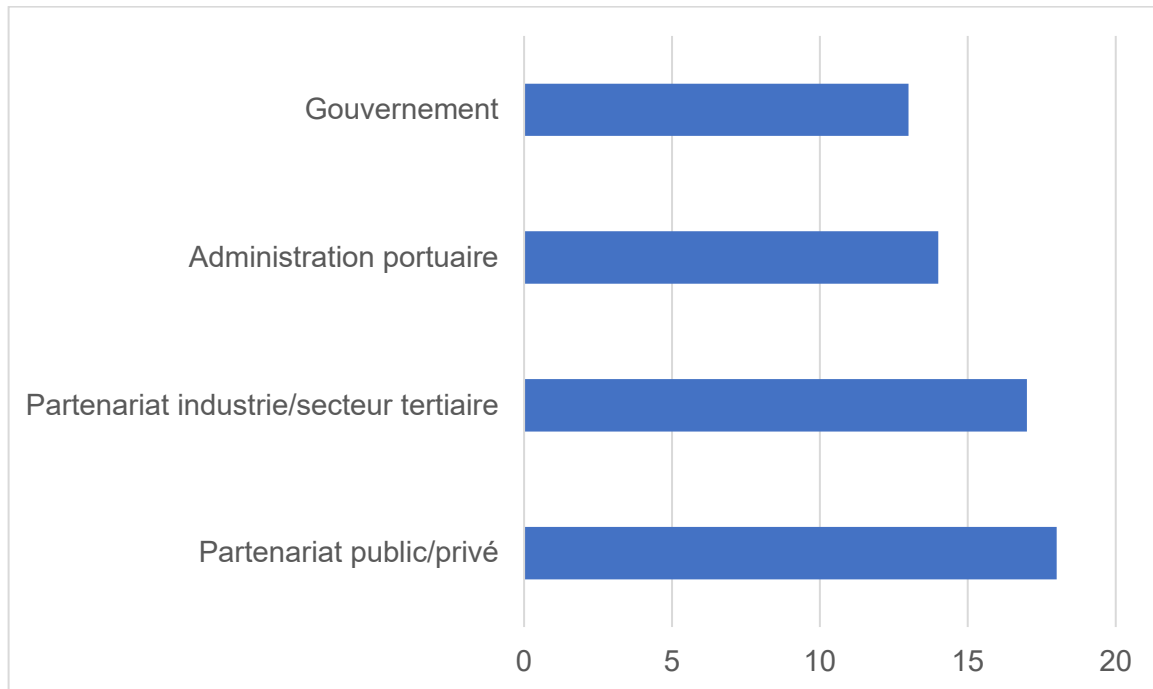
2.4. Leadership et partenariat

Une caractéristique des 62 corridors maritimes verts mentionnés précédemment réside dans le fait que ces projets sont tributaires de partenariats entre plusieurs acteurs de l'industrie sous le leadership d'un organisme ou d'un groupe de travail chargé de procéder à une analyse initiale des objectifs de décarbonation. Les résultats de l'analyse permettent de développer un plan par étapes pour atteindre les cibles de réduction des émissions de GES et de proposer des actions concrètes aux parties prenantes. Le leader surveille les progrès accomplis pour l'atteinte des objectifs de réduction des émissions de GES et évalue de façon continue les stratégies de mise en œuvre du plan dans un contexte de changement de la réglementation, de la demande des propriétaires de cargaison, des alternatives viables aux combustibles fossiles, de la disponibilité des technologies et de l'accès à des sources de financement.

L'examen des 62 initiatives de corridors maritimes verts permet d'identifier les formes de leadership qui ont été adoptées pour atteindre les objectifs de décarbonation (Figure 1).

L'analyse des initiatives de corridors maritimes verts révèle que le leadership implique un partage équilibré des responsabilités dans des accords-cadres entre le secteur public et le secteur privé (18 initiatives), les secteurs industriel et tertiaire (17), les administrations portuaires (14) et les gouvernements (13), reflet d'une approche collaborative.

Figure 1. Leaders des 62 initiatives de corridors maritimes verts, 2024



Source : Global Maritime Forum, 2024

Le leadership représente certes une exigence essentielle à l'établissement et aux opérations d'un corridor maritime vert, mais il est aussi évident que le bon fonctionnement et la pérennité d'un corridor maritime vert reposent sur une collaboration étroite entre les parties prenantes de l'industrie en général. Notamment, celles-ci adoptent les cibles qu'elles se proposent d'atteindre en matière de décarbonation, ainsi que les mesures techniques, économiques et réglementaires, relatives aux opérations des navires et des ports concernés, qui seront requises afin de les atteindre.

- Les expéditeurs de marchandises réduisent les émissions de GES de leurs chaînes d'approvisionnement, en incluant, dans les contrats de transport de leurs marchandises, l'obligation pour les transporteurs maritimes de réduire leurs émissions sous peine de réduction du paiement convenu.
- Les armateurs s'engagent à un changement radical de la composition de leur flotte, ce qui implique d'acquérir des navires avec de nouvelles technologies, qui fonctionnent avec des carburants de remplacement.
- Les exploitants de terminaux améliorent l'efficacité énergétique de leur portefeuille de terminaux le long des corridors maritimes verts par l'électrification de leurs équipements et l'adoption de carburants de remplacement.

- Les administrations portuaires exercent leurs pouvoirs sur les espaces et infrastructures du port en favorisant la recherche d'économie en matière d'émissions de GES et plus particulièrement, en implantant un système de gestion environnementale de leurs actifs et de leurs activités, et en encourageant la mise en place de partenariats entre les autres parties prenantes du corridor vert.

La Figure 2 indique que les initiatives de corridors maritimes verts sont dominées par un taux élevé de participation des administrations portuaires (55) et des transporteurs maritimes (35).

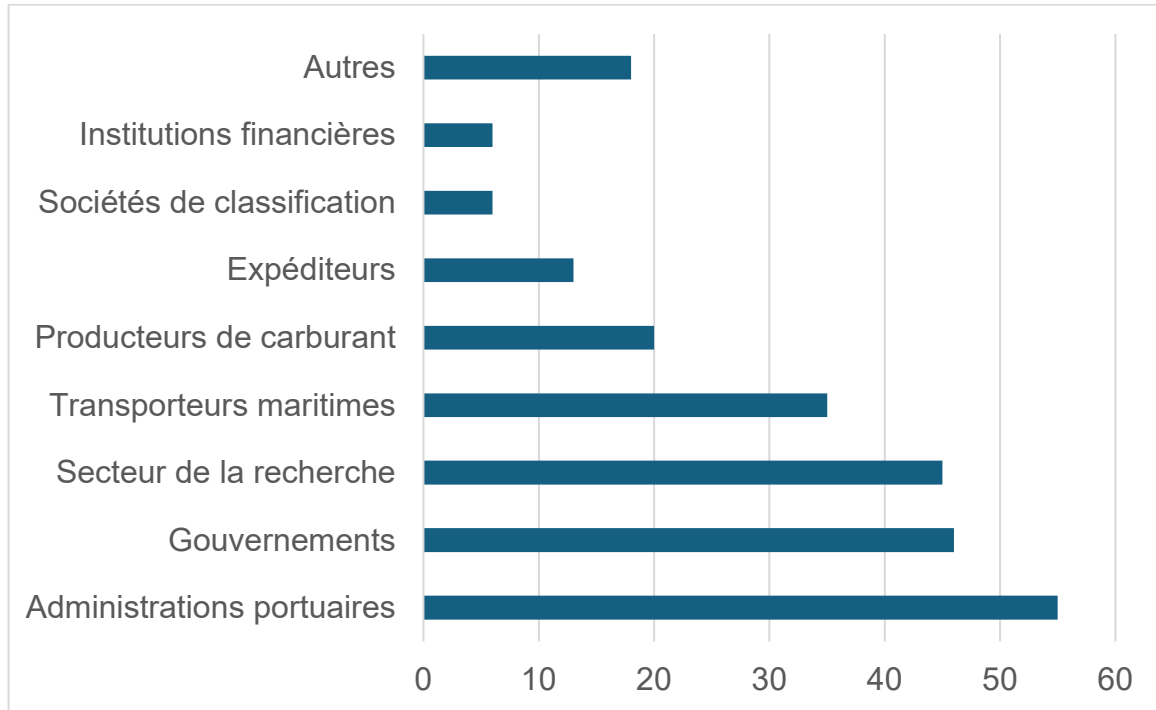
Par ailleurs, il est prouvé que les corridors maritimes verts attirent aussi l'attention d'organismes de réglementation et celle de sociétés de classification (Lutfy & Comtois, 2025).

- Les organismes de réglementation, dont les gouvernements et leurs agents, soutiennent l'implantation de corridors maritimes verts par des régimes d'incitations, de pénalités ou des services de soutien. Dans ce contexte, la mise en œuvre des corridors maritimes verts incite les gouvernements à établir un régime juridique qui : 1) détermine clairement les obligations et responsabilités des parties au contrat de transport; 2) fixe les limites pécuniaires de ces responsabilités; et 3) en met en place les modalités d'application.
- Les sociétés de classification, dont Lloyd's Register, Bureau Veritas et Det Norske Veritas, en évaluant, notamment d'un point de vue environnemental, les services et la gestion de risques des parties prenantes au corridor vert, et en émettant, le cas échéant, une certification des activités de celles-ci, assurent une certaine cohérence dans les normes de qualité applicables aux opérations des ports et des transporteurs maritimes. Les conclusions de ces sociétés permettent aussi de vérifier si les parties prenantes évaluées ont respecté les normes de qualité, de sécurité et de protection environnementale établies par les lois applicables. De plus, ces sociétés peuvent évaluer les services financiers et commerciaux requis des parties prenantes afin de les soutenir dans le développement de corridors maritimes verts.

Les gouvernements sont associés aux initiatives dans le cadre de 46 accords de coopération. Les partenariats dans la mise en œuvre des corridors maritimes verts mettent en lumière la présence de 45 organisations du secteur de la recherche, dont des universités et des firmes de consultants. La contribution des producteurs de carburants à ces initiatives inclut 20 compagnies, dont des fournisseurs actuels et des fabricants de carburants de remplacement. L'apport des expéditeurs demeure faible avec la présence de 13 organisations, principalement des secteurs industriels chimique, minier et agro-alimentaire conjointement avec des armateurs. Les sociétés de classification et les institutions financières sont chacune présentes

dans six initiatives de corridors verts. L'inventaire des corridors maritimes verts permet de recenser l'engagement de 18 autres acteurs de l'industrie, dont des affréteurs, des opérateurs de terminaux, des constructeurs navals et des courtiers maritimes.

Figure 2. Parties prenantes des corridors maritimes verts, 2024



Source : Global Maritime Forum, 2024

2.5. Programme de corridors maritimes verts au Canada

En décembre 2023, le gouvernement du Canada a lancé un programme de mise en œuvre de corridors maritimes verts sur la Côte Pacifique, la Côte Atlantique et le réseau Saint-Laurent–Grands Lacs. Les corridors maritimes verts sont considérés comme essentiels pour permettre à l'industrie maritime et portuaire de contribuer à limiter l'augmentation de la température mondiale à 1,5 degré Celsius et d'atteindre les objectifs de décarbonation de l'OMI. Le programme a pour objectif de financer l'adoption de technologies vertes et de carburants de remplacement, notamment par le financement de l'électrification des navires, des technologies d'alimentation à quai et du développement d'une nouvelle génération de navires (Transports Canada, 2025).

2.6. Initiatives des administrations portuaires au Québec

Plusieurs administrations portuaires au Québec œuvrent à la mise en place d'un corridor maritime vert Saint-Laurent—Saguenay.

2.6.1. Montréal et Anvers

L'entente de collaboration entre les administrations portuaires de Montréal et d'Anvers a pour objectif de développer un corridor maritime vert entre l'Amérique et l'Europe (APM, 2021). Le projet compte mobiliser divers partenaires des secteurs public et privé, autour de l'évaluation, de l'identification, du développement et de l'adoption de solutions et d'infrastructures communes ou complémentaires qui faciliteront l'utilisation d'énergies alternatives, ainsi que l'alimentation des navires aux carburants de remplacement et aux technologies propres.

2.6.2. Montréal, St-John's, Oceanex et QSL

L'entente de collaboration entre l'administration portuaire de Montréal, l'Autorité portuaire de St-John's, le transporteur Oceanex et le manutentionnaire QSL a pour objectif d'éliminer les émissions de carbone sur la route maritime entre le Québec et Terre-Neuve-et-Labrador (APM, 2023). Les partenaires s'engagent à favoriser l'utilisation de carburants de remplacement, à développer des technologies d'électrification directe et à renforcer le partage d'informations et la transparence des données.

2.6.3. Montréal, Trois-Rivières, Québec, Saguenay et Sept-Îles

Le partenariat entre les administrations portuaires de Montréal, Trois-Rivières, Québec, Saguenay et Sept-Îles s'inscrit dans le cadre du développement d'une industrie maritime et portuaire performante et résiliente. Le partenariat a formalisé plusieurs groupes de travail dont deux sur l'environnement et l'innovation. L'objectif est de développer une stratégie commune sur le plan des innovations, de l'optimisation des chaînes d'approvisionnement, de la résilience des actifs et des opérations maritimes au changement climatique ainsi que la mise en place de plans de communications avec les communautés (APM, 2024). C'est un partenariat qui adopte plusieurs des éléments d'un corridor maritime vert.

2.6.4. North Sea Port, Montréal, Trois-Rivières, Québec, Saguenay et Sept-Îles

Cette initiative a été suivie par une alliance stratégique avec North Sea Port, une zone portuaire qui s'étend de Vlissingen aux Pays-Bas à Gand en Belgique. L'objectif consiste à renforcer les chaînes d'approvisionnement entre les ports du système Saint-Laurent—Saguenay et les ports du Nord-Ouest de l'Europe. L'entente devrait permettre une collaboration interportuaire dans le renforcement des échanges commerciaux, le développement de solutions maritimes innovantes, la promotion d'un transport maritime durable et la réduction de l'empreinte carbone (APQ, 2025).

2.7. Les ports comme éléments clés des corridors maritimes verts

Un port est une aire de mise en contact entre deux domaines de circulation : l'un maritime, celui des navires, l'autre continental avec ses accès terrestres (rail, route et portail), ce qui requiert la mise en œuvre de diverses solutions visant à faciliter le passage d'un domaine à l'autre : bassins, quais, terminaux, grues, entrepôt, etc. Il en résulte :

- Une installation portuaire incluant des infrastructures et des superstructures destinées aux équipements, aux marchandises et aux navires;
- Une main-d'œuvre pour faire fonctionner ces ensembles, par groupes socioprofessionnels;
- Une autorité portuaire responsable de définir les objectifs du port, de déterminer les moyens requis pour les atteindre, de conclure des ententes et partenariats nécessaires au bon fonctionnement du port et de trouver le financement adéquat pour ce fonctionnement;
- Un dirigeant du port responsable des activités quotidiennes du port, des relations avec son personnel, ses fournisseurs et ses partenaires;
- Un prestataire de services répondant aux besoins des navires et des marchandises.

Les ports sont les pivots de la mondialisation économique et les maillons déterminants des chaînes logistiques mondiales d'approvisionnement. Le leadership portuaire dans l'établissement de corridors maritimes verts s'inscrit dans les objectifs de décarbonation de l'OMI. Les stratégies portuaires pour réduire les émissions de GES et promouvoir le développement durable reposent sur un ensemble de pratiques, y compris, mais sans s'y limiter :

- Indicateurs de performance en lien avec les réglementations en matière de décarbonation et de développement durable;
- Solutions logistiques éco-exigeantes des réseaux maritimes et terrestres depuis les ports et vers ceux-ci;
- Tarification verte pour les navires efficaces du point de vue énergétique;
- Approvisionnement et stockage en sources d'énergie renouvelable;
- Électrification des installations et équipements portuaires;
- Transformation numérique de l'organisation portuaire;
- Écologie industrielle de l'écosystème portuaire;
- Préservation d'espaces verts.

En exploitant un écosystème portuaire qui soutient les pratiques durables, les corridors maritimes verts servent de banc d'essai pour des solutions innovantes qui peuvent s'étendre à l'ensemble de l'industrie maritime.

Les meilleures pratiques internationales suggèrent que l'instauration d'un corridor maritime vert est assujettie aux priorités d'action portuaire.

3. OPTIONS POUR UN CORRIDOR MARITIME ET PORTUAIRE DÉCARBONÉ DU SYSTÈME SAINT-LAURENT—SAGUENAY

3.1. Typologie d'options

Le choix des options retenues en matière de décarbonation qui sont présentées dans le cadre de cette étude est déterminé à partir des mesures de mise en œuvre concrètes promues ou appliquées, tel qu'en témoignent les corridors maritimes verts initiés, en cours de prospection, au stade de préparation ou en vigueur à l'international en date d'octobre 2024 (section 2.3.). À la suite d'une synthèse de pratiques exemplaires appliquées aux corridors maritimes verts à l'international s'est ajouté un effort de recherche active de la littérature pour identifier des actions empiriques précises adaptées à la réalité du système Saint-Laurent—Saguenay. Cette démarche a permis de présenter 10 options qui ont le potentiel de permettre aux administrations portuaires de réaliser les objectifs de décarbonation d'un corridor maritime vert (Tableau 1).

Tableau 1. Options pour un corridor maritime et portuaire vert Saint-Laurent—Saguenay

1. Créer des pôles d'avitaillement en carburant de remplacement le long du système Saint-Laurent—Saguenay
2. Exécuter des travaux de dragage de capitalisation du chenal navigable
3. Utiliser une plateforme commune d'intelligence artificielle de mesure des émissions de GES des navires
4. Construire un jumeau numérique du système Saint-Laurent—Saguenay
5. Utiliser les zones industrialo-portuaires à des fins de stockage et de valorisation du carbone
6. Sécuriser une hausse des approvisionnements électriques d'Hydro-Québec à l'horizon 2040
7. Mutualiser les achats d'équipements portuaires carboneutres
8. Élaborer un régime de placement d'obligations portuaires vertes
9. Améliorer le réseau d'aires protégées portuaires du système Saint-Laurent—Saguenay
10. Développer une capacité portuaire de produire ou de stocker de l'énergie

Les options retenues sont présentées sans ordre particulier. La gamme d'options représente un outil de référence et d'analyse utile pour cerner les actions possibles pour les administrations portuaires afin d'établir un corridor maritime vert sur le système Saint-Laurent—Saguenay.

Chaque option est présentée avec :

- a) Sa définition et ses caractéristiques;
- b) Son application sur le système Saint-Laurent—Saguenay;
- c) Ses objectifs et leurs impacts potentiels sur la décarbonation de l'industrie maritime et portuaire;
- d) Une illustration de sa mise en œuvre concrète.

3.1.1. Option 1. Créer des pôles d'avitaillement en carburant de remplacement le long du système Saint-Laurent—Saguenay

a) Définition et caractéristiques

Un pôle d'avitaillement est une infrastructure portuaire où les navires peuvent s'approvisionner avec divers types de carburants pour les systèmes de propulsion et autres besoins énergétiques (MPAS, 2009). Ces lieux sont critiques pour l'industrie maritime mondiale en donnant accès à un approvisionnement en combustibles fossiles et en carburants de remplacement en appui aux efforts de décarbonation. Les carburants de remplacement sont des alternatives aux hydrocarbures. Ils incluent les biocarburants, l'hydrogène vert, les gaz renouvelables, l'ammoniac vert et les carburants de synthèse. L'utilisation de carburants sans ou à faible teneur en carbone représente une option essentielle pour l'industrie maritime et portuaire de réduire les émissions de GES.

b) Application

La spécificité de cette option consiste à établir une chaîne d'approvisionnement en carburants de remplacement à la fois pour les navires et pour les ports le long de l'axe laurentien.

c) Objectif

Développement d'infrastructures pour l'avitaillement en carburants écologiques.

d) Illustration

Le projet de corridor maritime *H2 powered North Sea Crossing* a développé des infrastructures d'avitaillement en hydrogène vert dans les ports de la mer du Nord et a créé un réseau de transport pour l'acheminement de ce carburant à travers l'Europe (Figure 3). Ainsi l'hydrogène produit à partir de sources d'énergie éolienne et solaire dans les zones portuaires de la mer du Nord est stocké pour être utilisé dans des piles à combustible par les navires qui utilisent ce corridor.

Notamment un navire propulsé à l'hydrogène, basé au terminal d'Alblasserdam près de Rotterdam et spécialisé dans le transport de conteneurs de réservoirs d'hydrogène, peut effectuer jusqu'à une centaine de voyages de 500 kilomètres par année permettant de réduire ses émissions de CO₂ de 2 000 tonnes métriques (Lobina, 2025).

Figure 3. H2 powered North Sea Crossing - Corridor maritime vert entre l'Allemagne, les Pays-Bas, la Belgique, le Royaume-Uni et la Norvège, 2024



3.1.2. Option 2. Exécuter des travaux de dragage de capitalisation du chenal navigable

a) Définition et caractéristiques

Retirer des sédiments marins du fond d'un plan d'eau à l'aide d'engins spécialisés afin de maintenir ou de récupérer une certaine profondeur d'eau, et donc de la capacité de transport (Verbeeck et Comtois, 2017).

b) Application

Approfondir le chenal navigable du fleuve Saint-Laurent entre Montréal et Québec afin de permettre la navigation de navires plus gros.

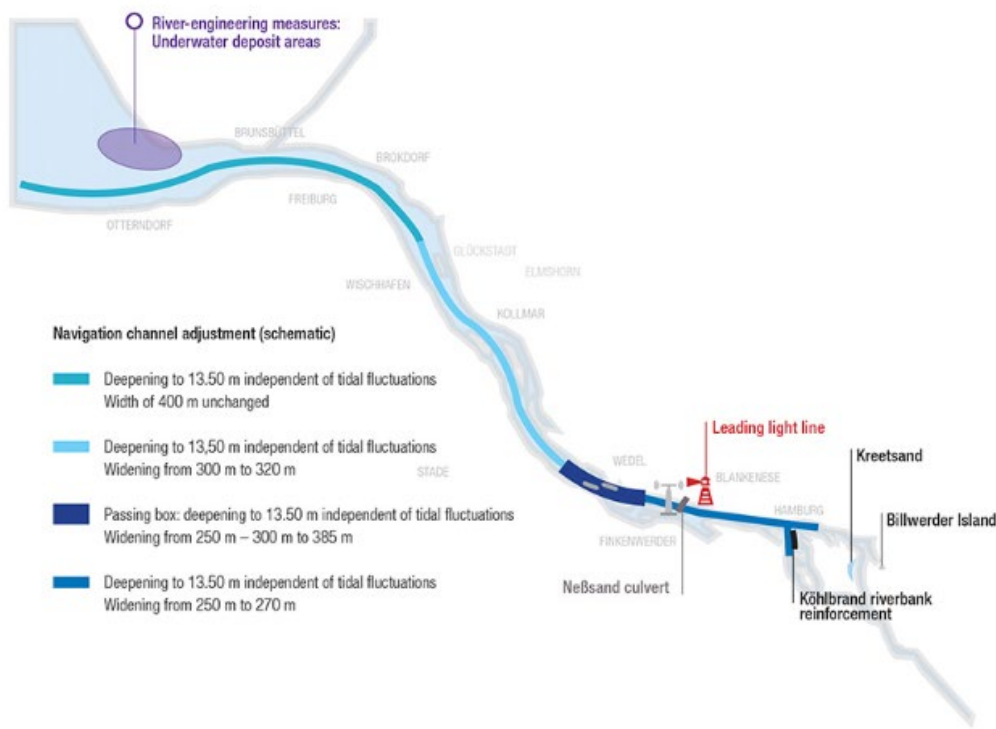
c) Objectif

Augmenter le nombre de navires de grande taille circulant dans le corridor maritime vert, car ceux-ci émettent moins de carbone par tonne de marchandises-km transportée que les navires de plus petite taille qui, pour le moment, sont les seuls à pouvoir utiliser l'ensemble du corridor maritime vert (Lindstad et al, 2012). La croissance dans la taille de vraquier de 26 000 à 46 000 tjb (tonneaux de jauge brute) permet une réduction de 33 % des émissions de GES par tonne-mille nautique. Dans le cas des conteneurs, le rapport entre les navires de 8 500 EVP et ceux de 1 000 EVP est de 1:3, soit entre 28 et 80 grammes de CO₂/tonne/mille nautique.

d) Illustration

Les travaux de dragage entrepris sur l'Elbe ont permis d'approfondir le chenal de 13,5 mètres jusqu'à 14,9 mètres sur une distance de 130 kilomètres entre le port d'Hambourg et l'embouchure de la mer du Nord facilitant l'accès à des porte-conteneurs de plus grande taille. Ainsi, les navires porte-conteneurs de classe Hamburg Express d'une capacité de 13 177 EVP atteignent d'importantes économies d'efficacité, exercent un impact plus positif sur les objectifs de réduction des émissions de CO₂ et présentent une empreinte carbone plus faible par conteneur transporté (Figure 4).

Figure 4. Dragage de l'Elbe, Allemagne, 2018



Source : Hamburg Port Authority (2018)

3.1.3. Option 3. Utiliser une plateforme commune d'intelligence artificielle de mesure des émissions de gaz à effet de serre (GES) des navires

a) Définition et caractéristiques

Une plateforme d'intelligence artificielle est un cadre général qui fournit un ensemble standard d'outils intégrés, d'infrastructures et de services nécessaires pour construire, déployer et gérer les applications et les modèles de l'intelligence artificielle (Sanchez-Gonzales et al, 2019). Une plateforme commune permet d'améliorer les échanges d'informations et de resserrer la coopération à la mise en place d'un corridor maritime carboneutre. Il y a plusieurs plateformes et logiciels certifiés disponibles sur le marché.

b) Application

Utiliser un outil d'aide à la décision permettant de mesurer la consommation de carburant et les émissions de GES en temps réel des navires en mouvement ou en escale dans le système Saint-Laurent—Saguenay.

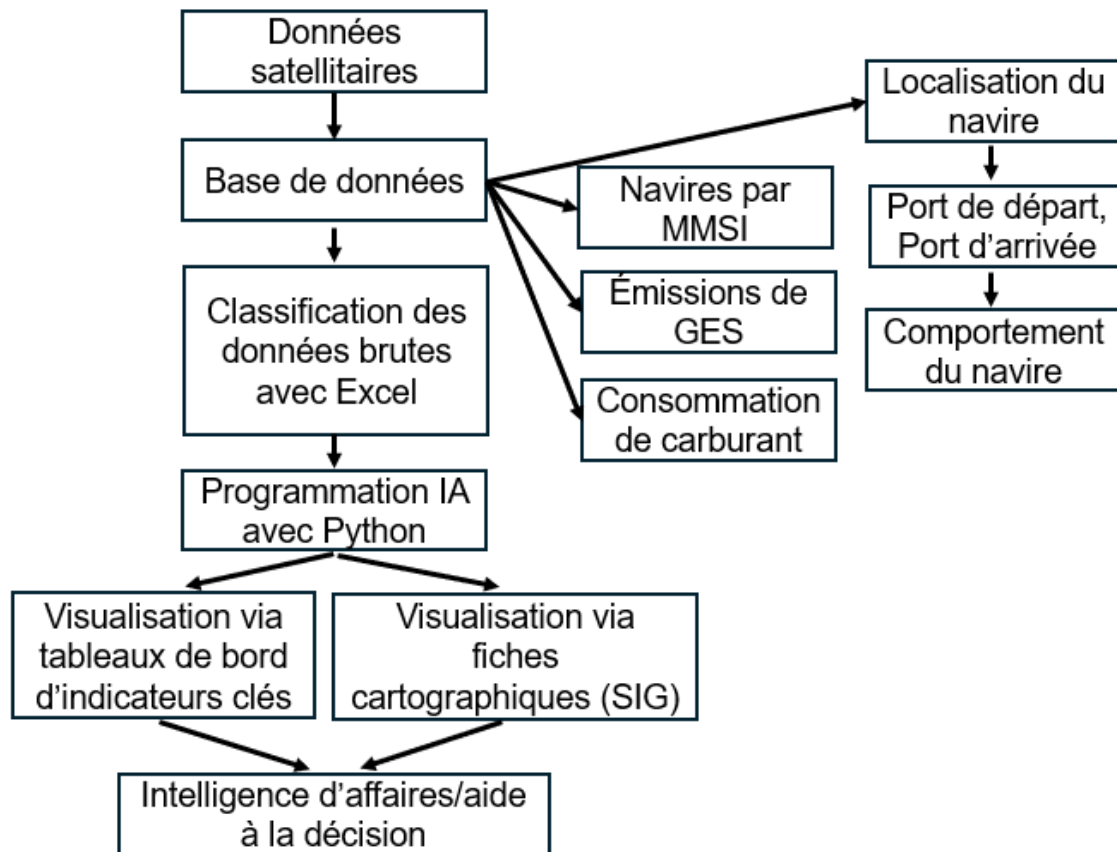
c) Objectif

Utilisation des technologies numériques comme facteur majeur d'optimisation d'un corridor maritime vert dans le secteur de l'économie d'énergie et de réduction des émissions de GES. La numérisation renforce les communications entre les navires et les ports par une transparence accrue en matière de données. Ces données peuvent permettre de modifier le comportement des navires par la réduction de la vitesse ou des investissements dans les technologies d'économie d'énergie.

d) Illustration

Sans donner à entendre une préférence, la plateforme Oceania de *Global Spatial Technology Solutions* (GSTS) (une entreprise canadienne) utilise le système d'identification automatique (SIA) pour obtenir des informations détaillées sur les navires à vocation commerciale : le type et le tonnage de chaque navire, le type de moteur, le carburant utilisé, la consommation de carburant et les émissions de GES en lien avec le comportement du navire (ancré, à quai, en mouvement et en mer). Ces informations sont obtenues en combinant les coordonnées de positionnement en longitude et latitude de tous les jours de navigation (Figure 5).

Figure 5. Intelligence artificielle appliquée à la Plateforme Oceania de GSTS, 2025



3.1.4. Option 4. Construire un jumeau numérique du système Saint-Laurent—Saguenay

a) Définition et caractéristiques

Un jumeau numérique est une réplique virtuelle d'une entité physique ou d'un système comme un port, un navire ou un réseau qui intègre des données en temps réel à partir de senseurs et de logiciels pour contrôler la performance, simuler les opérations et optimiser la chaîne logistique ou l'entretien préventif des équipements d'un port ou d'un navire (ABS, 2022).

b) Application

Produire une réplique exacte des caractéristiques physiques, pédologiques, hydrologiques et climatiques du fleuve, des infrastructures portuaires et des navires en circulation.

c) Objectif

Développer des outils spécifiques de prospective et élaborer des scénarios sur l'impact des changements climatiques ou de la consommation énergétique des équipements portuaires et des navires afin de réaliser un pronostic sur l'impact des solutions proposées par les administrations portuaires et les exploitants de terminaux en lien avec l'électrification ou les carburants de remplacement et sur la conformité réglementaire de décarbonation des navires à quai, ancrés, en mouvement et en mer.

d) Illustration

Actuellement, seule la Corporation de Gestion de la Voie Maritime du Saint-Laurent offre un compte rendu visuel en temps réel du fleuve Saint-Laurent entre Saint-Lambert et les Grands Lacs grâce à des caméras, capteurs, senseurs et autres technologies numériques. Le système APICA (Advanced Port Intelligence and Coordination Assistant), un jumeau numérique du port d'Anvers-Bruges, est destiné à accroître la sécurité, l'efficacité et le développement durable des opérations et des infrastructures du port. APICA intègre des données de milliers de senseurs, de drones, de caméras intelligentes et de détecteurs électroniques et permet de surveiller les infrastructures, les activités portuaires, le mouvement des navires, les conditions environnementales et la consommation d'énergie en temps réel. La combinaison de ces données favorise l'établissement et le fonctionnement du corridor maritime vert entre les ports d'Anvers et de Zeebrugge (Port d'Anvers-Bruges) en Belgique (Figure 6).

Figure 6. Advanced Port Intelligence and Coordination Assistant (APICA), 2020



Source : Port of Antwerp-Bruges (2020)

3.1.5. Option 5. Utiliser les zones industrialo-portuaires à des fins de stockage et de valorisation du carbone

a) Définition et caractéristiques

Il est prouvé que la mesure la plus efficace pour éliminer les émissions de CO₂ est de le capturer en vue de sa réutilisation ou de sa séquestration (Baroudi et al, 2021).

b) Application

Utiliser le potentiel des zones industrialo-portuaires du Québec pour le captage, le stockage et la valorisation du carbone.

c) Objectif

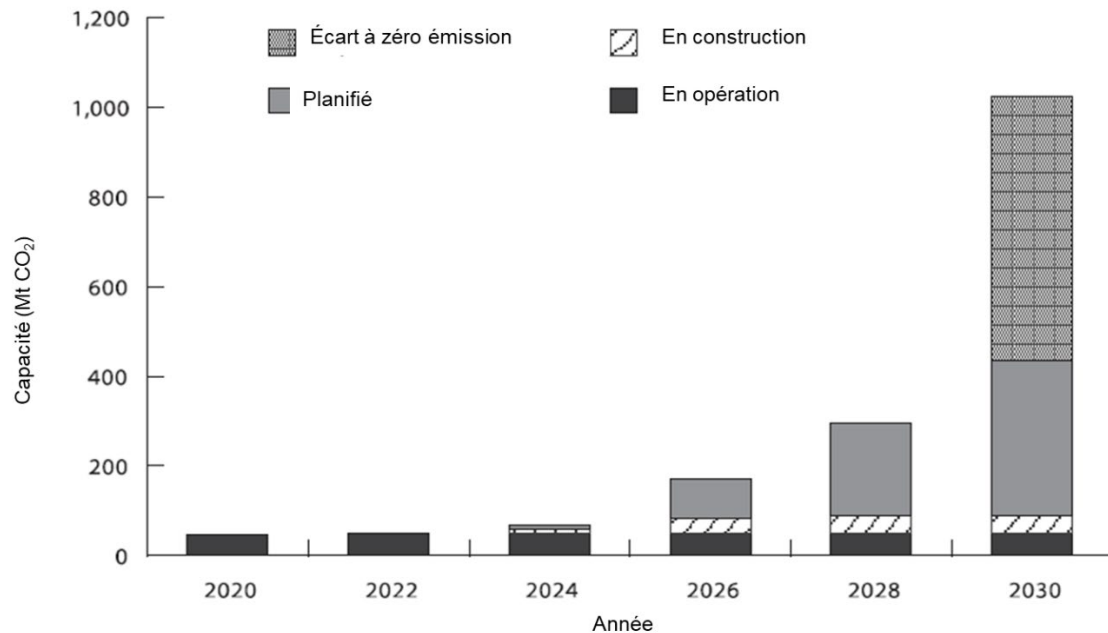
Utiliser un ensemble de technologies visant à capturer, compresser et stocker le CO₂ à bord des navires pour ensuite le transporter vers une zone industrialo-portuaire le long du corridor maritime pour stockage permanent ou à des fins de valorisation comme matière première pour de nombreuses applications industrielles, dont la production d'acier, de ciment, d'énergie, de fertilisants, de denrées alimentaires, de systèmes de refroidissement, de traitement des eaux usées et de culture en serre.

d) Illustration

Selon le Global CCS Institute, 190 projets de capture, de stockage et de valorisation du carbone sont enregistrés dans le monde en 2022. La capacité de production totale de ces projets est estimée à 244 millions de tonnes CO₂ par année. Des installations d'une capacité de 45 Mt/an sont présentement en exploitation, des projets industriels d'une capacité opérationnelle de 10 Mt/an sont en construction tandis que des plans d'une capacité de 100 Mt/an sont en stade avancé d'élaboration (Figure 7).

Dans le domaine portuaire, certaines opérations offrent des preuves concrètes que les systèmes de capture de carbone à bord des navires peuvent être intégrés aux opérations maritimes. En juin 2025 un porte-conteneurs de 14 000 EVP a capturé et stocké 25 tonnes métriques d'émissions de CO₂. Le déchargement de dioxyde de carbone liquéfié s'est effectué au terminal de Shengdong au port de Yangshan à Shanghai (Rosenoegger, 2025). Le carbone liquéfié est ensuite vendu à des fins industrielles et présente le potentiel de générer des revenus de 8 millions \$ par année par navire.

Figure 7. Évolution des capacités de stockage du CO₂ à l'international, 2020-2030



Source : IEA (2024) CCUS Projects Database

3.1.6. Option 6. Sécuriser une hausse des approvisionnements électriques d'Hydro-Québec à l'horizon 2040

a) Définition et caractéristiques

L'électrification apporte une solution à la décarbonation de l'industrie maritime et portuaire. Cependant seulement 3 % des ports du monde offrent l'électrification à quai pour les navires (Ship and Bunker, 2024) et seulement 2,4 % des navires utilisent des raccordements terrestres à l'électricité (Wang et al, 2024). Les navires qui disposent de connexions pour l'électrification à quai sont en majorité les bateaux de croisière et les traversiers. Un important facteur de changement concerne l'imposition par l'Union européenne de l'électrification à quai pour les navires de passagers (traversiers et croisières) et les porte-conteneurs à l'horizon 2030 et une généralisation à tous les ports des corridors de transport transeuropéens d'ici 2035. Les ports devraient connaître une augmentation de la demande énergétique liée à la croissance des trafics maritimes, les services aux navires, l'automatisation des opérations à quai, l'intelligence embarquée et le développement de la numérisation. De plus, il est possible que plus de navires s'équipent pour fonctionner en tout ou en partie à l'électricité.

b) Application

Confirmer la capacité d'Hydro-Québec d'alimenter suffisamment le réseau portuaire du système Saint-Laurent—Saguenay en électricité dans le futur au même titre que des solutions complémentaires en cas de perturbations majeures.

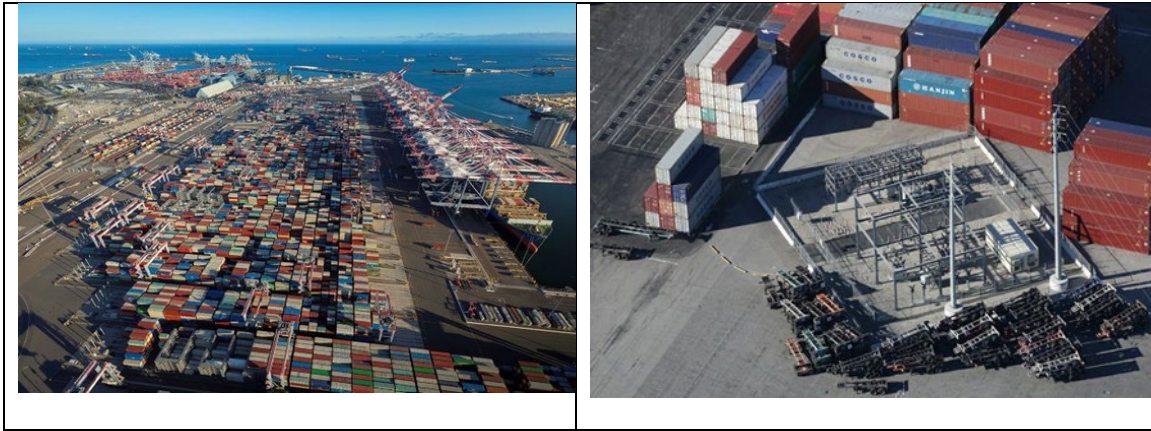
c) Objectif

Électrification accrue système Saint-Laurent—Saguenay.

d) Illustration

Le terminal à conteneur du port de Long Beach opéré par Orient Overseas Container Line est le premier terminal entièrement électrique zéro émission (Figure 8). Le terminal utilise des équipements de manutention électriques et des véhicules à émissions nulles. Il est équipé de capacités respectueuses de l'environnement, dont l'électrification à quai, des portails automatiques et des panneaux solaires afin de réduire de façon significative les émissions de GES (Bahtić, 2021). L'approvisionnement en électricité est assuré par Southern California Edison (SCE) grâce à une sous-station spéciale et des installations électriques permettant d'alimenter les équipements automatisés et de fournir les raccordements terrestres à l'électricité pour les navires à quai.

Figure 8. Long Beach Container Terminal, Inc (LBCT) et sous-station SCE, 2021



Source : Port of Long Beach (2021); Jean Anderson Edison International

3.1.7. Option 7. Mutualiser les achats d'équipements portuaires carboneutres

a) Définition et caractéristiques

Partenariat entre différents acteurs pour effectuer des achats en commun permettant de réaliser d'importantes économies d'échelle, de réduire les coûts et de renforcer le pouvoir de négociation face aux fournisseurs (Services publics et Approvisionnement Canada, 2025). Selon Dynabuy, les achats mutualisés rattachés à une grille tarifaire négociée peuvent améliorer considérablement l'efficacité des dépenses publiques en réalisant des économies de l'ordre de 20 % à 30 % sur les tarifs publics (Dynabuy, 2024).

b) Application

Élaborer une stratégie conjointe d'achats commerciaux parmi les parties prenantes de l'industrie portuaire du corridor maritime Saint-Laurent—Saguenay.

c) Objectif

Décarboner les équipements portuaires, de transport et de manutention des marchandises d'une manière uniforme sur l'ensemble du système Saint-Laurent—Saguenay par l'adoption d'un large éventail d'engins efficaces sur le plan énergétique qui utilisent des sources d'énergie renouvelable. Les solutions innovantes peuvent comprendre : 1) des dispositifs de stockage d'énergie portables; 2) des carburants de remplacement; 3) une vaste gamme de senseurs; 4) des logiciels de gestion et d'analyse des émissions carbone; 5) des outils de suivi de consommation énergétique; 6) des solutions numériques pour les réseaux électriques intelligents; 7) des systèmes de stockage qui transforment la chaleur perdue en vapeur, air froid et électricité; 8) des procédés permettant de transformer les déchets biodégradables en biocarburants; et 9) des produits qui éliminent la pollution sur de vastes superficies de terrains ou de surfaces d'eau.

d) Illustration

La politique industrielle de l'Union européenne a mis en œuvre plusieurs projets d'approvisionnement conjoints, y compris les vaccins contre la Covid-19, les munitions en Ukraine et l'approvisionnement en énergie (Figure 9).

Figure 9. Mutualisation des achats européens en réponse à des crises, 2020-2024

Secteur	Recherche et développement	Négociations contractuelles au nom des membres de l'Union européenne	Achats directs
Pharmaceutique	Stratégie de l'Union européenne en matière de vaccin (2020)	Entente d'achat anticipé (COVID-19) (2020)	
Défense	Fonds européen de défense (2017; 2021)	Acquisition en collaboration d'équipements (2023)	Acquisition en collaboration d'équipements (1 milliard €) (2023)
Énergie		Plateforme énergétique de l'Union européenne (2022); Mécanismes d'achat groupé (2023)	

Source : Nicoli & Beetsma (2024) Joint public procurement as a tool for European Union industrial policy

3.1.8. Option 8. Élaborer un régime de placement d'obligations portuaires vertes

a) Définition et caractéristiques

Instruments financiers qui servent à lever des capitaux qui sont affectés à des projets ayant un impact positif sur la protection de l'environnement, la réduction des émissions de GES ou l'adaptation au changement climatique (Ministère des Finances, 2024).

b) Application

Les contraintes financières restent l'un des principaux obstacles à la transition énergétique pour atteindre l'objectif de zéro émission nette à l'horizon 2050, nécessitant des solutions d'investissement novatrice qui accélèrent la décarbonation.

c) Objectif

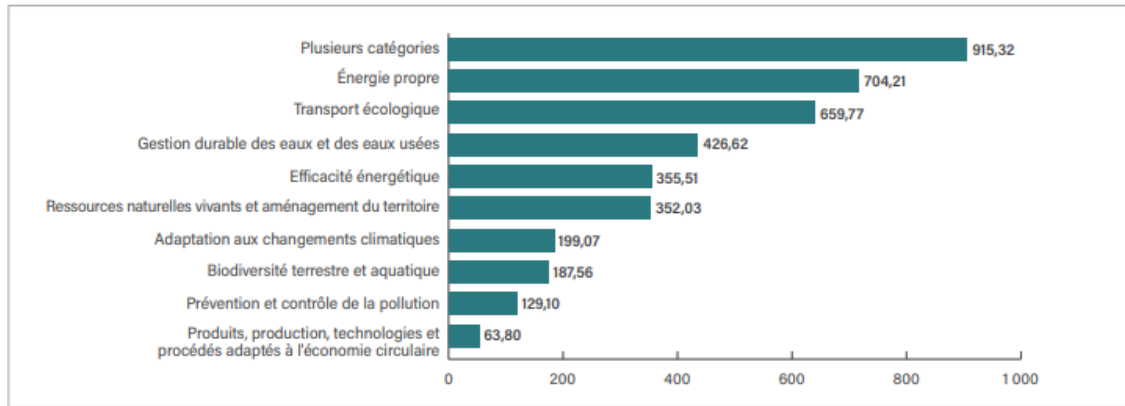
Lever des capitaux affectés à des projets qui engendrent des bénéfices en matière d'efficacité énergétique, de technologies propres éco-exigeantes et de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, un nombre croissant de fonds d'investissement permettent à des investisseurs de se procurer des obligations vertes assorties d'un taux d'intérêt fixe ou de titres adossés à des actifs liés à des projets d'infrastructure verte précis.

d) Illustration

Selon le Climate Bonds Initiative (2025), les émissions globales d'obligations vertes atteignaient 935 milliards \$ en 2024. En 2024 le Canada a émis sa

deuxième obligation verte, dont l'échéance est de 10 ans, d'une valeur de 4 milliards \$ (Figure 10).

Figure 10. Affectation par catégorie des obligations vertes du Canada, 2023-2024 (millions \$)



Source : Environnement et changement climatique Canada (2025)

Le Southeast Asia Blue Innovation Facility (SEA Fund) est un véhicule de financement de dette mixte de 500 millions \$US destiné à promouvoir la décarbonation du secteur maritime, l'adaptation au changement climatique et le développement économique en Asie du Sud-Est. Le fonds bénéficie du soutien financier du Catalytic Climate Finance Facility (CC Facility) dont les capitaux proviennent notamment de la Fondation Bill-et-Melinda-Gates, du Centre de recherche en développement international (CRDI) et d'Affaires mondiales Canada (CCFF, 2025).

3.1.9. Option 9. Améliorer le réseau d'aires protégées portuaires du Saint-Laurent et du Saguenay

a) Définition et caractéristiques

Les aires protégées représentent une solution naturelle à la séquestration du carbone en stockant le CO₂ atmosphérique dans les arbres, d'autres végétaux, la matière organique morte et les sols. Les écosystèmes marins côtiers jouent un rôle essentiel en matière de séquestration du carbone, car les écosystèmes intacts et diversifiés atténuent les impacts des changements climatiques, freinent le réchauffement climatique et contribuent à la transition énergétique (Sharma et al, 2023).

b) Application

Bonifier ou accroître la protection des écosystèmes denses en carbone le long du bassin fluvial du Saint-Laurent et de la rivière Saguenay.

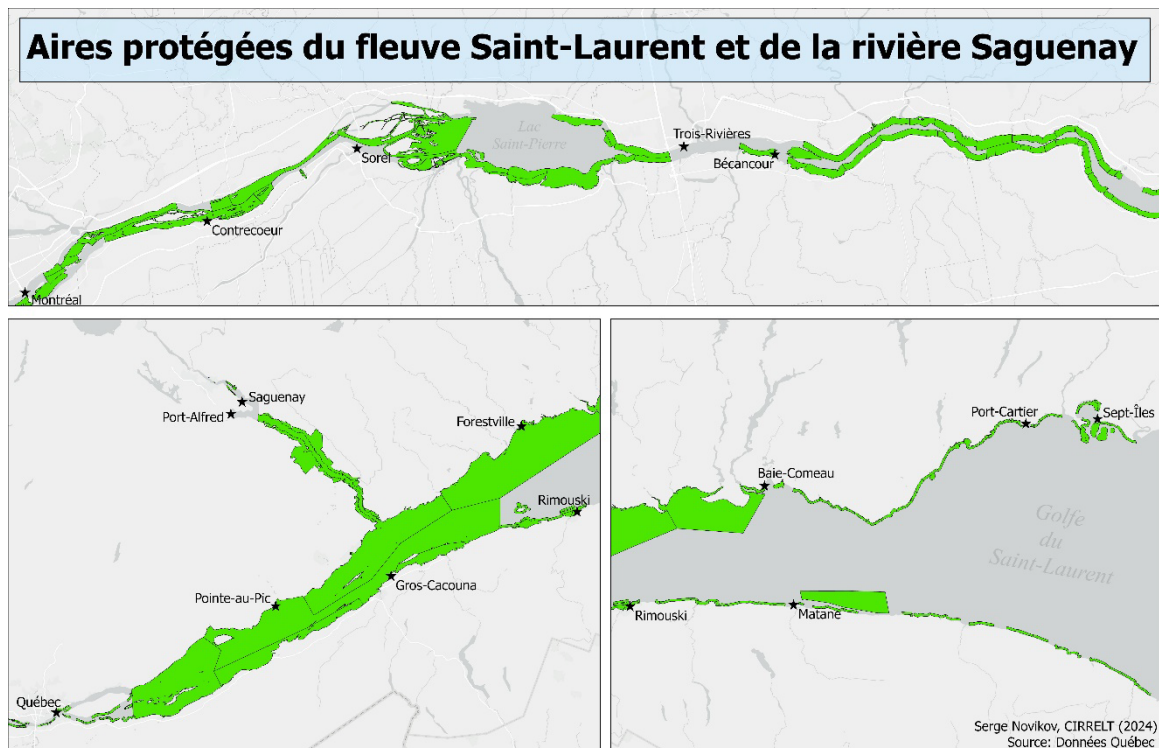
c) Objectif

Appuyer le renforcement ou la création de réserves foncières écologiques, la décontamination et la réhabilitation des sols, la naturalisation et la végétalisation des rives en vue de s'assurer que le carbone séquestré est stocké dans les sols et les végétaux de façon sécuritaire et que la capacité des écosystèmes d'éliminer le CO₂ de l'atmosphère est maintenue.

d) Illustration

Le Québec dispose d'un registre d'aires protégées et d'autres mesures de conservation efficace. Ainsi, le stock total de carbone de l'écosystème de l'Archipel-de-Mingan atteint 0,88 Mt C, celui du parc national de la Mauricie est estimé à 14,61 Mt C. Le réseau d'aires marines protégées qui couvre le système Saint-Laurent—Saguenay permet de conserver des écosystèmes exceptionnels, de protéger des zones et de maintenir la biodiversité marine et les éléments écologiques (Figure 11).

Figure 11. Aires protégées du fleuve Saint-Laurent et de la rivière Saguenay, 2024



Source : Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (2024)

Dans le secteur portuaire, l'exploitant portuaire mondial de terminaux DP World s'est engagé dans un vaste programme de protection de la biodiversité le long des côtes sud-américaines afin d'établir des puits de carbone. L'initiative comprend la

plantation de 230 000 semis de palétuviers sur une superficie de 105 hectares de milieux humides en Équateur. Il est démontré que les palétuviers protègent les littoraux des tempêtes, atténuent les phénomènes d'érosion, supportent la vie aquatique et jouent un rôle significatif de puits naturels pour le carbone (DP WORLD, 2024).

3.1.10. Option 10. Permettre aux ports de produire ou de stocker de l'énergie

a) Définition et caractéristiques

Plusieurs ports à l'international profitent de la taille de leur site et de leur position géographique pour exploiter les sources d'énergies renouvelables (éolienne, solaire) (ARUP, 2025).

- L'éolien pourrait offrir une puissance énergétique additionnelle, réaliser des économies en termes d'énergie électrique et résoudre les problèmes de la pénurie d'hydroélectricité. Mais l'éolien présente des enjeux de fiabilité. En outre, l'essor de l'éolien terrestre est contraint par les difficultés d'acceptation sociale, qui est inhérente à l'importance de son emprise au sol et aux externalités négatives (bruit, perturbations hertziennes et impact visuel).
- Le déploiement de technologies solaires dans les ports est confronté à certaines contraintes économiques. Présentement le coût de production de l'énergie solaire au Québec ne permet pas de concurrencer celui de l'hydroélectricité. Tout comme l'éolien, le coût d'installation de panneaux solaires est trop élevé si on les utilise uniquement en tant que relais durant les pénuries d'énergie.

Le stockage d'énergie est au cœur de la transition énergétique. Quatre technologies participent à la décarbonation :

1. Le stockage d'une partie de l'énergie de manière « électrochimique » dans des batteries;
2. Les « systèmes chimiques » qui permettent de stocker l'énergie grâce à l'hydrogène ou au méthane sous forme liquide dans des réservoirs réfrigérés à haute pression;
3. Le « stockage thermique » dans lequel la chaleur est récupérée pour être utilisée ensuite pour d'autres procédés industriels;
4. Le « stockage mécanique » par l'utilisation de système de pompage, d'air comprimé et de volant d'inertie où un système rotatif permet le stockage et la restitution d'énergie cinétique (Miraval et al, 2020).

b) Application

Permettre aux ports du système Saint-Laurent—Saguenay de disposer de leur propre source d'énergie afin de répondre aux problèmes d'interruptions par le stockage d'énergie.

c) Objectif

Produire ou stocker de l'énergie sur le site portuaire apparaît indispensable pour répondre aux problèmes de variabilité de production de l'électricité et d'intermittence inhérente aux énergies renouvelables.

d) Illustration

Au port de Göteborg une partie de l'énergie est stockée de manière « électrochimique » dans des batteries. Les batteries sont en charge lorsque la demande en électricité est à son point le plus bas. Elles piègent l'énergie électrique, puis la restituent tout au long de leur décharge, sans être connectées à une source de production électrique. L'Administration portuaire a développé un partenariat avec le transporteur maritime Stena, la société de classification DNV et le constructeur automobile Volvo pour réutiliser les batteries lithium-ion en vue d'alimenter les navires durant leur escale lorsqu'il n'y a pas d'installations fixes d'alimentation en énergie à quai ou lorsque la demande excède la capacité du réseau. Les piles sont accumulées à l'intérieur de conteneurs qui servent de stations électriques portuaires. La solution consiste à donner une seconde vie à des batteries de voiture comme solution de stockage. Le port envisage également d'organiser le stockage d'énergie de manière à exploiter au maximum les capacités existantes du système portuaire en se servant des batteries des navires qui sont à l'arrêt lors du temps d'escale comme solution pour des applications stationnaires (Figure 12).

Figure 12. Système de batteries de stockage d'énergie, Port de Göteborg, 2022



Source : Berry (2022)

4. PRIORISATION PAR LE SECTEUR PORTUAIRE

4.1. Atelier collaboratif

Les dix options présentent une grande diversité d'actions possibles pour instaurer un corridor maritime vert. Elles témoignent des stratégies concrètes mises en œuvre par les corridors maritimes verts existant dans le monde. Ces stratégies diffèrent les unes des autres en termes de calendrier d'exécution, de coûts de mise en œuvre, de situation géopolitique, économique et financière des parties prenantes, d'acceptabilité sociale et commerciale ainsi que d'efficacité.

Dans le but de déterminer lesquelles des options les administrations portuaires du système Saint-Laurent—Saguenay auraient avantage à mettre en œuvre afin de développer un corridor maritime vert, il a été jugé important d'évaluer l'efficacité potentielle et la faisabilité de chaque option et de les classer par ordre de priorité d'exécution.

Les démarches de hiérarchisation d'options ont fréquemment été utilisées dans la littérature sur la décarbonation. Plusieurs des rapports de recherche effectués dans le cadre de ce projet ont fait appel aux avis d'experts pour le classement d'options (Slack, Nguyen, Novikov & Comtois, 2025).

Il a donc été proposé de présenter dans le cadre d'un atelier collaboratif les options à une réunion d'experts de l'industrie portuaire et de recueillir leur opinion sur la faisabilité des options et plus particulièrement de déterminer les options prioritaires à mettre en œuvre.

4.2. Déroulement

L'atelier, organisé conjointement avec le Centre d'expertise en logistique portuaire, a été tenu le 29 janvier 2025 au Port de Québec. L'atelier regroupait une cinquantaine de représentants de l'industrie portuaire et du milieu de la recherche (Annexe 2).

Le déroulement de l'atelier comportait quatre étapes. La démarche a commencé par une présentation des conditions de décarbonation de l'industrie maritime et portuaire du système Saint-Laurent—Saguenay ainsi que des tendances et incertitudes sur les plans économiques, politiques, technologiques, sociaux et réglementaires qui risquent d'affecter l'industrie portuaire.

Durant la deuxième étape, les 10 options de décarbonation ont été présentées aux participants. Ces derniers ont ensuite formé 11 groupes de 5 ou 6 participants chacun, provenant de l'industrie portuaire en assurant la mixité des fonctions représentées et des localisations géographiques. Trois options ont été assignées à chacun des groupes afin que ses membres débattent de la pertinence et de la faisabilité de deux des trois options assignées.

L'évaluation des options devait s'effectuer en fonction des quatre paramètres d'analyse suivants, prédéterminés par les animateurs :

- La capacité de mise en œuvre porte sur le respect de la réglementation applicable aux activités de l'industrie portuaire et selon la disponibilité de ressources humaines, matérielles et financières des ports concernés. La capacité de mettre en œuvre une option dépend de la présence de nombreux avantages, mais elle peut engendrer plusieurs défis.
- Le niveau d'impact prend en compte les avantages économiques ou environnementaux qui découlent d'une option et les conséquences négatives et importantes sur le développement du corridor maritime vert ainsi que des effets indésirables sur l'environnement.
- Le coût inclut l'allocation de ressources dans une échelle financièrement atteignable pour les parties prenantes. Une option coûteuse nécessitera des immobilisations importantes (et/ou plusieurs partenaires financiers) et se situera sur une échelle de temps nécessairement plus longue.
- Le degré d'urgence concerne le degré de priorité que l'industrie portuaire attache à la réalisation de l'option et considère les ressources disponibles des ports ainsi que la capacité matérielle de ceux-ci de répondre aux exigences de l'option.

Chaque groupe devait remplir une fiche pour qualifier la faisabilité de chacune des deux options retenues selon les paramètres d'analyse imposés et indiquer les éléments de justification associée à chacun des paramètres. Les fiches d'évaluation de chaque option ont été recueillies et les informations qu'elles contenaient ont été combinées de façon à permettre une lecture simplifiée de tous les commentaires relatifs à une même option.

Cette démarche a été suivie d'une présentation en plénière des principaux constats sur les options de décarbonation d'un corridor maritime vert analysées par chaque groupe. La démarche a aussi permis aux participants d'identifier les options qui nécessiteraient une collaboration entre les parties prenantes.

La troisième étape visait l'élaboration, par consensus entre les participants, d'une feuille de route pratique contenant la liste des actions prioritaires à entreprendre afin que l'industrie portuaire du système Saint-Laurent—Saguenay puisse atteindre la carboneutralité de ses activités dans ce système. À cette fin, les membres de chaque groupe ont dressé une liste des 10 options, en les mettant dans l'ordre de priorité leur paraissant optimale, aux vues du bilan et des réflexions résultant de la plénière tenue à la deuxième étape du déroulement, en termes de contraintes et de potentiels.

La quatrième étape de l'atelier a ramené les participants en plénière pour des échanges portant sur : 1) le niveau d'engagement possible ou probable de chaque

organisme, représenté par un participant, à entreprendre les actions identifiées sur la feuille de route; et 2) l'élaboration d'un agenda pour la réalisation de ces actions.

4.3. Compte rendu

4.3.1. Contenu

L'éventail d'expertises des participants couvrait une grande diversité de points de vue et d'idées concernant les caractéristiques plausibles ou souhaitables d'un corridor maritime vert et une pluralité de perspectives s'est manifestée dans le cadre de l'évaluation des options. Tous les commentaires, remarques et observations consignés par écrit par les participants ont été rassemblés et synthétisés et voici cette synthèse, présentée pour chaque option.

Option 1 : Créer des pôles d'avitaillement en carburant de remplacement le long du système Saint-Laurent—Saguenay

- Bien que les administrations portuaires aient peu d'influence sur le type de carburant de remplacement qui sera disponible, elles devront jouer un rôle dans l'approvisionnement en combustibles des navires qui circuleront dans le corridor maritime. Cela exigera des pratiques appropriées en termes de stockage, d'exploitation et de sécurité, ce qui impliquera une mobilisation de ressources financières importantes.
- La disponibilité d'un approvisionnement approprié en carburants de remplacement sera un facteur majeur dans la capacité du corridor Saint-Laurent—Saguenay à attirer et à développer un transport maritime carboneutre.
- Ce processus exigera une coordination étroite avec les producteurs locaux et régionaux de carburants de remplacement.
- La mise en place d'installations de stockage et de transfert doit être réalisée avec une grande prudence afin d'atteindre un équilibre entre la demande de tels carburants et le coût de cette mise en place.

Option 2 : Exécuter des travaux de dragage de capitalisation du chenal navigable

- L'expérience historique des activités de dragage du fleuve Saint-Laurent et du niveau de connaissance approfondie des propriétés physiques du Saint-Laurent du Service hydrographique du Canada et de la Garde côtière canadienne doit être pris en compte.
- Les travaux de dragage permettraient à la navigation maritime commerciale de concurrencer les ports de la Côte Est des États-Unis qui ont procédé à des approfondissements majeurs de leurs chenaux d'accès.
- Les impacts du dragage sur l'environnement et les milieux biotiques, notamment les effets sur les littoraux, sont source d'inquiétude de la part du public.
- Le dragage devra être sélectif en raison de segments en eaux profondes.
- L'élimination des sédiments dragués pourrait s'avérer coûteux.

- Le dragage n'apporte aucun avantage aux installations portuaires situées en aval du Port de Québec.

Option 3 : Utiliser une plateforme commune d'intelligence artificielle de mesure des émissions de gaz à effet de serre (GES) des navires

- La mesure uniforme des émissions de carbone en temps réel représente une étape importante dans la mise en place d'un corridor maritime vert.
- La plateforme est un dispositif technique qui offre la possibilité d'exercices de simulation et de prévision.
- Un consensus semble établi quant au besoin de collaboration et de lien de confiance entre les parties prenantes pour la diffusion et l'utilisation des mesures.

Option 4 : Construire un jumeau numérique du système Saint-Laurent—Saguenay

- Plusieurs organismes sont impliqués dans la surveillance et le contrôle du fleuve Saint-Laurent et de la rivière Saguenay mais la collaboration entre les organismes doit être améliorée en ce qui concerne la collecte de données et la diffusion des résultats en découlant.
- L'utilité potentielle d'un suivi du Saint-Laurent et de la rivière Saguenay sur le plan des conditions environnementales, du mouvement des navires et de leurs émissions de GES est reconnue comme un élément important dans l'établissement d'un corridor maritime vert.
- Un jumeau numérique doit être conçu de manière à fournir des réponses à des enjeux de navigation commerciale aussi bien qu'à des questions scientifiques.

Option 5 : Utiliser les zones industrialo-portuaires à des fins de stockage et de valorisation du carbone

- La capture de carbone présente le potentiel de monétiser les réductions des émissions de dioxyde de carbone et elle joue un rôle dans la réduction des impacts du cycle de vie du carbone.
- Les parcs industriels limitrophes aux ports seraient en position pour exploiter ce potentiel commercial.
- La capture du carbone est encore aux premiers stades de développement et les participants soulignent que ses exigences opérationnelles et ses coûts sont mal connus.
- Davantage d'études, notamment des analyses avantages/coûts, sont nécessaires avant de prendre des actions dans ce domaine.

Option 6 : Sécuriser une hausse des approvisionnements électriques d'Hydro-Québec à l'horizon 2040

- L'électrification joue un rôle important dans le processus de décarbonation au Québec.

- Cette énergie est générée par des sources renouvelables et Hydro-Québec s'est engagée à accroître la production à l'horizon 2035 par l'ajout d'une puissance additionnelle de 9 000 MW.
- L'électrification des ports exigera des améliorations considérables à la livraison et à la distribution d'électricité à l'intérieur des ports, ce qui aura des incidences significatives sur les infrastructures.
- L'importance des coûts de telles améliorations nécessitera des négociations entre les administrations portuaires, les exploitants de terminaux et les transporteurs maritimes.
- Cette option est considérée en tête des priorités pour les intervenants.

Option 7 : Mutualisation des achats d'équipements portuaires carboneutres

- La décarbonation des ports nécessite d'importants investissements dans leurs équipements et leurs véhicules.
- Quelques administrations portuaires estiment qu'il leur est difficile de couvrir les coûts associés au processus de décarbonation et qu'elles n'ont pas toujours les connaissances pour procéder à des achats avisés.
- L'établissement d'une centrale d'achat est perçu comme particulièrement problématique en raison des différences de nature et de fonctionnement entre les acteurs concernés : administrations portuaires, exploitants de terminaux, arrimeurs, opérateurs portuaires privés et agences gouvernementales.
- La disparité des ports en termes de taille et de clientèle représente un défi à une mutualisation des achats.
- Les participants ont mis en doute l'urgence de cette option.

Option 8 : Élaborer un régime de placement d'obligations portuaires vertes

- Compte tenu des coûts prévisibles du processus de décarbonation, et en complément des initiatives vertes gouvernementales, ce régime serait un moyen de réunir des capitaux spécifiquement pour l'industrie portuaire.
- Plusieurs difficultés persistent dans la sélection des initiatives vertes et la détermination des demandeurs admissibles dans une industrie composée d'acteurs publics et privés.
- Des enjeux subsistent sur la durée des programmes de placement d'obligations vertes.
- Une préoccupation concerne la manière dont le processus de décarbonation serait examiné par les autorités à l'aune des besoins financiers.

Option 9 : Améliorer le réseau d'aires protégées portuaires du Saint-Laurent—Saguenay

- La participation à un corridor maritime vert s'inscrit dans la protection de l'environnement des zones côtières et marines.

- Cette option est particulièrement bénéfique pour soutenir la cohésion sociale et l'adhésion au développement de l'industrie maritime et portuaire.
- Le coût de participation à cette option est un enjeu important à considérer.
- La planification du développement portuaire devrait toujours considérer la manière dont la conservation des écosystèmes permet de réduire les émissions de CO₂.

Option 10 : Permettre aux ports de produire ou de stocker de l'énergie

- Cette option est très avantageuse en raison des technologies et de l'expertise existantes.
- L'option présente des incidences positives, car elle autorise une plus grande autonomie portuaire en approvisionnement énergétique.
- Les principaux défis portent sur les coûts additionnels des installations de stockage pour les ports et les exigences additionnelles en matière d'espace.
- La question de production et de stockage d'énergie pourrait nécessiter une modification de la Loi maritime du Canada et des lettres patentes des administrations portuaires.
- Malgré les nombreux défis, les intervenants se sont largement accordés sur la nécessité de réaliser cette option, mais à long terme.

4.3.2. Synthèse

Un coefficient de pondération a été assigné à chaque avis écrit formulé par un groupe sur une option donnée, et ce, dans le but d'attribuer un poids relatif aux paramètres de capacité de mise en œuvre, d'impact, de coût et de degré d'urgence pour chaque option proposée. Trois coefficients de pondération ont été utilisés :

- 1 pour un avis majoritairement positif relatif au paramètre sauf en ce qui concerne le coût : un faible coût se verra attribuer 1;
- 0 lorsqu'il n'y a pas d'indication claire pour déterminer si le paramètre reçoit un avis positif ou négatif;
- – 1 indique que le paramètre étudié soulève des problèmes.

Le Tableau 2 présente l'analyse pondérée des avis des participants sur les paramètres d'évaluation des options.

Tableau 2. Coefficient de pondération des paramètres d'évaluation des options proposées

Option	Capacité	Impact	Coût	Urgence
1. Créer des pôles d'avitaillement en carburant de remplacement le long du système Saint-Laurent—Saguenay	– 1	1	– 1	0
2. Exécuter des travaux de dragage de capitalisation du chenal navigable	1	0	– 1	0
3. Utiliser une plateforme commune d'intelligence artificielle de mesure des émissions de GES des navires	0	1	0	1
4. Construire un jumeau numérique du système Saint-Laurent—Saguenay	1	1	0	1
5. Utiliser les zones industrialo-portuaires à des fins de stockage et de valorisation du carbone	1	0	– 1	0
6. Sécuriser une hausse des approvisionnements électriques d'Hydro-Québec à l'horizon 2040	1	1	– 1	1
7. Mutualisation des achats d'équipements portuaires carboneutres	0	1	– 1	– 1
8. Élaborer un régime de placement d'obligations portuaires vertes	0	1	0	– 1
9. Améliorer le réseau d'aires protégées portuaires du système Saint-Laurent—Saguenay	1	1	– 1	0
10. Développer une capacité portuaire de produire ou de stocker de l'énergie	1	1	– 1	1

Le Tableau 2 permet de mettre en lumière trois principaux groupes d'options stratégiques :

Trois options obtiennent trois notes positives :

- Sécuriser une hausse des approvisionnements électriques d'Hydro-Québec;
- Développer une capacité portuaire de produire ou de stocker de l'énergie;
- Construire un jumeau numérique.

Ce résultat peut être interprété comme l'expression du besoin des administrations portuaires de moyens pour répondre aux défis de la transition énergétique exigée par la mise en œuvre de corridors maritimes verts.

Deux options obtiennent deux notes positives :

- Utiliser une plateforme commune d'intelligence artificielle de mesure des émissions de GES;
- Améliorer le réseau d'aires protégées portuaires du système Saint-Laurent—Saguenay.

Ce résultat peut être expliqué par la nécessité d'avoir une perspective large sur la réalisation d'un corridor maritime vert qui doit s'appuyer sur la diffusion d'innovations technologiques et inclure des stratégies d'aménagement du territoire limitrophe du corridor afin d'assurer la protection de l'environnement de celui-ci.

Cinq options recueillent un seul avis positif :

- Créer des pôles d'avitaillement en carburant de remplacement;
- Exécuter des travaux de dragage de capitalisation du chenal navigable;
- Utiliser les zones industrialo-portuaires à des fins de stockage et de valorisation du carbone;

- Mutualisation des achats d'équipements portuaires carboneutres;
- Élaborer un régime de placement d'obligations portuaires vertes.

On peut interpréter ce résultat à la lumière des avis qui ont été émis en atelier au sujet de ces options et qui ont souligné que certaines des actions proposées relèvent du transport maritime et ne concernent pas directement les administrations portuaires; certaines actions sont conjecturales et ne concernent qu'une fraction des ports; d'autres actions sont subordonnées à des décisions politiques, aux sources de financement, aux moyens de mise en œuvre et à l'organisme de contrôle, qui sont actuellement inconnus.

4.3.3. Actions prioritaires

À la suite des discussions en groupes, les participants ont été invités à identifier individuellement trois options prioritaires quant à leur mise en œuvre. Les résultats compilés se trouvent dans le Tableau 3. Les pourcentages représentent la proportion des votes exprimées par rapport à l'ensemble des options. Elles représentent les principaux scénarios que les membres de l'industrie portuaire du système Saint-Laurent le système Saint-Laurent—Saguenay souhaitent mettre en œuvre à la réalisation d'un corridor maritime vert.

Tableau 3. Options par ordre de priorité de mise en œuvre pour un corridor maritime vert Saint-Laurent—Saguenay

Option	Total (%)
6. Sécuriser une hausse des approvisionnements électriques d'Hydro-Québec à l'horizon 2040	30
10. Développer une capacité portuaire de produire ou de stocker de l'énergie	21
1. Créer des pôles d'avitaillement en carburant de remplacement le long du système Saint-Laurent—Saguenay	21
3. Utiliser une plateforme commune d'intelligence artificielle de mesure des émissions de GES des navires	15
4. Construire un jumeau numérique du système Saint-Laurent—Saguenay	3
5. Utiliser les zones industrialo-portuaires à des fins de stockage et de valorisation du carbone	3
8. Élaborer un régime de placement d'obligations portuaires vertes	3
9. Améliorer le réseau d'aires protégées portuaires du système Saint-Laurent—Saguenay	3
7. Mutualisation des achats d'équipements portuaires carboneutres	0
2. Exécuter des travaux de dragage de capitalisation du chenal navigable	0
Total	100

Il est significatif que les trois options prioritaires (Options 6, 10 et 1) portent sur la question de l'approvisionnement énergétique. Ces options cumulent 72 % des voix. De plus les discussions auprès des participants permettent de reconnaître l'importance des technologies numériques alors que l'Option 3, qui consiste à utiliser une plateforme commune d'intelligence artificielle de mesure des émissions de GES des navires, recueille 15 % des voix.

Par ailleurs, considérant que le principal objectif était de recenser les actions prioritaires, il ne faut pas croire que les autres options ne sont pas importantes.

Tel que mentionné dans le compte rendu synthétique d'autres options ont été reconnues comme des objectifs pertinents.

5. STRATÉGIES D'ACTIONS POUR UN CORRIDOR MARITIME VERT DU SYSTÈME SAINT-LAURENT—SAGUENAY

L'étude des expériences existantes et les résultats de la consultation menée en atelier avec les parties prenantes d'un futur corridor maritime vert dans le système Saint-Laurent—Saguenay, nous amènent à présenter le plan d'action qui suit pour la mise en œuvre de chacune des options identifiées comme étant prioritaires et ce, sur trois horizons temporels : court, moyen et long terme. L'organisation responsable de la mise en œuvre ou d'assumer le leadership de chaque recommandation est identifiée en regard de chacune d'elles. De plus, vu le haut niveau de pourcentage attribué à l'Option 3 (15 %), nous avons décidé d'ajouter cette option à notre plan d'action.

5.1. Sécuriser l'approvisionnement électrique

5.1.1. Constat

L'électrification des opérations portuaires et la fourniture d'avitaillement en énergie électrique des navires et autres moyens de transport ont le potentiel d'atteindre les objectifs de décarbonation inhérents à la mise en œuvre d'un corridor maritime vert.

La consommation énergétique des ports du fleuve Saint-Laurent et de la rivière Saguenay est évaluée à 5 000 térajoules/année. La demande énergétique en équivalent électrique de l'industrie portuaire du Québec (équipements, transports terrestres, bâtiments) est estimée à 1,4 million MWh (Comtois et al, 2024). À l'évidence, l'introduction de technologies plus efficaces en matière d'énergie tend à diminuer le coût de l'énergie, mais, selon le paradoxe de Jevons, elle conduit aussi à une hausse de la quantité d'énergie totale utilisée pour de nouveaux services énergétiques, car l'économie d'énergie est réinvestie avec profit dans de nouveaux vecteurs de croissance, ce qui peut annuler les gains obtenus. Ainsi, pour réduire la consommation, augmenter l'efficacité énergétique ne suffit pas, car la consommation future augmentera nonobstant les efforts de l'industrie portuaire à améliorer son efficacité énergétique.

Il existe une périodicité dans la demande d'énergie en fonction de la taille des ports, du type de fret manutentionné et de la fréquence d'escale des navires. L'industrie maritime et portuaire consent des efforts dans le but de transformer sa dépendance des combustibles fossiles vers l'électricité.

Au Québec les ports distribuent l'électricité à partir d'un approvisionnement stable, propre et renouvelable en hydroélectricité produite par Hydro-Québec. Ils disposent de sous-stations électriques alimentées par des lignes d'Hydro-Québec et de

transformateurs qui alimentent en charge les appareils de distribution portuaire. Les réseaux de distribution d'électricité sont destinés aux opérations des terminaux, aux transporteurs maritimes et ferroviaires et à la consommation électrique des administrations portuaires pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage, la bureautique, etc.

Le branchement électrique des navires commerciaux et de croisière au réseau terrestre des ports et l'adoption de véhicules électriques à batterie au sein des terminaux devraient augmenter au cours des prochaines années. Cela imposera des exigences additionnelles d'énergie électrique fournie par Hydro-Québec, dont la capacité à satisfaire cette demande future est critique. Cet enjeu appelle une attention immédiate de l'industrie et du gouvernement du Québec, principal actionnaire d'Hydro-Québec.

Le processus d'électrification des ports est sujet aux trois situations suivantes :

1. L'approvisionnement énergétique suffisant et garanti;
2. Les coûts de conversion des systèmes de distribution électrique portuaires;
3. L'électrification des opérations.

Ces trois situations impliquent divers acteurs : Hydro-Québec pour l'approvisionnement; les administrations portuaires pour le coût de réalisation du branchement et; les exploitants de terminaux pour l'électrification d'équipements au quai.

5.1.1.1. Approvisionnement

L'électricité au Québec offre une énergie verte à des coûts inférieurs aux coûts dans la plupart des pays. Toutefois, il n'existe à ce jour aucune preuve qu'Hydro-Québec est prête à fournir l'approvisionnement nécessaire pour remplacer les combustibles fossiles, car elle fait face à des demandes d'approvisionnement énergétique en provenance de presque chaque secteur de l'économie.

Plusieurs demandes proviennent de nouvelles activités industrielles, telles que les centres de données et la production d'hydrogène. Ces opérations revêtent toutefois un caractère spéculatif, alors que dans le cas du processus de conversion des ports, ces derniers pourront informer Hydro-Québec précisément de la quantité d'énergie requise et pour plusieurs années à venir.

5.1.1.2. Coûts de conversion portuaire

L'électrification des ports représente l'aménagement d'un nouveau système de livraison de puissance énergétique impliquant la rénovation de l'ensemble de la distribution électrique ainsi que le branchement de nouveaux câbles et

connecteurs à partir des compteurs. Ceux-ci devront être installés au début de tout processus de conversion.

Un défi particulier pour les administrations portuaires concerne l'alimentation électrique des navires à quai. La mesure des émissions de CO₂ dans les ports de grande taille révèle que 70-80 % des émissions proviennent du fonctionnement des moteurs auxiliaires lorsque les navires sont à quai (Merk, 2014).

Il faut aussi tenir compte que l'administration des ports au Québec est complexe. Les principaux terminaux relèvent d'administrations portuaires canadiennes. Certains ports sont de compétence de Transports Canada, d'autres du gouvernement du Québec et quelques-uns sont caractérisés par des formes différentes de propriété : municipale, privée, organisme sans but lucratif. Cette diversité rend difficile l'établissement d'un accord général dans l'établissement des objectifs et d'un calendrier de conversion.

5.1.1.3. Électrification des opérations

Un autre enjeu concerne les opérations de manutention de la cargaison qui sont assurées par des tiers. Ce sont des entreprises indépendantes qui louent des terminaux, qui fournissent et qui opèrent les grues et les équipements et qui traitent des transferts de marchandises entre les navires et le littoral, de leur entreposage et des échanges avec les systèmes de transport terrestre.

L'électrification de ces opérations implique une dépense d'investissement pour une vaste gamme d'équipements, dont des grues à portique de plusieurs millions de dollars, des engins de levage, des chariots élévateurs et des camions ainsi que des coûts opérationnels pour l'aménagement de structures électriques (i.e. gestion de câbles ou de jeu de barres), une réorganisation des activités ou du plan de circulation sur le site portuaire et une planification du temps/espace pour le chargement des équipements à batterie.

Le renouvellement du matériel représente une injection de capital normal pour ces entreprises, mais le coût de remplacement des combustibles fossiles conventionnels par l'électricité, notamment des batteries ou des piles à combustible, représentera un enjeu majeur pour ces entreprises dans le cadre des négociations de leurs prochains contrats avec les administrations portuaires, ce qui entraînera probablement une forme de rajustement des droits de port.

Comme il est ressorti des échanges lors de l'atelier, la mutualisation d'achats d'équipements portuaires carboneutres est une avenue souhaitable pour réduire les coûts des exploitants de terminaux et constitue un levier stratégique majeur permettant de réaliser des économies significatives et de négocier des prix plus avantageux grâce à un effet de volume.

5.1.2. Recommandations

Court terme

- A. Élaborer un inventaire détaillé de la consommation énergétique pour la totalité du port incluant les exploitants des terminaux, les équipements, les véhicules et les bâtiments (administration portuaire);
- B. Mesurer la quantité d'électricité nécessaire pour remplacer la consommation énergétique non renouvelable (administration portuaire);
- C. Présenter à Hydro-Québec les résultats des exigences de consommation électrique applicables aux ports du Québec ainsi que des estimations de consommation future (administration portuaire);
- D. Obtenir des engagements de la part d'Hydro-Québec à l'égard des quantités d'approvisionnement et des améliorations aux infrastructures de distribution de l'électricité (Transports Canada et ministère des Transports et de la Mobilité durable);

La réponse d'Hydro-Québec déterminera l'avenir de l'électrification des ports au Québec. Toute limite d'approvisionnement exigera un nouvel examen de la stratégie requise pour atteindre l'objectif de décarbonation. En supposant une réponse positive d'Hydro-Québec et de manière à établir un calendrier réaliste d'approvisionnement, les actions suivantes devront être mises en œuvre :

- i. Identifier les sources de financement (Transports Canada, ministère des Transports et de la Mobilité durable, administration portuaire) permettant aux ports du Québec d'entreprendre un processus d'électrification;
 - ii. Faire un inventaire des équipements mobiles en opération dans les ports, en indiquant l'âge de chacun d'eux et leur durée de vie utile afin de générer une estimation de leur date de remplacement (administration portuaire);
 - iii. Établir le calendrier de remplacement des équipements existants par des appareils électriques et déterminer l'emplacement et le déploiement des équipements qui assureront l'approvisionnement en électricité (administration portuaire et exploitants de terminaux);
- E. Entamer des discussions avec les exploitants de terminaux au sujet de l'objectif d'électrification de leurs opérations et des actions qui doivent être prises pour atteindre cet objectif (administration portuaire et exploitants de terminaux);

- F. Renégocier les contrats de location des terminaux si le coût d'électrification des équipements des exploitants est trop onéreux (administration portuaire et exploitants de terminaux);
- G. Investir dans l'entrepreneuriat des technologies propres et d'électrification (administration portuaire et exploitants de terminaux).

Moyen terme

- A. Exécuter le programme prévu d'électrification de chaque terminal pour lequel un accord a été conclu entre l'administration portuaire et les exploitants de terminaux concernés (administration portuaire et exploitants de terminaux);
- B. Produire un rapport annuel des démarches et actions accomplies en ce qui a trait à l'électrification et autres mesures de décarbonation des ports (administration portuaire);
- C. Faire connaître au niveau local comme international les démarches et actions accomplies en matière d'électrification (administration portuaire);
- D. Rechercher des partenaires potentiels parmi les transporteurs maritimes et ports intéressés à participer à l'établissement du corridor maritime vert (administration portuaire).

Long terme

- A. Formuler des projets conjoints entre les administrations portuaires et des entreprises privées en vue du développement de nouvelles sources d'énergies renouvelables et de la mise en place de canaux d'approvisionnement répondant aux exigences du plan de décarbonation adopté (administration portuaire).

5.2. Développer une capacité portuaire de stocker de l'énergie

5.2.1. Constat

Un des principaux inconvénients de l'électrification des ports est que l'alimentation peut être perturbée par les conditions météorologiques ou d'autres problèmes d'approvisionnement. Une panne de courant se répercute sur toutes les opérations portuaires électrifiées. Bien que les équipements alimentés par batteries continuent d'opérer lorsque l'alimentation est coupée, la recharge est interrompue. Les dispositifs de sauvegarde qui utilisent des batteries entièrement chargées pour certaines pièces d'équipement peuvent pallier de brèves interruptions, mais ils représentent des coûts supplémentaires

Les clients des ports comprennent les transporteurs maritimes, les locataires et les transporteurs terrestres. Ces acteurs ont des demandes hétérogènes sur le plan de la forme d'énergie : électrique, combustibles fossiles ou carburants de remplacement. Considérant qu'il serait peut-être exigeant pour les administrations portuaires de produire elles-mêmes ces énergies, et afin de continuer à les offrir, elles devront stocker ces énergies.

Un stockage énergétique efficace est indispensable pour répondre aux problèmes de variabilité de production de l'électricité et des énergies renouvelables. Il peut satisfaire les besoins changeants d'approvisionnement énergétique pour les opérations portuaires et celles de certains navires en escale. Il présente un niveau élevé d'acceptabilité sociale et de faibles externalités environnementales négatives.

Par ailleurs, le stockage d'énergies vertes, qui sera sous le contrôle des administrations portuaires, impliquera des coûts qui pourront varier en fonction du type de technologie, de la capacité du système, des conditions d'installation et des frais d'entretien des équipements qui utiliseront des énergies vertes.

Une alternative à l'énergie électrique est de fournir des carburants de remplacement, tels que le méthanol vert, l'ammoniac et l'hydrogène. Comme les combustibles fossiles, ils pourraient alimenter les appareils sans interruption et sans émettre de GES. Actuellement ces sources d'énergie ne sont pas une solution pratique du point de vue du fonctionnement et leurs coûts sont considérablement plus élevés que l'hydroélectricité. En outre, il serait difficile de justifier au Québec l'utilisation d'un carburant de remplacement comme l'hydrogène produit par électrolyse.

5.2.2. Recommandations

Court terme

- A. Identifier le nombre et la durée des interruptions de service d'électricité depuis 10 ans (administration portuaire);
- B. Estimer la vulnérabilité des infrastructures du système énergétique des ports contre les dommages physiques causés par les variabilités croissantes des conditions météorologiques (chercheurs académiques et consultants professionnels via administration portuaire);
- C. Déterminer le risque d'interruption du service d'électricité de chaque port au Québec (chercheurs académiques et consultants professionnels via administration portuaire);

- D. Inventorier les équipements portuaires électriques et leur capacité d'opérer de façon continue en utilisant des batteries (chercheurs académiques et consultants professionnels via administration portuaire);
- E. Inventorier la capacité des moteurs diesel existants d'assurer l'alimentation d'urgence en énergie à court terme (chercheurs académiques et consultants professionnels via administration portuaire).

Moyen terme

- A. Installer des sources d'énergies vertes à petite échelle pour alimenter des bâtiments et des infrastructures portuaires à la lumière des risques de stockage identifiés (administration portuaire);
- B. Installer, dans des conteneurs modulaires, des systèmes de stockage d'énergie par batteries qui pourront être répartis selon les besoins requis en alimentation des bâtiments et infrastructures portuaires (administration portuaire).

Long terme

- A. Mettre en place de micro-réseaux locaux de distribution d'électricité comprenant des composants interconnectés de stockage et de gestion d'énergie (administration portuaire);
- B. Développer un plan d'investissement qui privilégie le stockage d'énergies vertes dans le but de participer à la stabilité du réseau électrique et d'aplanir les variations de production de ces énergies vertes (administration portuaire);
- C. Évaluer le potentiel de stockage de carburants de remplacement de fournir l'alimentation énergétique sans émissions de GES (administration portuaire).

5.3. Créer des pôles d'avitaillement en carburant de remplacement

5.3.1. Constat

L'avitaillement des navires en carburant de remplacement implique l'approvisionnement des navires avec des combustibles à faible intensité carbonique. L'utilisation généralisée de ces carburants nécessite le développement de nouvelles infrastructures, la mise en place de protocoles de sécurité adaptés et l'acquisition de moteurs à combustion pertinents ou la modification des moteurs existants. Ce sont des tâches relevant davantage de la responsabilité des armateurs que celle des ports.

Sur le système Saint-Laurent—Saguenay, l'avitaillement des navires peut s'effectuer dans les ports ou lors d'escales en eau libre par des navires

spécialisées appelés navires ravitailleurs. Le succès de pôles d'avitaillement en carburant de remplacement le long de l'axe laurentien repose sur le respect des conditions suivantes :

1. Être stratégiquement situé le long des grandes routes maritimes mondiales;
2. Offrir un large éventail de combustibles dont le mazout lourd, le carburant marin, le diesel, le GNL et divers carburants de remplacement à des prix compétitifs;
3. Être pourvu de chaînes d'approvisionnement flexibles permettant de continuer à utiliser les infrastructures portuaires liées aux raffineries, qui sont déjà en opération;
4. Offrir des installations spécialisées pour le transfert de carburant à grande échelle qui minimisent le temps d'immobilisation du navire;
5. Répondre aux exigences réglementaires mondiales les plus rigoureuses en matière de santé, de sécurité et d'environnement pour tous les types de carburant.

Ces conditions ne sont présentement pas respectées au Québec. Dans le système Saint-Laurent—Saguenay, les deux-tiers des navires en mouvement battent pavillon étranger et les décisions d'avitaillement à leur sujet sont prises outre-mer.

Quant au tiers du trafic total des ports du Saint-Laurent—Saguenay, il est effectué par des navires qui opèrent exclusivement dans les eaux intérieures du fleuve Saint-Laurent, de la rivière Saguenay et des Grands Lacs. Pour ces navires, la demande en carburant peut être comblée localement. Conséquemment ces navires ne sont pas exposés aux exigences en matière de carburants de remplacement établies à l'étranger, bien que liés par les réglementations internationales de l'OMI. Cette situation propre au Québec offre la possibilité d'établir une offre de carburants de remplacement facile à se procurer localement et ainsi simplifier la production et la livraison du carburant tout en réalisant des économies d'échelle. Cela permet aussi d'adopter un carburant de remplacement qui n'est pas celui qui est envisagé à l'étranger.

Le Québec ne compte que deux raffineries : Suncor à Montréal-Est (capacité de 137 000 bpj) et Valero Jean-Gaulin à Lévis (capacité de 265 000 bpj). Dans tous les cas, les ports intéressés devront prévoir offrir les espaces et les équipements requis pour rendre possible un avitaillement en carburants de remplacement sécuritaire et fiable. Ces besoins devront faire l'objet d'un examen critique.

Présentement l'avitaillement des navires dans le système Saint-Laurent—Saguenay est effectué par des fournisseurs de combustible marin. Les entrevues en profondeur menées auprès des principaux acteurs du secteur énergétique indiquent que les avitailleurs exploitent leurs propres installations de stockage de carburant et effectuent les livraisons de carburant par des camions ou des navires-citernes. Les producteurs de combustibles sont conscients des enjeux de décarbonation et sont confiants dans leur capacité à répondre à la demande de

carburants de remplacement. L'approvisionnement serait comblé notamment par le développement des compagnies québécoises qui travaillent dans la recherche et la production de carburants issus des déchets et des gaz des procédés industriels. L'inventaire de production des carburants de remplacement mené par Slack et al (2024) démontre toutefois que plusieurs projets ne sont pas encore opérationnels dont certains pourraient ne jamais l'être. Dans certains cas les projets ont été reportés pour plusieurs raisons. D'autres projets ne seront jamais réalisés en raison de contraintes commerciales ou réglementaires.

La mise en œuvre d'un pôle d'avitaillement ne serait pas sans difficulté pour les ports et les exploitants de terminaux. Notamment, le transfert de carburant par navire ravitailleur ou par camion doit être fait de manière sécuritaire sans erreur de manipulation et les normes à ce sujet pour les transferts de combustibles fossiles sont bien définies et bien établies, ce qui n'est pas encore le cas pour les carburants de remplacement qui impliquent des défis environnementaux, des considérations de sécurité et des difficultés de manutention qui leur sont propres. Les normes développées récemment par l'OMI présentent des conditions d'utilisation provisoires qui seront mises à jour et améliorées avec l'expérience. Afin de réussir le transfert vers les carburants de remplacement, les conditions de température, les risques de fuite ou de déversement et autres particularités de stockage et de manutention nécessiteront des adaptations dans les ports en ce qui concerne entre autres les périmètres de sécurité et les équipements impliqués. De plus, dans le cas où différents carburants de remplacement sont transférés à bord de différents navires au même terminal, les défis pourraient être importants.

5.3.2. Recommandations

Court terme

- A. Procéder à un inventaire des sources d'approvisionnement en carburant des navires qui s'avitailent dans chaque port du système Saint-Laurent—Saguenay (chercheurs académiques et consultants professionnels via administration portuaire);
- B. Entreprendre une enquête sur les navires qui opèrent dans le système Saint-Laurent—Saguenay et font escale dans ses ports afin d'obtenir un portrait de leurs besoins actuels et futurs en carburant de remplacement (chercheurs académiques et consultants professionnels via administration portuaire);
- C. Exploiter l'opportunité des corridors maritimes verts existants (Montréal-Anvers; Montréal-St-John's) pour réduire la dépendance aux hydrocarbures en misant sur des solutions comme les biocarburants, hydrogène, ammoniac et méthanol (administration portuaire, transporteur maritime, producteur de carburant);

- D. Surveiller les écarts de prix entre les carburants de remplacement pour les navires qui circulent dans le système Saint-Laurent—Grands Lacs (Canada et États-Unis) (chercheurs académiques et consultants professionnels via administration portuaire);
- E. Engager des actions auprès de Revenu Québec afin d'harmoniser les taxes de vente sur les carburants marins de l'Ontario et du Québec (Revenu Québec, transporteur maritime, producteur de carburant).

Moyen terme

- A. Faire un relevé des normes nationales et internationales existantes sur le transfert aux quais de carburants de remplacement, et évaluer leur impact sur les opérations, les espaces et la sécurité des ports (chercheurs académiques et consultants professionnels via administration portuaire);
- B. Étudier le potentiel des biocarburants, particulièrement le biodiesel, comme la meilleure option pour alimenter en combustibles les navires, les trains et les camions des filières industrielles du système Saint-Laurent—Saguenay en ce qui a trait à sa disponibilité et à son usage comme carburant de remplacement (chercheurs académiques et consultants professionnels via administration portuaire).

Long terme

- A. Évaluer le nombre des transporteurs maritimes battant pavillon canadien et qui assurent un service domestique de transport de vrac entre les ports du Saint-Laurent, de la rivière Saguenay et des Grands Lacs, qui sont intéressés à exploiter les services écologiques et l'approvisionnement en carburant de remplacement des ports du système Saint-Laurent—Saguenay (chercheurs académiques et consultants professionnels via administration portuaire);
- B. Évaluer le nombre des transporteurs maritimes de conteneurs qui favorisent l'utilisation de carburants de remplacement, notamment dans le cadre des corridors maritimes verts entre les ports du système Saint-Laurent—Saguenay et les ports du nord-ouest de l'Europe (chercheurs académiques et consultants professionnels via administration portuaire);
- C. Développer des partenariats incluant des stratégies communes, avec des ports étrangers, dans l'offre de services écologiques menant à réaliser des corridors maritimes verts et la décarbonation du transport maritime (administration portuaire).

5.4. Utiliser une plateforme commune d'intelligence artificielle de mesure des émissions de GES des navires

5.4.1. Constat

La mise en place d'un corridor maritime vert est indissociable de l'adoption de technologies numériques communes aux administrations portuaires du corridor leur permettant de générer, stocker et traiter des données afin de modéliser les émissions de GES et d'optimiser les processus de décarbonation de l'industrie.

L'intelligence artificielle représente un outil essentiel pour la décarbonation du transport maritime en permettant d'améliorer le rendement énergétique lié à la consommation de carburant et de réduire l'empreinte carbone du transport maritime. En acquérant et analysant une vaste quantité de données, les solutions d'intelligence artificielle peuvent réduire de manière appréciable les émissions de GES. L'utilisation d'un environnement informatique et numérique standardisé permet de mutualiser les processus liés aux algorithmes de l'intelligence artificielle pour une collaboration continue entre les administrations portuaires et les transporteurs maritimes ayant trait à la mesure des émissions des gaz à effet de serre en temps réel des navires en mouvement, ancrés et à quai. Une plateforme commune permet d'assurer la conformité des transporteurs maritimes avec les règles de l'OMI, de rendre compte des progrès à la mise en œuvre de corridors maritimes verts et d'apporter une aide à la navigation intelligente.

5.4.2. Recommandations

Court terme

- A. Installer au sein des administrations portuaires des éléments d'actif de technologie de l'information. Ceux-ci peuvent inclure sans s'y limiter à l'installation de senseurs pour les procédures automatisées d'amarrage et de chargement, des remorqueurs intelligents, des barges autonomes, des drones sous-marins et aériens (administration portuaire, exploitants de terminaux);
- B. Maintenir un registre d'informations détaillées validées par les transporteurs sur le comportement quotidien des navires (ancré, à quai, en mouvement et en mer) par type et tonnage, consommation de carburant et émissions de GES pour chaque port (administration portuaire, transporteur);
- C. Développer des protocoles de sécurité et de confidentialité pour la gestion et la communication d'informations, entre les administrations portuaires, sur la performance environnementale des navires qui utilisent les ports (administration portuaire).

Moyen terme

- A. Communiquer aux autres administrations portuaires les défis techniques et opportunités rencontrés dans l'atteinte de l'objectif de zéro émission nette de GES du transport maritime sur le corridor Saint-Laurent—Saguenay (administration portuaire);
- B. Utiliser l'initiative de corridor maritime vert de Transports Canada pour favoriser des actions collaboratives entre les acteurs de l'industrie et établir des liens avec une plateforme de données (Transports Canada, administration portuaire);
- C. Évaluer le potentiel d'un mécanisme de tarification des émissions de GES du secteur maritime et portuaire à l'instar du Fonds de l'OMI (chercheurs académiques et consultants professionnels via administration portuaire).

Long terme

- A. Évaluer le potentiel de jumelage du concept de corridor maritime vert avec celui de corridor numérique du même parcours maritime afin d'accroître la compétitivité du transport maritime et portuaire (Transports Canada, chercheurs académiques et consultants professionnels via administration portuaire).

6. CONCLUSION

L'examen de 62 corridors maritimes verts initiés, en cours de prospection, au stade de préparation ou en vigueur à l'international permet d'illustrer la participation des parties prenantes de l'industrie maritime et portuaire, les objectifs de décarbonation et les stratégies concrètes de mise en œuvre. L'analyse systémique des protocoles d'entente a rendu possible l'identification de 10 options qui ont le potentiel de réaliser les objectifs de décarbonation d'un corridor maritime vert.

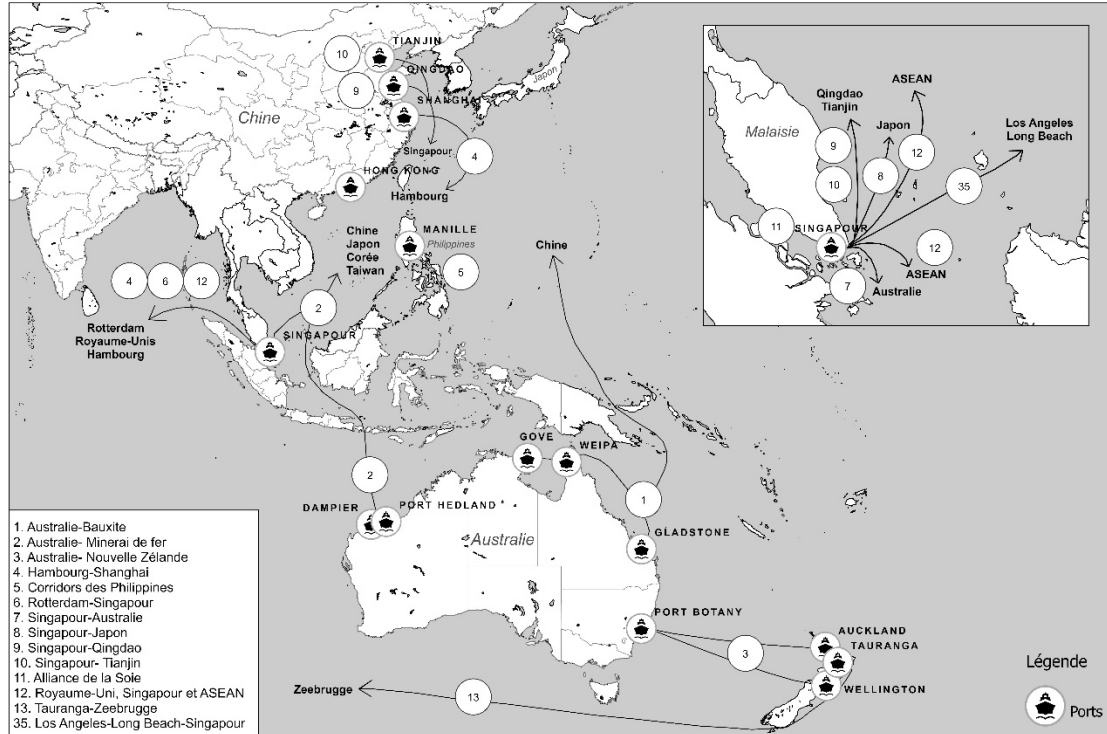
Les résultats de plusieurs enquêtes et la participation des parties prenantes de l'industrie portuaire du système Saint-Laurent—Saguenay à un atelier collaboratif a donné l'occasion de prioriser quatre options ainsi qu'une feuille de route pratique concernant la façon pour l'industrie portuaire du système Saint-Laurent—Saguenay d'atteindre la carboneutralité sur trois horizons temporels : court, moyen et long terme. Les recommandations représentent les composantes clés à l'élaboration de politiques et de plans d'actions dans la promotion du système Saint-Laurent—Saguenay en tant que corridor maritime vert en raison du rôle déterminant de l'industrie portuaire. À ces options pourraient s'ajouter les préoccupations des transporteurs maritimes et des chargeurs.

Les résultats suggèrent que les occasions les plus prometteuses de décarbonation dans la réalisation d'un corridor maritime vert du système Saint-Laurent—Saguenay s'articulent en fonction : 1) d'alliances stratégiques ; 2) de participation croisée dans un régime d'innovations ; 3) de gestion intégrée de la transition énergétique ; 4) d'actions communes pour les fonds d'investissement vert ; et 5) de renforcement mutuel des processus de logistique verte.

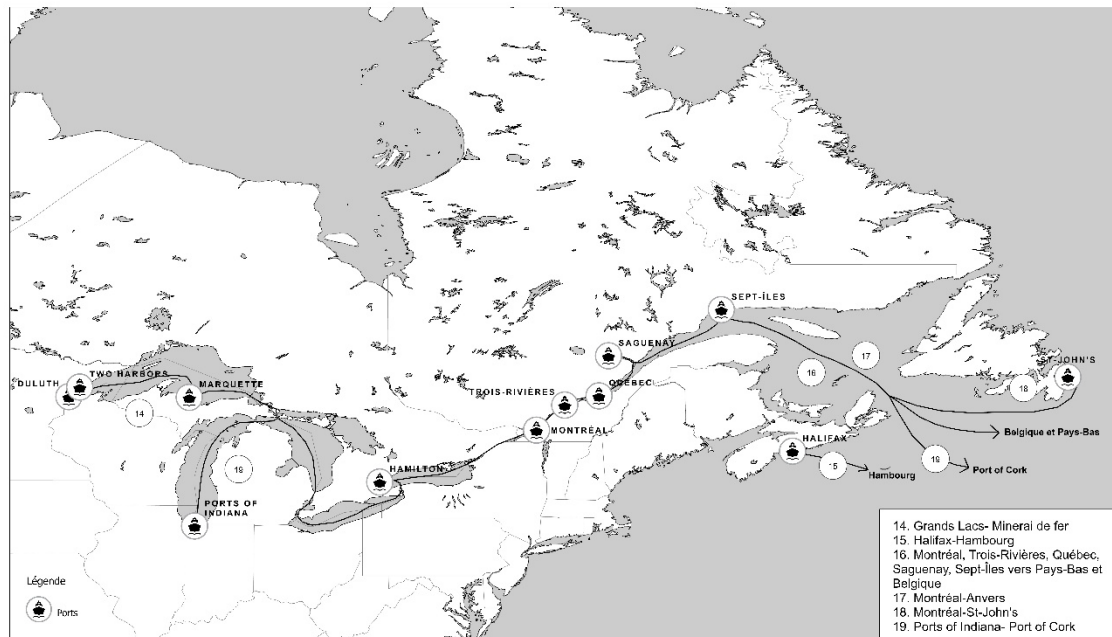
Notre étude permet d'apporter une contribution originale aux travaux des divers forums de concertations sur la décarbonation de l'industrie maritime et portuaire. La démarche est valide et permet de réfléchir sur le rôle et la responsabilité de différentes parties prenantes dans un contexte de mise en oeuvre de solutions potentielles de décarbonation et d'identifier les priorités d'investissement en infrastructures nécessaires pour mettre en place un corridor maritime vert.

ANNEXE 1. Corridors maritimes verts à l'international

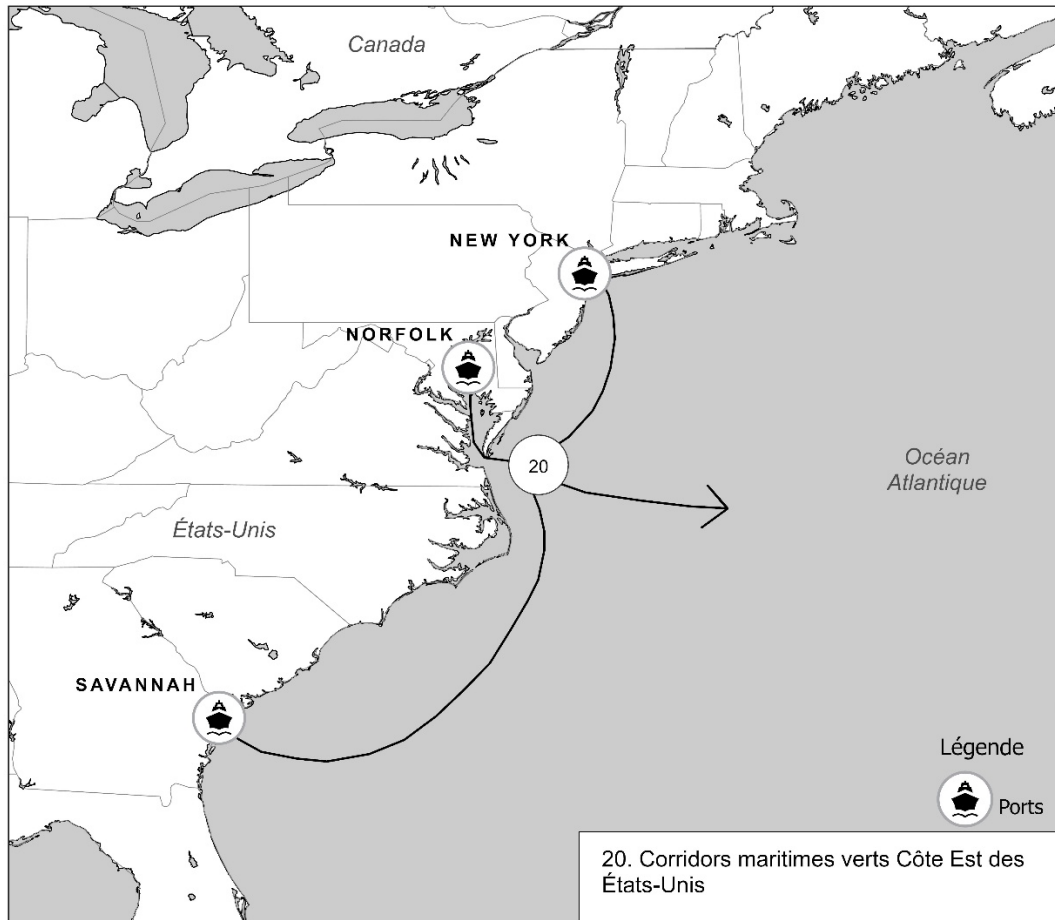
Corridors maritimes verts Asie-Pacifique et Trans-Suez



Corridors maritimes verts Grands Lacs et Saint-Laurent

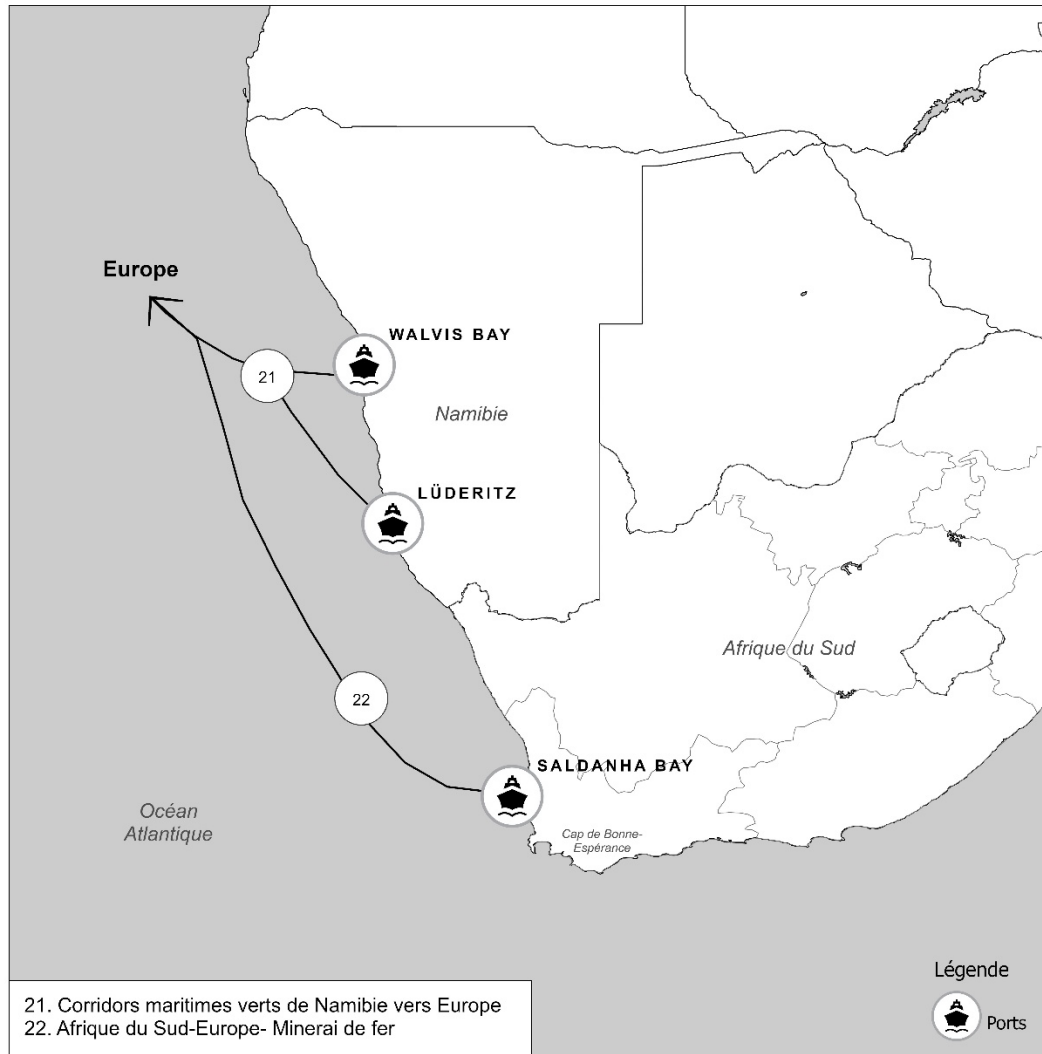


Corridors maritimes verts Côte Est des États-Unis



Source: Getting to Zero Coalition, novembre 2024. ESPG 4326, WGS84.
Production: Sarah Lutfy, décembre 2025.

Corridors maritimes verts Afrique méridionale



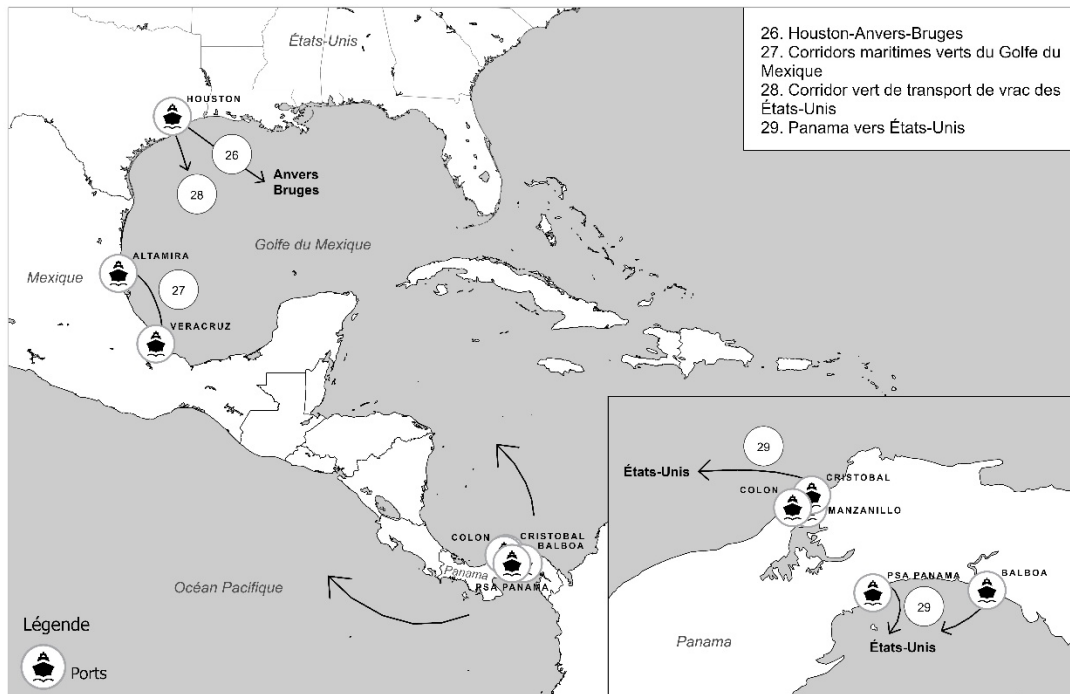
Source: Getting to Zero Coalition, novembre 2024. ESPG 4326, WGS84.
Production: Sarah Luffy, décembre 2025.

Corridors maritimes verts Amérique méridionale



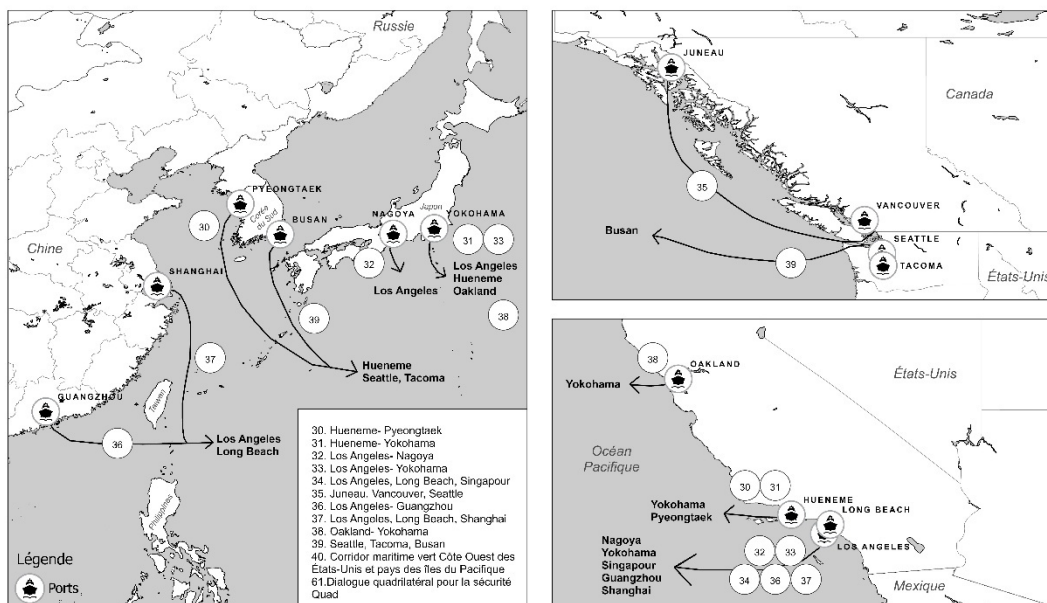
Source: Getting to Zero Coalition, novembre 2024. ESPG 4326, WGS84.
 Production: Sarah Lutfy, décembre 2025.

Corridors maritimes verts Mer des Caraïbes



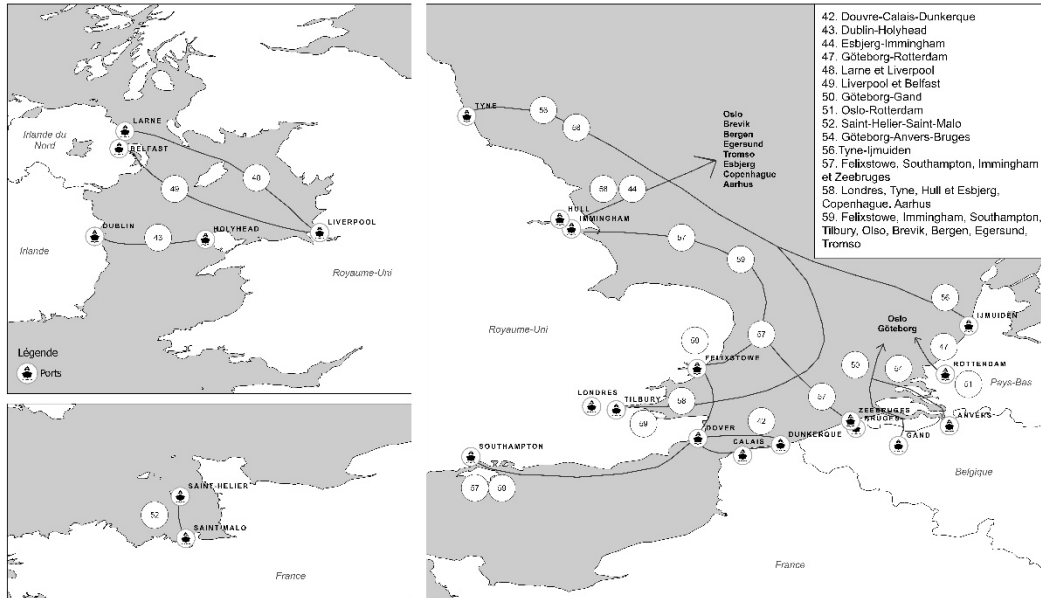
Source: Getting to Zero Coalition, novembre 2024. ESPG 4326, WGS84.
 Production: Sarah Lutfy, décembre 2025.

Corridors maritimes verts transpacifiques



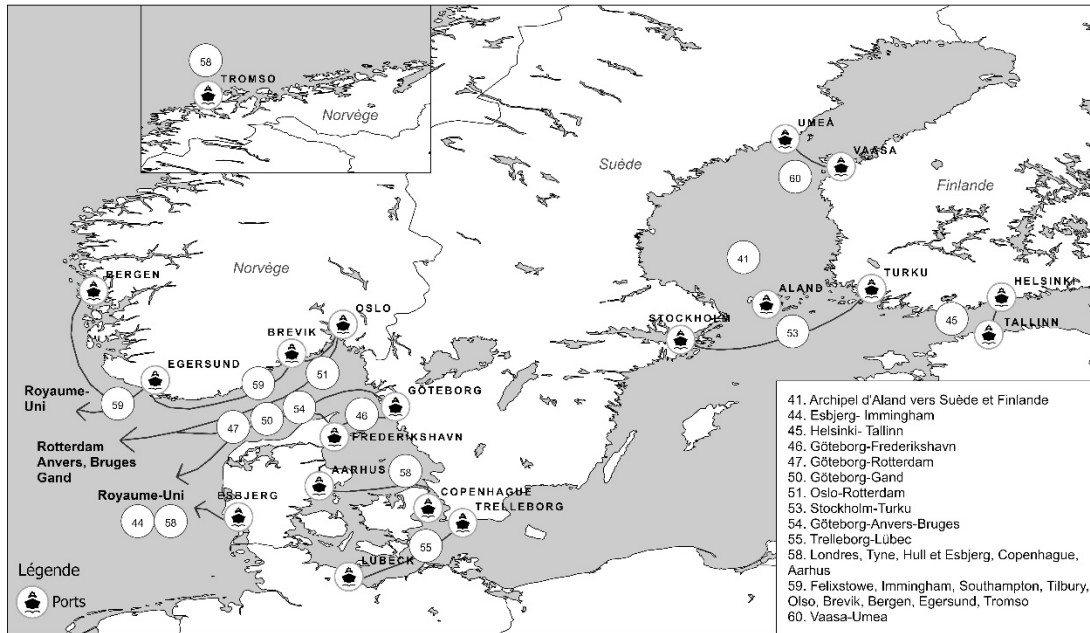
Source: Getting to Zero Coalition, novembre 2024. ESPG 4326, WGS84.
 Production: Sarah Lutfy, décembre 2025.

Corridors maritimes verts Europe de l'Ouest



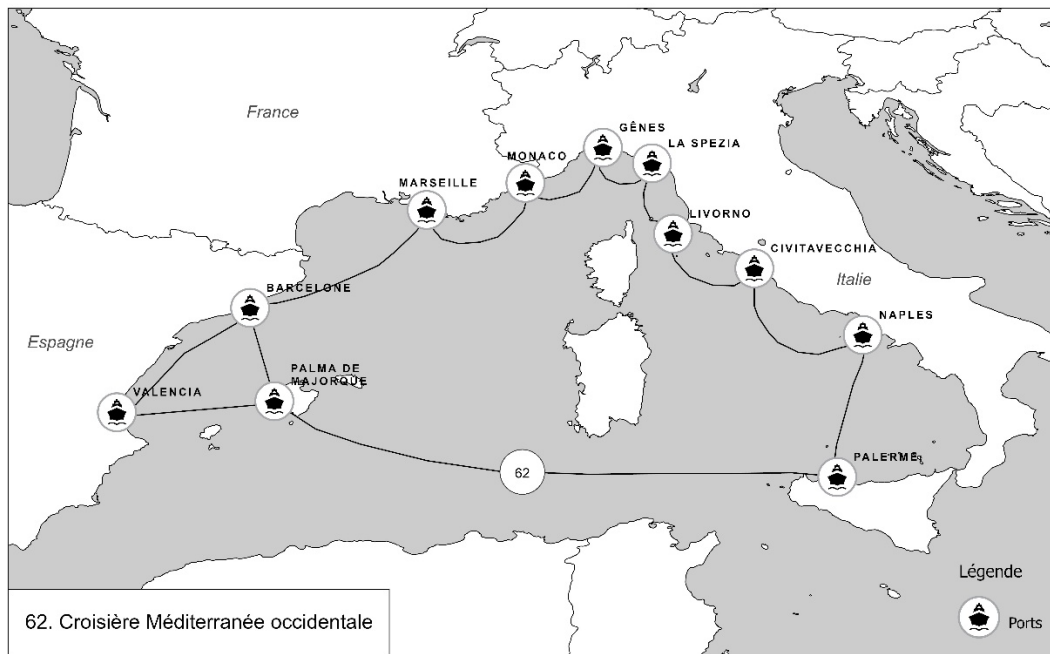
Source: Getting to Zero Coalition, novembre 2024. ESPG 4326, WGS84.
 Production: Sarah Lutfy, décembre 2025.

Corridors maritimes verts Europe du Nord-Est



Source: Getting to Zero Coalition, novembre 2024. ESPG 4326, WGS84.
 Production: Sarah Lutfy, décembre 2025.

Corridor maritime vert Méditerranée occidentale



Source: Getting to Zero Coalition, novembre 2024. ESPG 4326, WGS84.
 Production: Sarah Lutfy, décembre 2025.

ANNEXE 2. Participants à l'atelier collaboratif

NOM	TITRE	ORGANISATION
MEMBRES ORGANISATEURS		
Claude Comtois	Professeur Émérite	CIRRELT - Université de Montréal
Brian Slack	Professeur Émérite Distingué	CIRRELT - Université Concordia
Sarah Lutfy	Auxiliaire de recherche	CIRRELT - Université de Montréal
Serge Novikov	Professionnel de recherche	CIRRELT - Université de Montréal
Daniel Olivier	PDG	Maritime Intelligence
Vicky Adam	Directrice générale	Centre d'expertise en logistique portuaire
Pascale Geoffroy	Directrice	Catalyseur de changement Sekha
MEMBRES DE L'INDUSTRIE PORTUAIRE		
Gaétan Boivin	PDG	APTR
Jacques Paquin	V-P Exécutif	APTR (GTX)
Sara Dubé	V-P Affaires publiques, Partenariats et Ressources humaines	APTR (GTC)
Anick Métivier	V-P Développement stratégique	APTR
Bryan McCarthy	Directeur Innovation, Logistique et Productivité	APTR (GTI)
Claudie Gagnon	Directeur Développement durable	APTR (GTE)
Marie-Claude Blais	Directrice Opérations et Amélioration continue	APTR
Julie Gascon	PDG	APM
Marie-Claude Galarneau	V-P Exécutif, ressources humaines et stratégie	APM
Julien Baudry	Chef de cabinet et directeur relations externes	APM
Alain Bérard	Director of new business development and international affairs	APM
Mélanie Nadeau	V-P Communications et relations avec le milieu	APM
Jean-François Belzile	Directeur Opérations maritimes	APM (GTM)
Simon Savard	Analyste Veille stratégique et innovation	APM (GTI)
Chad McLarnon	Directeur Stratégie et excellence organisationnelle	APM (GTI)
Carole Nuttall	Environmental Advisor	APM
David D'Amboise	V-P Exécutif aux opérations et gestion des actifs	APM
Victor Woo	Directeur Infrastructures	APM (GTM)
Pascal Raby	V-P Opérations	APQ
Mélissa Laliberté	Responsable, Coordination plan stratégique, projets spéciaux	APQ

Patrick Robitaille	V-P Développement des affaires et Innovation	APQ
Josiane Paulin	V-P Infrastructures portuaires	APQ (GTM)
Jean-François Beaulieu	Coordonnateur des opérations	APQ (GTM)
Laurence Roy-Grégoire	Responsable transition énergétique et développement durable	APQ (GTE)
Hugues Paris	V-P Développement durable	APQ
Philippe Charest-Gélinas	Directeur Environnement	APQ (GTE)
Pierre-Luc Gosselin	Directeur Intelligence d'affaires	APQ (GTI)
Michael Perreault	Analyste en intelligence d'affaires	APQ (GTI)
Marc Drouin	Directeur Technologies de l'information et des Télécommunications	APQ
Marie-Andrée Lemelin Breton	V-P Développement organisationnel et Ressources humaines	APQ
Frédéric Lagacé	Directeur des communications	APQ (GTC)
Mélissa Sanikopoulos	Directeur Environnement et développement durable	APSI (GTE)
Frédéric Jolicœur-Tétreault	Directeur des communications	APSI (GTC)
Carl Allard	Directeur Entretien mécanique et électrique	APSI
Carl Laberge	PDG	APS
Simon Tremblay	Gestionnaire principal, Environnement et développement durable	APS (GTE)
Marc-André Savard	Directeur Opérations	APS (GTM)
Stéphanie Desforges	V-P Stratégie, Développement et ESG	APS
François St-Gelais	Communications et Relations avec la communauté	APS (GTC)
Caroline Ratté	Directrice de l'environnement et du développement durable	Bas St-Laurent et Gaspésie
Karine Otis	PDG	Baie-Comeau
Robert Bellisle	PDG	QSL
Olivier Rochette	V-P Solutions d'affaires, Infrastructures et logistique	QSL
Christian Brousseau	Directeur de l'environnement	Somavrac
Kathleen Lizé	Governance and Corporate programs	Logistec
Marie-Andrée Giguère	Environmental Program Manager	Logistec
Ricardo D'Amore	Gestionnaire Services sur le canal	Corporation de Gestion de la Voie Maritime
MEMBRES SCIENTIFIQUES		
Sylvain Lafrance	Directeur général	IMAR
Mathieu St-Pierre	PDG	SODES
Geneviève Lalonde	Coordonnatrice	RQM

RÉFÉRENCES

- ADMINISTRATION PORTUAIRE DE MONTRÉAL (APM) (2021) *Le port d'Anvers et le port de Montréal s'engagent pour la création d'un corridor maritime vert*, [En ligne],
[\[https://www.port-montreal.com/fr/le-port-de-montreal/nouvelles-et-evenements/nouvelles/communiqués-de-presse/entente-anvers\]](https://www.port-montreal.com/fr/le-port-de-montreal/nouvelles-et-evenements/nouvelles/communiqués-de-presse/entente-anvers).
- ADMINISTRATION PORTUAIRE DE MONTRÉAL (APM) (2023), [En ligne], *Le port de Montréal, QSL et Oceanex collaborent pour créer un corridor maritime vert domestique*, [En ligne],
[\[https://qsl.com/fr/le-port-de-montreal-qsl-et-oceanex-collaborent-pour-creeer-un-corridor-maritime-vert-domestique/\]](https://qsl.com/fr/le-port-de-montreal-qsl-et-oceanex-collaborent-pour-creeer-un-corridor-maritime-vert-domestique/).
- ADMINISTRATION PORTUAIRE DE MONTRÉAL (APM) (2024), [En ligne], *Consolidation de la collaboration portuaire : Saguenay et Sept-Îles rejoignent l'entente des trois ports du Saint-Laurent*, [En ligne],
[\[https://www.port-montreal.com/fr/le-port-de-montreal/nouvelles-et-evenements/nouvelles/communiqués-de-presse/5-ports\]](https://www.port-montreal.com/fr/le-port-de-montreal/nouvelles-et-evenements/nouvelles/communiqués-de-presse/5-ports).
- ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC (APQ) (2025) *Entente de collaboration entre North Sea Port et les ports de Montréal, Québec, Saguenay, Sept-Îles et Trois-Rivières*, [En ligne],
[\[https://www.portquebec.ca/communiqué-de-presse/entente-de-collaboration-entre-north-sea-port-et-les-ports-de-montreal-quebec-saguenay-sept-iles-et-trois-rivieres\]](https://www.portquebec.ca/communiqué-de-presse/entente-de-collaboration-entre-north-sea-port-et-les-ports-de-montreal-quebec-saguenay-sept-iles-et-trois-rivieres)<https://www.portquebec.ca/communiqué-de-presse/entente-de-collaboration-entre-north-sea-port-et-les-ports-de-montreal-quebec-saguenay-sept-iles-et-trois-rivieres/>
- AMERICAN BUREAU OF SHIPPING (ABS) (2022) *Technology trends*, Spring : ABS, 19 p.
- AMERICAN BUREAU OF SHIPPING (ABS) (2023) *An Approach to Green Shipping Corridor Modeling and Optimization*, Spring : ABS, 68 p.
- AQUADUCTUS (2024) *Hydrogen infrastructure in the North Sea*, [En ligne],
[\[https://aquaductus-offshore.de/#project-execution\]](https://aquaductus-offshore.de/#project-execution).
- ARUP (2025) *Ports as clean energy hubs. How port cities can power the global energy transition*, 58 p. [En ligne],
[\[https://www.arup.com/insights/Why-ports-have-a-future-as-green-energy-hubs/\]](https://www.arup.com/insights/Why-ports-have-a-future-as-green-energy-hubs/),
- ASSOCIATION OF AMERICAN PORT AUTHORITIES (2024) *Port decarbonization survey : trends and lessons learned*, Washington D.C : AAPA, 32 p.

- AUSTRALIAN GOVERNMENT, GEOSCIENCE AUSTRALIA (2024) *Australia's energy commodity resources 2024. Hydrogen*, July 15, [En ligne],
[<https://www.ga.gov.au/aecr2024/hydrogen>].
- BAHTIĆ, F. (2021) «World's 1st all-electric container terminal completed», *Offshore energy*, August 21, [En ligne],
[<https://www.offshore-energy.biz/long-beach-port-completes-1-49-billion-all-electric-container-terminal/>].
- BAROUDI, H.A., AWOYOMI, A., PATCHIGOLLA, K., JONNALAGADDA, K. & ANTHONY, E.J. (2021) «A review of large-scale CO2 shipping and marine emissions management for carbon capture, utilisation and storage», *Applied Energy*, 287 : 1-42.
- BERRY, R. (2022) «Port of Gothenburg unveils world first cold ironing concept for tankers», *Ship energy*, [En ligne],
[<https://ship.energy/technology/port-of-gothenburg-unveils-world-first-cold-ironing-concept-for-tankers/>].
- CATALYTIC CLIMATE FINANCE FACILITY (CCFF) (2025) *Soutenir des structures mixtes afin de mobiliser des capitaux privés pour le financement climatique sur des marchés en développement*. [En ligne],
[<https://www.ccfacility.org/>].
- CLIMATE BONDS INITIATIVE (2025) *Channelling trillions into climate solutions*, [En ligne],
[<https://www.climatebonds.net/>].
- COMTOIS, C. (2022) *Transition énergétique. Défis et possibilités*, Rapport technique à l'Administration Portuaire de Montréal, Montréal : APM.
- COMTOIS, C. (2023) «La transition énergétique», In *État du transport maritime au Québec*, Rimouski : IMAR, 7.2.
- COMTOIS, C., CLOUTIER, J., NOVIKOV, S., RENAUD-MOYNEUR, S. & SLACK, B. (2024) *Consommation énergétique et émissions de GES des ports du Saint-Laurent*, Publication No. CIRRELT 2024-37, Montréal : Université de Montréal, 31 p. [En ligne],
[https://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2024/05/RAPPORT2024_ConsEnergie-GES_St-Laurent.pdf].
- DNV GL (2019) «The digital twin concept explained», *Safety4Sea*, [En ligne],
[<https://safety4sea.com/cm-the-digital-twin-concept-explained/>].

- DOLATABADI, S.H., MASODZADEH, P.G., ISHAQ, H. & CRAWFORD, C. (2025) Green shipping corridors: An overview of Pacific Northwest region and key ports, *Ocean & Coastal Management*, 269, 22 p.
- DP WORLD (2024) *Championing Mangrove Conservation: DP World's Commitment to Ecological Sustainability*, [En ligne], [\[Championing Mangrove Conservation | DP World's Ecological Initiatives | News | DP World USA\]](#).
- DYNABUY (2024) *Tout savoir sur la mutualisation des achats*, [En ligne], [\[https://www.dynabuy.fr/guides/tout-savoir-sur-la-mutualisation-des-achats/\]](https://www.dynabuy.fr/guides/tout-savoir-sur-la-mutualisation-des-achats/).
- ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA (2025) *Rapport sur les affectations des obligations vertes et leurs impacts 2023-2024*, Ottawa : ECCC, 79 p. [En ligne], [\[https://www.canada.ca/fr/ministere-finances/programmes/politique-secteur-financier/titres/programme-dette/rapport-affectations-obligations-vertes-impacts-2023-2024.html\]](https://www.canada.ca/fr/ministere-finances/programmes/politique-secteur-financier/titres/programme-dette/rapport-affectations-obligations-vertes-impacts-2023-2024.html).
- EUROPEAN COMMISSION (2025) *New EU rules aiming to decarbonise the maritime sector take effect*, [En ligne], [\[https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/new-eu-rules-aiming-decarbonise-maritime-sector-take-effect-2025-01-10_en\]](https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/new-eu-rules-aiming-decarbonise-maritime-sector-take-effect-2025-01-10_en).
- GLOBAL MARITIME FORUM (2022) *Green corridors : definitions and approaches*. Report for Getting to Zero Coalition, Copenhagen : GMF, 13 p.
- GLOBAL MARITIME FORUM (2023) *Fuelling the decarbonation of iron ore shipping between Western Australia and East Asia with clean ammonia. Green shipping corridor feasibility assessment*, Copenhagen : GMF, 68 p.
- GLOBAL MARITIME FORUM (2024) *Annual progress report on green shipping corridors*, Report for Getting to Zero Coalition, Copenhagen : GMF, 37 p.
- HAMBURG PORT AUTHORITY (2018) *We make the harbor better accessible*, [En ligne], [\[https://hpa-staging.neusta-is.de/en/hpa-360/construction-projects/navigation-channel-adjustment\]](https://hpa-staging.neusta-is.de/en/hpa-360/construction-projects/navigation-channel-adjustment).
- INNOVATION MARITIME (IMAR) (2021) *État du transport maritime au Québec*, Rimouski : IMAR, 76 p.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2024) «CCUS Projects Database», In Fan Dai, *The emergence of carbon capture, utilization, and storage: policy implications for the Indo-Pacific*, NBR Special report # 112, *Restoring Energy Security amid Transitions in the Indo-Pacific*, Seattle : NBR, pp. 15-25.

KALOSH, A. (2023) «First cruise-led green corridor details its action plan», *Seatrade Cruise News*, April 7.

LLOYD'S REGISTER (2023a) *MPA Singapore and Lloyd's Register sign 'Silk Alliance' MoU aimed at driving zero-emission shipping across the Indian and Pacific Oceans*, July 5, [En ligne],
[\[https://www.mpa.gov.sg/docs/mpalibraries/media-releases/media-release---mpa-singapore-and-lloyds-register-sign-silk-alliance-mou.pdf?sfvrsn=e8366a70_0\]](https://www.mpa.gov.sg/docs/mpalibraries/media-releases/media-release---mpa-singapore-and-lloyds-register-sign-silk-alliance-mou.pdf?sfvrsn=e8366a70_0).

LLOYD'S REGISTER (2023b) *The Silk Alliance : a progress report*, London : LR, 11 p.

LOBINA, D.R. (2025) «Hydrogen sets sail for zero-emission shipping in the Netherlands», *Euronews*, 01/09/2025, [En ligne],
[\[https://www.euronews.com/my-europe/2025/09/01/hydrogen-sets-sail-for-zero-emission-shipping-in-the-netherlands\]](https://www.euronews.com/my-europe/2025/09/01/hydrogen-sets-sail-for-zero-emission-shipping-in-the-netherlands).

LUTFY, S. & COMTOIS, C. (2025) «Dimensions géopolitiques et défis des corridors maritimes verts de l'Indo-Pacifique», In F. Lasserre, B. Courmont & E. Mottet (eds) *L'ère de l'Indo-Pacifique. Chimère ou réalité durable*, Québec : Presses de l'Université du Québec.

MAERSK McKINNEY MØLLER CENTER (2022) *Green corridor in Northern Europe and the Baltic Sea*, [En ligne],
[\[https://www.zerocarbonshipping.com/projects/green-corridor-in-northern-europe-and-the-baltic-sea\]](https://www.zerocarbonshipping.com/projects/green-corridor-in-northern-europe-and-the-baltic-sea).

MARITIME AND PORT AUTHORITY OF SINGAPORE (2009) «Bunkering», [En ligne],
[\[https://web.archive.org/web/20150107064443/http://www.mpa.gov.sg/sites/port_and_shipping/port/bunkering/bunkering.page\]](https://web.archive.org/web/20150107064443/http://www.mpa.gov.sg/sites/port_and_shipping/port/bunkering/bunkering.page).

MARITIME AND PORT AUTHORITY OF SINGAPORE (MPAS) (2023) *Maritime and Port Authority of Singapore, Port of Los Angeles and Port of Long Beach unveil partnership strategy on green and digital shipping corridor*, [En ligne],
[\[https://www.mpa.gov.sg/media-centre/details/maritime-and-port-authority-of-singapore-port-of-los-angeles-and-port-of-long-beach-unveil-partnership-strategy-on-green-and-digital-shipping-corridor\]](https://www.mpa.gov.sg/media-centre/details/maritime-and-port-authority-of-singapore-port-of-los-angeles-and-port-of-long-beach-unveil-partnership-strategy-on-green-and-digital-shipping-corridor).

MARITIME AND PORT AUTHORITY OF SINGAPORE (MPAS) & PORT OF ROTTERDAM AUTHORITY (PRA) (2022) *Maritime and Port Authority of Singapore and Port of Rotterdam to establish world's longest green and digital corridor for efficient and sustainable shipping*, [En ligne],
[\[https://www.mpa.gov.sg/media-centre/details/maritime-and-port-authority-of-singapore-and-port-of-rotterdam-to-establish-world-s-longest-green-and-digital-corridor-for-efficient-and-sustainable-shipping\]](https://www.mpa.gov.sg/media-centre/details/maritime-and-port-authority-of-singapore-and-port-of-rotterdam-to-establish-world-s-longest-green-and-digital-corridor-for-efficient-and-sustainable-shipping).

MARITIME AND PORT AUTHORITY OF SINGAPORE (MPAS) & PORT OF ROTTERDAM AUTHORITY (PRA) (2024) *Singapore-Rotterdam green and digital shipping corridor accelerates digitalisation and decarbonisation with new global value-chain partners*, [En ligne],
[\[https://www.mpa.gov.sg/docs/mpalibraries/media-releases/smw-2024-media-release---singapore-rotterdam-green-digital-shipping-corridor-accelerates-digitalisation-and-decarbonisation-with-new-global-value-chain-partners.pdf?sfvrsn=8ad452d3_1\]](https://www.mpa.gov.sg/docs/mpalibraries/media-releases/smw-2024-media-release---singapore-rotterdam-green-digital-shipping-corridor-accelerates-digitalisation-and-decarbonisation-with-new-global-value-chain-partners.pdf?sfvrsn=8ad452d3_1).

MERK, O. (2014) *Shipping emissions in ports*, Discussion paper 2014-20, Paris : International Transport Forum, OECD, 38 p.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (2024) *Les aires marines protégées au Québec*, [En ligne],
[\[https://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/aires_protegees/aires-marines-protegees.htm\]](https://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/aires_protegees/aires-marines-protegees.htm).

MINISTÈRE DES FINANCES (2024) *Obligations vertes*, [En ligne],
[\[https://www.finances.gouv.qc.ca/ministere/financement/obligations_vertes/\]](https://www.finances.gouv.qc.ca/ministere/financement/obligations_vertes/).

MINISTÈRE DES TRANSPORTS (2021) *Avantage Saint-Laurent. La nouvelle vision maritime du Québec*, [En ligne], 44 p.
[\[https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/transports/ministere-des-transport/publications-amd/Politiques_ministerielles/avantage-st-laurent.pdf\]](https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/transports/ministere-des-transport/publications-amd/Politiques_ministerielles/avantage-st-laurent.pdf).

MIRAVAL, S, FLORIAN, M. & VAUFLEURY, M. (2020) «Le stockage d'énergie : cartographie, risques et pistes de réflexion», *Hygiène et sécurité du travail*, 260 : 6-11.

MOHAN, G. & GOVELLA, K. (2022) *The future of Quad and the emerging architecture in the Indo-Pacific*, Policy Paper, Washington D.C. : GMF, 18 p.

MULLER (2016) «Deepening divide over Elbe dredging», *Deutsche Welle (DW)*, [En ligne],
[\[https://www.dw.com/en/deepening-divide-over-elbe-dredging/a-36833744\]](https://www.dw.com/en/deepening-divide-over-elbe-dredging/a-36833744).

- NICOLI, F. & BEETSMA, R. (2024) «Joint public procurement as a tool for European Union industrial policy», *Policy Brief*, 18(24): 14 p.
- NORTH SEA PORT (2022) *Energy, hydrogen, carbon capture utilisation and storage, electrification*, [En ligne],
[\[https://en.northseaport.com/content/detail/667/energy#z746\]](https://en.northseaport.com/content/detail/667/energy#z746).
- PORT OF ANTWERP-BRUGES (2020) *Port of Antwerp-Bruges – APICA Digital Twin*, [En ligne],
[\[https://sustainableworldports.org/project/port-of-antwerp-bruges-apica-digital-twin/\]](https://sustainableworldports.org/project/port-of-antwerp-bruges-apica-digital-twin/).
- PORT OF DOVER (2022) *Port Of Dover A Step Closer To Becoming UK's First Green Shipping Corridor*, [En ligne],
[\[https://www.portofdover.com/news/port-of-dover-a-step-closer-to-becoming-uks-first-green-shipping-corridor/\]](https://www.portofdover.com/news/port-of-dover-a-step-closer-to-becoming-uks-first-green-shipping-corridor/).
- PORT OF LONG BEACH (2024) *Study released for Pier S Battery Energy Storage System*, [En ligne],
[\[https://polb.com/port-info/news-and-press/study-released-for-pier-s-battery-energy-storage-system-12-13-2024/\]](https://polb.com/port-info/news-and-press/study-released-for-pier-s-battery-energy-storage-system-12-13-2024/).
- PORT OF LOS ANGELES (LA) (2023) *Ports of Los Angeles and Guangzhou to partner on digital technology and green shipping corridor. New agreement focuses on creating more sustainable shipping routes between the two ports; promoting supply chain digitization*, [En ligne],
[\[https://www.portoflosangeles.org/references/2023-news-releases/news_102423_guangzhou_mou\]](https://www.portoflosangeles.org/references/2023-news-releases/news_102423_guangzhou_mou).
- PORT OF TYNE (2023) *Leading the way for green shipping corridors in the UK*, [En ligne],
[\[https://www.portoftyne.co.uk/news-and-media/news/study-on-decarbonisation-of-maritime-industry-highlights-collaboration-and-investment-as-key\]](https://www.portoftyne.co.uk/news-and-media/news/study-on-decarbonisation-of-maritime-industry-highlights-collaboration-and-investment-as-key).
- RENAUD-MOYNEUR, S., COMTOIS, C. & SLACK, B. (2024) *Dimension normative de la décarbonation de l'industrie maritime et portuaire sur le système Saint-Laurent*, 49 p. ;
- RÉSEAU QUÉBEC MARITIME (2023) *Guide 2023-2025. Programme de recherche visant l'atténuation des impacts de la navigation commerciale sur les écosystèmes*, Rimouski : RQM, 20 p. [En ligne],
[\[https://www.rqm.quebec/wp-content/uploads/2022/10/PLAINE_Guide-Appel-PROJETS_Octobre2022.pdf\]](https://www.rqm.quebec/wp-content/uploads/2022/10/PLAINE_Guide-Appel-PROJETS_Octobre2022.pdf).

- ROSENOEGGER, J, (2025) «The Shanghai achievement : how ship-to-ship CO₂ transfer advances maritime carbon capture», Maritime Innovation, July 23, [En ligne],
[\[https://maritime-innovations.com/world-first-maritime-carbon-capture-ship-transfer/\]](https://maritime-innovations.com/world-first-maritime-carbon-capture-ship-transfer/).
- SANCHEZ-GONZALEZ P.L., DIAZ-GUTIÉRREZ, D., LEO, T.J. & NUNEZ-RIVAS, L.R. (2019) «Toward digitalization of maritime transport», *Sensors*, 19 (926) : 1-26.
- SERVICES PUBLICS ET APPROVISIONNEMENT CANADA (2025) *Bilan 2024 et projets futurs : Initiative canadienne d'approvisionnement collaboratif*, Ottawa : SPAC, [En ligne],
[\[https://www.canada.ca/fr/services-publics-approvisionnement/services/achats/opportunités-approvisionnement-collaboratif-gouvernements-autres-organisations-admissibles/bilan-2024-projets-futurs.html\]](https://www.canada.ca/fr/services-publics-approvisionnement/services/achats/opportunités-approvisionnement-collaboratif-gouvernements-autres-organisations-admissibles/bilan-2024-projets-futurs.html).
- SHANGHAI MUNICIPAL TRANSPORTATION COMMISSION (SMTTC), PORT OF LOS ANGELES (LA) & PORT OF LONG BEACH (LB) (2023) *Green shipping corridor implementation plan outline*, [En ligne],
[\[https://www.c40.org/wp-content/uploads/2023/09/Green-Shipping-Corridor-GSC_presentation_V23_082123_ENG-compressed.pdf\]](https://www.c40.org/wp-content/uploads/2023/09/Green-Shipping-Corridor-GSC_presentation_V23_082123_ENG-compressed.pdf).
- SHARMA, T., KURZ, W.A., FELLOWS, M., MACDONALD, A.L., RICHARDS, J., SEUTIN, C.G., RICHARDSON, K. & KEENLEYSIDE, K. (2023) *Série de l'Atlas du carbone de Parcs Canada : Dynamique du carbone dans les forêts des parcs nationaux du Canada*, Gatineau : Agence Parcs Canada, 106 p. [En ligne],
[\[https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/4cc14294-b40d-40f2-bb27-201e40e1ded4/resource/6d33c2a9-4955-46a6-933a-9f8b2a3690c9\]](https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/4cc14294-b40d-40f2-bb27-201e40e1ded4/resource/6d33c2a9-4955-46a6-933a-9f8b2a3690c9).
- SHIP AND BUNKER (2024) «Only 3% of global ports equipped for shore power», *Ship and Bunker*, October 30, [En ligne],
[\[https://shipandbunker.com/news/world/955127-only-3-of-global-ports-equipped-for-shore-power\]](https://shipandbunker.com/news/world/955127-only-3-of-global-ports-equipped-for-shore-power).
- SLACK, B. NGUYEN, U.P., NOVIKOV, S. & COMTOIS, C. (2024) *Décarbonation du transport maritime : examen systématique des carburants de remplacement et des technologies vertes*, Publication No. CIRRELT 2024-13, Montréal : Université de Montréal, 54 p. [\[https://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2024/05/RAPPORT2024_maritime_Carburant-Techno_vertes_QC.pdf\]](https://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2024/05/RAPPORT2024_maritime_Carburant-Techno_vertes_QC.pdf).

- SLACK, B. NGUYEN, U.P, NOVIKOV, S. & COMTOIS, C. (2025) *Étude comparative des carburants de remplacement pour le transport maritime sur le système Saint-Laurent*, Publication No. CIRRELT 2025-20, Montréal : Université de Montréal, 22 p.
- TRANSPORTS CANADA (2025) *Corridors maritimes verts*, [En ligne], [\[https://tc.canada.ca/fr/transport-maritime/pollution-marine-intervention-environnementale/corridors-maritimes-verts\]](https://tc.canada.ca/fr/transport-maritime/pollution-marine-intervention-environnementale/corridors-maritimes-verts).
- VERBEECK, C. & COMTOIS, C. (2017) *Situation concurrentielle des ports du Saint-Laurent au regard de son chenal principal de navigation*, Rapport au Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports. Québec: MTMDDET, 162 p.
- WANG J.G., LI, H.H., YANG, Z.L. & GE, Y.E. (2024) «Shore power for reduction of shipping emission in port : a bibliometric analysis», *Transportation Research Part E*, 188 : 1-27.