

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

**Consommation énergétique et émissions
de gaz à effet de serre des ports du Saint-
Laurent**

**Claude Comtois
Josyane Cloutier
Serge Novikov
Sarah Renaud-Moyneur
Brian Slack**

Octobre 2024

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

Consommation énergétique et émissions de gaz à effet de serre des ports du Saint-Laurent

Claude Comtois*, Josyane Cloutier, Serge Novikov, Sarah Renaud-Moyneur, Brian Slack

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

Résumé. L'industrie du transport maritime s'est fixée l'objectif d'atteindre la carboneutralité de ses activités d'ici 2050. Pour ce faire, l'Organisation maritime internationale (OMI) a formalisé une série de principes, normes, règles et procédures afin de guider les États, les organisations et acteurs du milieu maritime dans le processus. La démarche débute par une description du système portuaire et de la navigation maritime commerciale en opération sur le fleuve Saint-Laurent et la rivière Saguenay. S'ensuit une présentation des dispositions réglementaires auxquelles sont soumis les administrations portuaires et les transporteurs maritimes en matière de décarbonation. Puis il met l'accent sur un examen des dépenses énergétiques et de production de GES des installations portuaires du système laurentien. L'étude met ensuite l'accent sur la consommation de carburant et les émanations de polluants des navires en mouvement et en escale sur le fleuve Saint-Laurent et la rivière Saguenay. Enfin le manuscrit présente les enjeux de décarbonation auxquels sont confrontés les ports et les transporteurs maritimes.

Mots-clés : transport maritime, port, Saint-Laurent, droit, décarbonation, consommation énergétique, gaz à effet de serre.

Remerciements : Cette recherche est financée par le Réseau Québec Maritime dans le cadre des appels à projet 2023 du programme PLAINE (Octroi #2023PS01) et par les administrations portuaires de Montréal, Québec, Trois-Rivières, Saguenay, Sept-Îles, l'Alliance Verte, Groupe Desgagnés, American Bureau of Shipping, le Centre d'expertise en Logistique portuaire et le Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport.

Results and views expressed in this publication are the sole responsibility of the authors and do not necessarily reflect those of CIRRELT.

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

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada, 2024

© Comtois, Cloutier, Novikov, Renaud-Moyneur, Slack et CIRRELT, 2024

TABLE DES MATIÈRES

CONTENU	PAGE
1. INTRODUCTION	1
1.1. Mise en contexte.....	1
1.2. Objectif et questionnement	3
2. CONDITIONS ACTUELLES DU TRANSPORT MARITIME ET PORTUAIRE...	3
3. DISPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES	5
3.1. Situation existante	5
3.1.1. International.....	5
3.1.2. Canada.....	6
3.2. Dimension normative de décarbonation	8
3.2.1. Adaptation sélective	8
3.2.2. Capacité institutionnelle.....	9
3.2.3. Discussion	9
4. CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET ÉMISSIONS DE GES DES PORTS DU SYSTÈME SAINT-LAURENT	10
4.1. Consommation énergétique des ports	11
4.2. Émissions de GES des ports	13
5. CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET ÉMISSIONS DE GES DES NAVIRES EN ESCALE SUR LE SYSTÈME SAINT-LAURENT	15
5.1. Consommation énergétique des navires	15
5.2. Émissions de GES des navires.....	17
6. ENJEUX DE DÉCARBONATION DE L'INDUSTRIE MARITIME ET PORTUAIRE	20
6.1. Enjeux portuaires	20
6.2. Enjeux maritimes	21
7. CONCLUSION	24
8. RÉFÉRENCES	25

1. INTRODUCTION

1.1. Mise en contexte

Les dépenses énergétiques sont un facteur déterminant de l'activité de l'industrie maritime et portuaire. À l'échelle mondiale, le transport maritime consomme environ 200 Mt équivalent pétrole (IMO, 2021a). Environ 49,7 % de la flotte mondiale utilise du mazout et de l'huile lourde, 32,3 %, du mazout léger, 12,1 % du gazole marin et 5,9 %, du gaz naturel liquéfié (Statistica, 2023). La consommation énergétique du transport maritime est surtout déterminée par la consommation des navires en transit.

La question est plus complexe dans les ports. On distingue cinq opérations portuaires qui nécessitent une alimentation en énergie : 1) l'accès maritime à l'aide des navires de service portuaire; 2) l'avitaillement des navires et l'électrification à quai; 3) les activités de manutention (engins de levage, véhicules, etc); 4) les bâtiments (bureaux, salle de contrôle, installations de stockage) et 5) le transfert des marchandises par camion ou par train. La demande énergétique concerne aussi les aires communes telles que les routes, les chemins de fer, les quais et les jetées. La consommation énergétique est échelonnée en fonction de la taille de ces activités (Yang & Lin, 2013; DNV, 2020). Les sources d'approvisionnement énergétique utilisées dans les ports proviennent pour l'essentiel du pétrole, du gaz naturel et de l'électricité (Puig *et al*, 2022).

La demande en énergie de l'industrie maritime et portuaire devrait s'accroître en raison de la croissance du commerce maritime et des activités du secteur manufacturier, de l'augmentation du nombre de navires, de l'expansion des terminaux maritimes et de l'introduction de nouveaux équipements portuaires (Kim *et al*, 2023).

À l'évidence, la consommation énergétique de l'industrie maritime et portuaire est liée à des incidences environnementales négatives. En 2018, le transport maritime international et domestique compte pour 1 076 Mt d'émissions de gaz à effet de serre (GES) en équivalent dioxyde de carbone. Cela représente 2,89 % du total des émissions anthropiques mondiales de CO₂ (IMO, 2021b). Entre 55 % et 77 % des émissions de GES d'une zone portuaire proviennent des navires (Hulskotte & Denier van der Gon, 2010). La consommation énergétique des installations et des opérations représente entre 23 % et 45 % des émissions portuaires de GES. Quant aux émissions du transport terrestre depuis les ports ou vers ceux-ci, elles peuvent atteindre le double des émissions portuaires (Bergqvist & Monios, 2019).

En 2018, l'Organisation maritime internationale (OMI) a adopté une stratégie de réduction des émissions de carbone provenant des navires sous deux volets. Le premier consiste à réduire les émissions de CO₂ par activité de transport, en moyenne pour l'ensemble des transports maritimes internationaux, d'au moins 40 % d'ici à 2030, en poursuivant l'action menée pour atteindre 70 % d'ici à 2050,

par rapport à 2008. Le second vise à réduire le volume total d'émissions annuelles de GES par tonne de marchandise de 50 % sous le niveau 2008 à l'horizon 2050 et, éventuellement, une décarbonation complète du secteur (IMO, 2018). Par ailleurs, les accords mondiaux sur le changement climatique soulignent l'importance de maintenir l'augmentation de la température moyenne mondiale en-dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels et à poursuivre des actions pour limiter l'élévation de la température à 1,5°C (UNFCCC, 2016). Les trajectoires qui limitent le réchauffement global à 1,5°C sans dépassement supposent une réduction des émissions de CO₂ jusqu'en 2030 et au-delà en vue d'atteindre l'objectif de neutralité carbone en 2050. Ces objectifs réglementaires astreignent l'industrie maritime et portuaire à réduire ses émissions de GES.

Traditionnellement la performance de l'industrie maritime et portuaire se mesure à l'aide d'indicateurs de productivité, d'efficacité, de durabilité, de compétitivité et de rentabilité. Les coûts de l'énergie ont été l'un des principaux facteurs déterminants. Mais l'industrie doit désormais ajouter la question des émissions de GES. Les transporteurs, les administrations portuaires et les exploitants de terminaux de par le monde cherchent les moyens de réduire leur facture énergétique (Sadiq *et al*, 2021). Par ailleurs, la sensibilisation accrue à la pollution qui résulte de la consommation et de la production d'énergie et les risques liés aux effets des changements climatiques mène à un examen de l'utilisation de l'énergie (Buiza *et al*, 2015). Outre le dioxyde de carbone (CO₂), les principaux gaz à effet de serre sont le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O). Les autres contaminants émis par l'industrie maritime et portuaire qui ont d'importantes répercussions sur la qualité de l'air et les écosystèmes comprennent la famille des oxydes de soufre (SO_x), les oxydes d'azote (NO_x), l'ammoniac (NH₃), les particules en suspension (PM), les composés organiques volatils (COV) et le carbone noir.

C'est dans ce contexte que prend corps la transition énergétique engagée par l'industrie dans le cadre de politiques de décarbonisation de l'économie maritime et portuaire. Les transporteurs, les administrations portuaires et les exploitants de terminaux sont tenus de respecter les valeurs limites des émissions de GES et d'abandonner l'usage d'énergies fossiles au profit de carburants de remplacement et de sources d'énergie renouvelable. Ces efforts s'accompagnent souvent d'importants investissements dans les énergies vertes et les technologies écoénergétiques et dans la mise en place d'outils pour mesurer la consommation énergétique et d'indicateurs relatifs à l'efficacité énergétique.

Très peu d'indicateurs harmonisés susceptibles de quantifier, d'évaluer et de comparer la consommation énergétique des ports existent (Li *et al*, 2019). La demande énergétique portuaire varie en fonction du profil portuaire. Chaque port est différent sur le plan géographique (océanique, fluvial, lacustre), nombre et taille des navires en escale, diversité fonctionnelle des activités, pluralité technique des infrastructures, connexions intermodales, étendue de l'arrière-pays et portefeuille commerciale en termes de structure du commerce, du type de clientèles, de composition du tissu industriel en zone portuaire jusqu'à la région et d'extension

des chaînes d'approvisionnement (Rodrigue, Comtois & Slack, 2017; Henrik, Poulsen, Nowinska & de Langen, 2021). La combinaison de ces spécificités aboutit à un « profil portuaire ». Celui-ci détermine la position du port sur le marché de l'énergie ainsi que les options et priorités que devront adopter les gestionnaires de ports et de terminaux dans le but de respecter les obligations et les échéances en lien avec l'objectif de zéro émission nette de GES d'ici 2050.

1.2. Objectif et questionnement

L'objectif central de cette étude consiste à établir une feuille de route pratique concernant la façon pour l'industrie maritime et portuaire du système Saint-Laurent d'atteindre l'objectif de zéro émission nette de GES.

Pour réussir, il importe de faire un état des lieux de la consommation énergétique et des émissions de gaz à effet de serre des ports et des navires en escale sur le fleuve Saint-Laurent et la rivière Saguenay afin de comprendre l'ampleur et la portée des défis de décarbonation à l'horizon 2050.

L'étude de la transition énergétique de l'industrie maritime et portuaire soulève plusieurs questions. Quel est l'état des lieux actuel de l'industrie maritime et portuaire du Saint-Laurent? Comment la réglementation affecte la participation de l'industrie au processus de décarbonation? Comment se présente la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre des ports laurentien? Quelle est la quantité de carburant consommée et les émissions de GES générées par les navires en escale sur le système Saint-Laurent? Quels sont les options de décarbonation offertes à l'industrie. La démarche débute par une description du système portuaire et de la navigation maritime commerciale en opération sur le fleuve Saint-Laurent et la rivière Saguenay. S'ensuit une présentation des dispositions réglementaires auxquelles sont soumis les administrations portuaires et les transporteurs maritimes en matière de décarbonation. Suit un examen des dépenses énergétiques et de production de GES des installations portuaires du système laurentien. Puis elle met l'accent sur la consommation de carburant et les émanations de polluants des navires en mouvement et en escale sur le fleuve Saint-Laurent et la rivière Saguenay. Enfin le manuscrit présente les enjeux de décarbonation auxquels sont confrontés les ports et les transporteurs maritimes.

2. CONDITIONS ACTUELLES DU TRANSPORT MARITIME ET PORTUAIRE

Le fleuve Saint-Laurent et la rivière Saguenay compte 35 ports commerciaux. Le tonnage total manutentionné annuellement dans les ports du Québec oscille entre 147 et 154 millions de tonnes depuis 2018. Au chapitre des croisières internationales, 327 800 passagers et membres d'équipage ont visité le Québec en 2022 (IMAR, 2023). Par ailleurs, le système Saint-Laurent dispose de 15 services de traversiers exploités par la Société des traversiers du Québec, des opérateurs privés et une municipalité. La vingtaine de navires en fonction

transportent chaque année près de 5 millions de passagers et 2 millions de véhicules.

Le paysage portuaire du système Saint-Laurent est façonné par les fonctions liées aux types de marchandises transportées en vrac liquide ou solide, aux marchandises générales et conteneurs et par les activités liées aux voyageurs sur les traversiers et les croisières. Il en résulte que les ports laurentiens présentent une grande variété de tailles, d'équipements, de propriétaires et de fonctions. En outre, ils disposent d'équipements de manutention adéquats pour répondre à la demande de fret et d'infrastructures d'accueil pour les passagers. Cette situation suggère que les besoins énergétiques des ports et le volume d'émissions de gaz à effet de serre qu'ils engendrent sont variés et complexes.

En 2022, le fleuve Saint-Laurent et la rivière Saguenay ont enregistré 8 476 mouvements de navires marchands de classes diverses dont des vraquiers solides, des navires citernes, des porte-conteneurs, des navires de marchandises générales, des navires rouliers et des navires de passagers (IMAR, 2023). La flotte est composée de 1 141 navires battant pavillon étranger et de 85 navires battant pavillon canadien. Environ 70 % des mouvements des navires sont dominés par le transport de vrac solide et de vrac liquide. Les navires de marchandises générales et les porte-conteneurs comptent pour 13,5 % et 10,1 % respectivement des mouvements de navires en circulation sur le système Saint-Laurent.

En 2022, le système portuaire du Saint-Laurent et de la rivière Saguenay a enregistré 4 539 escales de navires. Les navires battant pavillon étranger et ceux battant pavillon canadien cumulent chacun 50 % des escales bien que certains ports accueillent une plus forte proportion de navires étrangers. Les ports de Montréal, Québec, Sorel-Tracy, Port Cartier, Sept-Îles, Trois-Rivières, Bécancour et Baie-Comeau cumulent 80 % des escales de navires marchands enregistrées au Québec (IMAR, 2023).

Les liens de causalité entre le nombre d'escales et la consommation énergétique portuaire sont complexes. Certains trafics maritimes dont ceux du secteur alimentaire (fruits, légumes, céréales, produits de la mer) et ceux des croisières sont saisonniers (Abu Bakar *et al*, 2023). Le nombre d'escales enregistrées par les administrations portuaires peut fluctuer considérablement d'une année à l'autre (Comtois & Slack, 2021). La durée de chaque escale varie en fonction du temps nécessaire au chargement et au déchargement de marchandises (Moon & Woo, 2014; U.S. Department of Transportation, 2022).

Toutes ces dimensions peuvent provoquer des variations significatives dans la consommation énergétique de l'industrie maritime et portuaire. Le bilan des escales suggère que les administrations portuaires et les exploitants de terminaux doivent reconnaître l'importance de la consommation énergétique des navires en escale dans les efforts de décarboner leurs activités.

L'alimentation en énergie est un facteur critique pour les actifs portuaires dans l'offre de services aux navires, aux marchandises, aux passagers et aux ramassages et livraisons par camion et par train. Ces services dont les taux varient selon la demande et le type d'installation requise, s'intègrent aux autres frais d'exploitation et font partie des composantes qui déterminent le prix global de transport.

Dans l'analyse de la transition énergétique de l'industrie maritime et portuaire, il est impératif d'établir un repère permettant de comprendre le contexte réglementaire, d'évaluer la consommation énergétique de l'industrie, de mesurer les émissions de GES et d'évaluer les défis de la transition énergétique.

3. DISPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES

L'examen des normes réglementaires repose sur plusieurs démarches : 1) une revue des principes, normes, règlements et mesures techniques et opérationnelles du Canada et de l'étranger, applicables aux ports, aux exploitants de terminaux et aux transporteurs maritimes actifs au Canada dans le système Saint-Laurent, relativement à leur rendement énergétique et visant à réduire leurs émissions de GES; 2) une analyse de contenu de documents corporatifs des acteurs de l'industrie ainsi que des protocoles d'entente entre ceux-ci ou d'autres organisations concernées, relativement à la création de corridors maritimes carboneutres; et 3) des entrevues en profondeur semi-dirigées auprès d'administrations portuaires, d'exploitants de terminaux et de transporteurs maritimes.

3.1. Situation existante

3.1.1. International

La décarbonation des activités anthropiques comme le sont le transport maritime et les opérations portuaires, est considérée comme un instrument utile pour lutter contre le réchauffement climatique. Vu la nature internationale du transport maritime, il est apparu essentiel à certains États de convenir de mesures communes à être respectées par les industries concernées, notamment celles qui sont reliées légalement à un État et celles qui utilisent ses cours d'eau ou ses installations portuaires.

En 1948, l'Organisation des nations unies (ONU) a créé l'Organisation maritime internationale (OMI), dont le mandat est de fournir des mécanismes de coopération entre ses membres dans l'élaboration et l'application de règles et pratiques reliées à tous les aspects techniques de la navigation commerciale et de la sécurité maritime en vue d'optimiser l'efficacité du transport maritime. Les propositions de l'OMI à ses membres sont faites sous forme de conventions. Ainsi, l'OMI voit aujourd'hui à l'administration et à l'application de plus de 50 accords, incluant la Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (Convention MARPOL) qui est la principale entente internationale conclue à ce sujet. La Convention MARPOL contient notamment des engagements à

respecter certaines normes relatives à la décarbonation du transport maritime et des opérations portuaires. Il faut noter que seuls les signataires d'un accord sont tenus de respecter les engagements qu'ils ont pris dans le cadre de celui-ci.

En 2018, l'OMI a adopté la *Stratégie initiale de l'OMI concernant la réduction des émissions de gaz à effet de serre provenant des navires*. Cette stratégie comprend une liste de mesures envisageables à court, moyen et long terme en vue, d'atteindre l'objectif de réduire de 50 % leurs émissions totales de GES en 2050 par rapport au niveau de 2008. En 2023 devant l'urgence climatique, l'OMI a établi que l'objectif des industries devrait être de parvenir à réduire à zéro ses émissions nettes de GES, en procédant par paliers de réduction pour chaque décennie à venir. Par ailleurs considérant le rôle des ports en tant qu'acteurs du transport maritime international, la Stratégie de 2023 prévoit examiner et analyser, à moyen terme, les mesures visant à promouvoir le développement et les activités portuaires qui contribuent à réduire les émissions de GES provenant des transports maritimes, ports compris (Renaud-Moyneur *et al*, 2024). D'autre part, force est d'admettre qu'en dehors des efforts de l'OMI, il y a peu de cohésion en ce qui a trait aux normes internationales et nationales en matière de réduction de GES pour l'industrie du transport maritime et portuaire, ce qui rend difficile la diffusion des informations les concernant et leur application par l'industrie.

3.1.2. Canada

Au Canada, les questions relatives à la navigation et aux ports, sont de compétence exclusivement fédérale. Deux lois principales encadrent ces questions : la *Loi maritime du Canada* et la *Loi sur la marine marchande (2001)*. La première loi traite des ports établis sur les cours d'eau navigables du Canada, dont les administrations portuaires du gouvernement fédéral. En effet, dans le système Saint-Laurent, se trouvent des ports tant privés que publics, incluant des ports fédéraux, provinciaux et municipaux.

La seconde loi codifie les questions relatives aux navires ainsi que la compétence de certains ministères dans ces matières, notamment Transports Canada et Pêche et Océans Canada.

Le Canada est signataire de la Convention MARPOL. Fait à noter, la navigation maritime domestique au Canada n'est pas visée par cette convention et n'est donc pas soumise aux normes qu'elle fixe.

L'étude de la législation canadienne en comparaison avec les normes adoptées par l'OMI dans la convention MARPOL, nous amène à dégager certains constats.

Premièrement, il est indéniable que le Canada collabore activement au sein de l'OMI afin de développer et mettre en œuvre les stratégies que celle-ci adopte. Cette participation active est d'ailleurs mentionnée au *Plan de réduction des émissions pour 2030* du gouvernement du Canada, adopté en vertu de la *Loi sur*

la carboneutralité. La lecture de ce plan montre que le Canada s'inspire énormément des lignes directrices recommandées par l'OMI à ce sujet.

Toutefois, il n'existe aucune loi ou règlement du gouvernement fédéral canadien qui oblige les industries maritimes ou portuaires à se conformer aux normes de l'OMI en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, ni à se conformer à des normes fixées par le gouvernement fédéral du Canada à ce sujet, et ce, malgré que le Canada se soit fixé des cibles à atteindre en matière de réduction de telles émissions dans les plans qu'il a adoptés en vertu de la *Loi sur la carboneutralité*. Également, alors que la Partie 8 de la *Loi sur la marine marchande (2001)* traite de la question de la pollution du milieu marin, cette loi ne contient aucune disposition traitant de la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Cette absence de contrainte n'est pas contraire aux engagements pris par le Canada selon les dispositions de la Convention MARPOL ou de tout autre accord en découlant, mais elle a des effets négatifs sur la réputation du Canada à l'international et sur la confiance de ses citoyens à l'égard du gouvernement fédéral sur sa capacité à atteindre ses cibles.

Par ailleurs, comme l'OMI est en voie d'obtenir, de ses membres, une réduction des émissions de GES découlant des activités de leur industrie maritime et portuaire, selon les indicateurs EEXI (*Energy Efficiency Existing Ship Index*) et CII (*Carbon Intensity Indicator*) à l'aide desquels ils mettront en œuvre des plans de mesures correctives, le Canada devra se doter de mécanismes réglementaires précis afin de modifier le comportement des industries maritimes et portuaires en activités sur son territoire. Présentement, le Canada s'est fixé l'objectif ultime d'atteindre la carboneutralité avant 2050. Cependant, seul le respect de certaines normes de concentration (i) de substances chimiques à respecter dans les combustibles, et (ii) de GES dans certaines zones territoriales, ainsi que l'adoption de la taxe carbone, ont force de loi.

Toute autre action ayant pour effet la réduction de GES est laissée à l'initiative des citoyens, individus ou organisations. Notamment, certains navires qui empruntent le système Saint-Laurent utilisent des carburants de remplacement dont la combustion génère moins de GES, ce qui leur a permis, dans certains cas, d'atteindre l'objectif de réduction fixé par l'OMI, soit 30%.

De plus, vu qu'au Canada des entreprises de navigation maritime domestique non concernées par la Convention MARPOL côtoient des entreprises de navigation maritime internationale peut créer de la confusion dans l'esprit de leurs dirigeants au sujet de l'existence de normes relatives à la réduction des GES dans le système Saint-Laurent, et de l'obligation ou non de s'y conformer du point de vue du gouvernement canadien. De la même manière, si les normes du Canada ne sont pas claires et que leur diffusion n'est pas suffisante, il se peut que des entreprises étrangères dont l'État de rattachement n'a pas adhéré aux normes de l'OMI, décident de ne pas faire d'effort pour comprendre et appliquer les normes canadiennes.

En ce qui a trait aux entreprises portuaires et aux exploitants de terminaux, certains d'entre eux ont adopté leur propre stratégie de développement durable quant aux émissions de GES. L'étude démontre toutefois une grande variété d'énoncés de mission, de programmes, de pratiques et de procédures de décarbonation. En outre, les données précises à ce sujet sont difficiles à obtenir ou très sommaires.

3.2. Dimension normative de décarbonation

Afin de comprendre la situation, l'étude propose une approche objective fondée sur les concepts d'adaptation sélective et de capacité institutionnelle.

3.2.1. Adaptation sélective

Le Canada a un vif intérêt à comprendre la mise en œuvre locale, sur son territoire, des normes internationales de décarbonation afin : 1) d'intégrer des objectifs climatiques et environnementaux aux plans et actions des industries concernées œuvrant au Canada; 2) de participer à l'établissement de consensus entre ces industries sur les normes à adopter; 3) de coordonner les processus politiques en jeu selon les juridictions impliquées dans chaque situation; et 4) d'élaborer des systèmes de planification d'actions et de contrôle des résultats.

Pour arriver à atteindre ces objectifs, l'étude recommande d'utiliser une démarche qui prenne en compte l'adaptation sélective qui existe déjà sur le territoire canadien, car elle peut l'aider à répertorier, reconnaître et expliquer les variations de conformité locale aux normes internationales. De plus, l'adaptation sélective permet d'établir une distinction entre les normes ou processus d'un gouvernement ou d'une industrie qui ne sont pas conformes aux normes internationales, et les conditions de telle non-conformité.

Dans ce contexte, le Canada aurait intérêt à prendre en compte le rôle majeur joué par les élites politiques, socio-économiques et professionnelles locales qui disposent de l'autorité et des connaissances pour interpréter des normes extérieures à leur situation locale, décider de la pertinence de leur importation et de la manière dont elles seront adaptées en vue de leur application locale.

Dans le domaine juridique, le processus décisionnel qui sera appliqué par la « communauté interprétative » inclura les trois éléments suivants :

1. la perception des normes et des processus de décarbonation qui influence la façon dont la communauté interprétative comprend et applique les normes et les processus;
2. la complémentarité qui permet d'éclairer la relation entre l'accommodement et la résistance locale aux standards internationaux de décarbonation à la lumière des conditions et besoins locaux;

3. la légitimité qui témoigne du degré d'acceptation, par les industries concernées, des pratiques et des conséquences de l'adaptation sélective.

3.2.2. Capacité institutionnelle

La capacité institutionnelle du Canada, des organisations portuaires, des exploitants de terminaux et des transporteurs ainsi que des institutions de pouvoir local (provincial ou municipal) est un élément clé afin que soient atteints la carboneutralité dans le domaine portuaire et maritime au Canada.

Cette capacité repose sur trois piliers fondamentaux :

1. la gouvernance institutionnelle qui indique si le gouvernement ou une organisation a le pouvoir légal d'adopter des normes de décarbonation. En ce qui concerne la juridiction dont relève l'industrie du transport maritime et portuaire, nous avons déjà établi qu'il s'agit du gouvernement fédéral. Toutefois, les gouvernements provinciaux et municipaux ont des juridictions sur des domaines de l'activité commerciale et de l'occupation du territoire qui peuvent nécessiter une concertation entre les divers gouvernements concernés afin d'optimiser les décisions qui pourraient être prises par ceux-ci en nuisant le moins possible à l'industrie;
2. la cohésion institutionnelle par laquelle s'exprime la volonté, des dirigeants des gouvernements et des industries, à adopter et à se conformer à des normes de décarbonation, et celle de leurs cadres et employés à mettre ces décisions en action. Cette cohésion dépend donc notamment de la gestion des ressources humaines et d'une discipline administrative de l'organisation concernée;
3. les orientations stratégiques institutionnelles qui sont adoptées à court, moyen ou long terme par les gouvernements ou les organisations. Ces orientations font parfois l'objet de plans d'affaires ou de plans d'actions dont la mise en œuvre peut être accélérée, modifiée ou retardée en fonction de conjonctures environnementales, sociales, politiques ou économique. En outre, des consultations, pétitions ou interventions publiques, de même que des séances d'échanges d'informations, de concertation ou de médiation, entre les industries et les divers gouvernements, peuvent servir à élaborer ces plans ou à les modifier.

3.3. Discussion

En fort contraste aux attentes en matière de convergence vers un système global unifié de meilleures pratiques, l'adaptation sélective explique les variations de conformité locales aux normes internationales de décarbonation en fonction du niveau de consensus normatif. L'adaptation sélective façonne le processus par

lequel l'application de régimes réglementaires internationaux est modulée par l'influence de normes locales.

Les résultats des enquêtes de terrain sur la mise en œuvre des objectifs de décarbonation suggèrent que les institutions locales poursuivent un processus continu d'interprétation et de médiation sur la mise en œuvre de normes internationales. Le processus de décarbonation du Canada peut utiliser les connaissances sur la capacité institutionnelle pour évaluer la façon dont les institutions locales peuvent répondre aux défis de la décarbonation de l'industrie maritime et portuaire.

Il ne s'agit pas ici d'établir de façon comparative les informations sur le positionnement des administrations portuaires, des exploitants de terminaux et des transporteurs maritimes au processus de décarbonation du système Saint-Laurent. Il suffit de mentionner que le concept d'adaptation sélective permet de distinguer entre d'une part, les processus de conformité légitime non uniforme avec les normes juridiques internationales de décarbonation, et d'autre part, les conditions de non-conformité. Le concept de capacité institutionnelle explique la mesure par laquelle la mise en œuvre locale de normes réglementaires dépend d'arrangements institutionnels.

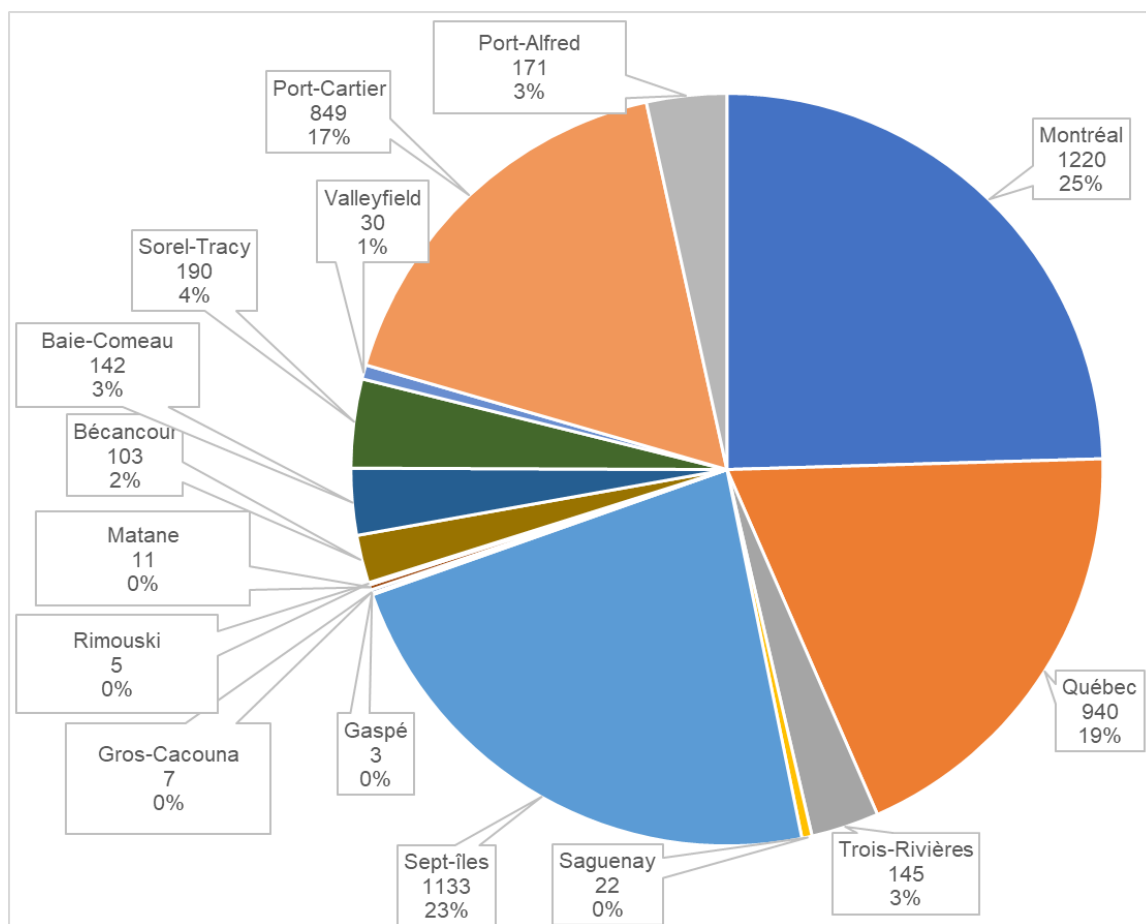
4. CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET ÉMISSIONS DE GES DES PORTS DU SYSTÈME SAINT-LAURENT

Les informations sur les actifs et les trafics portuaires, leur consommation énergétique et leurs émissions de GES ont été colligées à partir des données issues des administrations portuaires (rapports annuels, inventaires des émissions de GES et de contaminants atmosphériques des opérations portuaires, bilans mensuels de consommation électrique). Ces informations furent combinées aux rapports annuels de performance de l'Alliance Verte et à des entrevues en profondeur auprès de manutentionnaires et d'exploitants de terminaux. Considérant que les bases de données émanent de différentes sources et revêtent plusieurs formes, la démarche a consisté à réunir des outils statistiques afin de produire une base de données comparatives du taux de consommation d'énergie et d'émissions de CO₂ des ports. L'inventaire de la consommation énergétique et des émissions de GES des ports à l'étude est basé sur quatre secteurs portuaires principaux : 1) les navires en manœuvre qui circulent dans les eaux territoriales du port y compris lorsque ceux-ci sont amarrés ou à quai pour le chargement/déchargement de marchandises ou de passagers; 2) les équipements détenus par les locataires du port ou par les entreprises spécialisées pour réaliser les opérations de débardage, d'arrimage et de manutention du cargo; 3) le transport routier et/ou ferroviaire dans les limites terrestres du port; et 4) les bâtiments de l'administration portuaire et des locataires. L'inventaire de la consommation énergétique tient compte de toutes les sources d'approvisionnement énergétique dont l'électricité, le diesel, l'essence, le mazout, le gaz naturel et le propane.

4.1. Consommation énergétique des ports

La Figure 1 révèle que la consommation énergétique des 15 principales installations portuaires du fleuve Saint-Laurent et de la rivière Saguenay atteint 5 000 térajoules par année en 2022, soit l'équivalent de la consommation annuelle moyenne d'environ 175 000 résidences. Les principaux ports consommateurs d'énergie sont Montréal, Sept-Îles, Québec et Port-Cartier qui comptent pour 84 % de la consommation énergétique du système portuaire laurentien. Le Tableau 1 indique que la demande en énergie est fortement corrélée avec le tonnage manutentionné et le nombre de navires en escale.

Figure 1. Consommation énergétique des ports du Saint-Laurent et du Saguenay, 2022 (térajoule)



Source : Auteurs

Tableau 1. Tonnage et navires en escale des ports du système Saint-Laurent, 2022

Port	Traffic (tonnes)	Navires en escale
Montréal	35 997 337	2 500
Sept-Îles	33 435 392	573
Québec	27 729 650	1 412
Port-Cartier	25 038 864	400
Sorel-Tracy	5 600 000	100
Port-Alfred	5 050 000	115
Trois-Rivières	4 282 000	231
Baie-Comeau	4 197 457	185
Bécancour	3 023 786	181
Valleyfield	891 000	118
Saguenay	644 897	123
Matane	320 451	103
Gros-Cacouna	213 044	114
Rimouski	149 613	126
Gaspé	102 956	101

Source : Auteurs

Ce n'est pas le lieu de donner des détails sur la contribution de chaque composante portuaire de chaque port à la consommation énergétique consolidée du système portuaire laurentien. Les équipements de manutention, les véhicules et les parcs immobiliers diffèrent d'un port à l'autre et dépendent de multiples sources d'approvisionnement énergétique. Il suffit de noter que les principaux facteurs déterminants de la consommation d'énergie des ports sont, dans l'ordre, les équipements des locataires et des usagers, le transport terrestre (route et rail) sur les sites portuaires et les bâtiments des administrations et des locataires.

La grande majorité des besoins énergétiques des locataires et usagers des terminaux sert à alimenter les équipements fixes pour la manutention du cargo (génératrices, appareils de chauffage, systèmes de pompage, convoyeurs) et les équipements pour le chargement et le déchargement de navire, pour le transport des charges dans le port, pour l'entreposage ou le transfert entre divers moyens de transport. Le fonctionnement de ces engins de manutention des exploitants des terminaux repose essentiellement sur des carburants fossiles.

Les transports terrestres longue distance exercent un rôle essentiel à la géographie des chaînes d'approvisionnement des ports. L'emplacement stratégique des ports dans le réseau routier leur permet de relier les agglomérations urbaines et les principaux secteurs industriels du Canada et des États-Unis et de soutenir et faciliter le commerce nord-américain. Les services de camionnage par les portails portuaires du système Saint-Laurent permettent la fluidité de milliers de camions par jour à l'entrée et à la sortie des installations portuaires. Le volume de consommation de carburant par les véhicules est surtout associé au temps total de traitement des camions dans les ports.

Plusieurs ports disposent de locomotives, de voies et d'installations ferroviaires qui permettent de recevoir des trains de diverses provenances, d'entreprendre des opérations de transbordement et des activités intermodales dans leurs installations, d'effectuer des manœuvres de triage des wagons par destinations pour former de nouveaux trains et de les expédier. Les infrastructures ferroviaires de ces ports sont directement reliées aux transporteurs nationaux Canadien National (CN) et Canadien Pacifique (CP) ou indirectement via des compagnies ferroviaires d'intérêts locaux (CFIL). Les dépenses énergétiques des chemins de fer dans les ports sont liées à la consommation de carburant diesel pendant la durée du temps de séjour moyen des locomotives et du cycle des wagons dans les terminaux.

La consommation énergétique des bâtiments représente la troisième dépense énergétique du système portuaire laurentien. La consommation concerne le chauffage, la climatisation, l'éclairage et la bureautique dont l'approvisionnement énergétique dépend de l'électricité, du gaz naturel, du mazout léger et du propane.

4.2. Émissions de GES des ports

La consommation énergétique des activités portuaires du système Saint-Laurent n'échappe pas à la quantification des émissions de GES. L'inventaire considère les émissions de portée 1, soit celles qui sont directement contrôlées par les exploitants des terminaux et par l'organisation portuaire. La Figure 2 révèle que les émissions de GES des activités portuaires, hors transport maritime, sont estimées à 200 000 tonnes d'éq. CO₂/année. À l'image de la consommation énergétique, les principaux ports émetteurs de CO₂ sont Montréal, Sept-Îles, Port-Cartier et Québec.

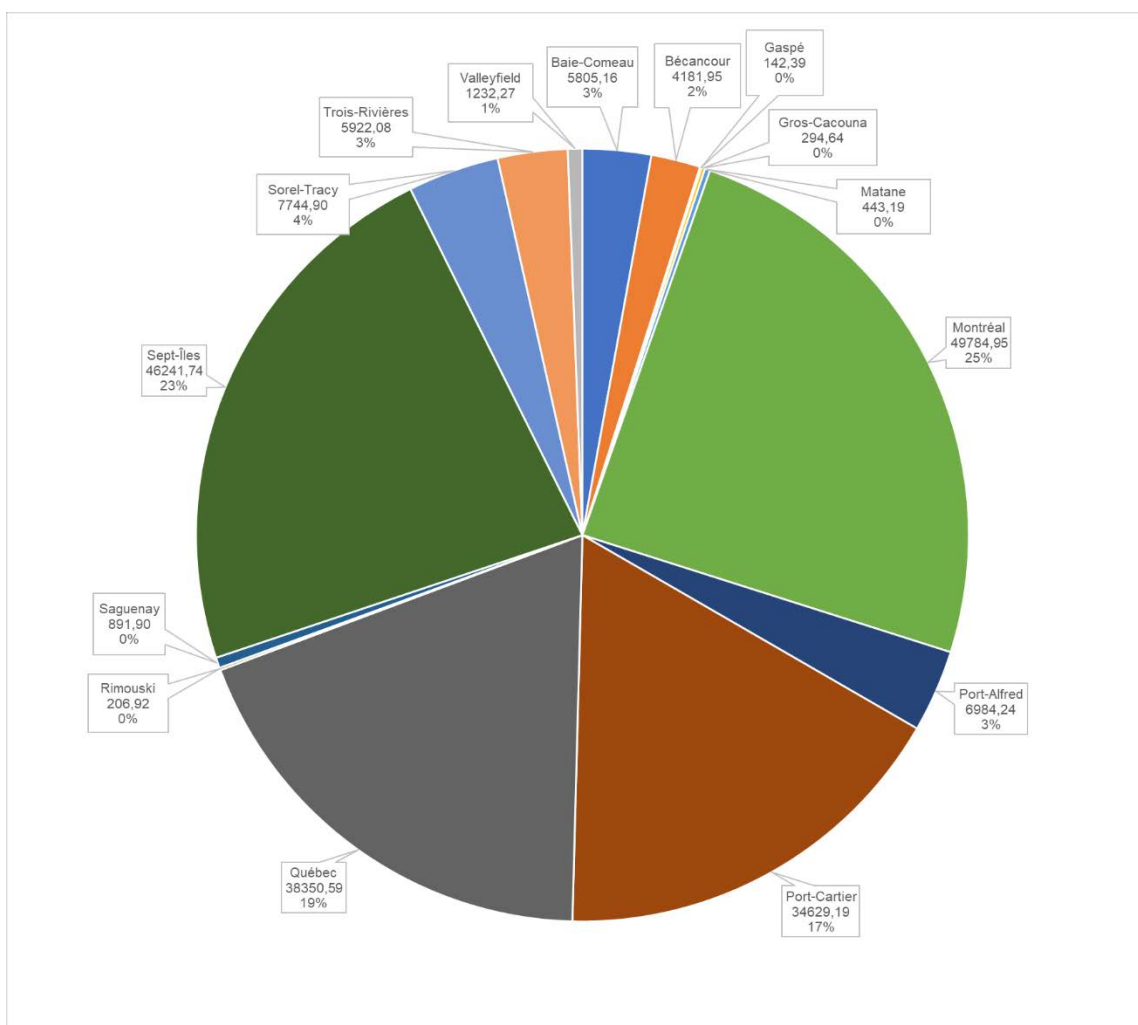
L'inventaire des types d'énergie consommés révèle que le fonctionnement des équipements, le transport terrestre et le parc immobilier des administrations et des locataires pour la gestion de toutes les activités qui entourent l'exploitation des activités maritimes et portuaires repose sur l'utilisation de carburants fossiles et l'approvisionnement électrique.

Les exploitants de terminaux utilisent un large éventail d'équipements mobiles hors route (chariot élévateur, grue, tracteur, chargeur) qui fonctionnent au diesel, au propane et à l'essence, sources d'émissions de GES. À cela s'ajoute la consommation électrique destinée au fonctionnement des grues portiques mobiles, aux convoyeurs, aux nacelles élévatrices et aux systèmes d'empilage automatisés. Plusieurs ports distribuent l'électricité à partir d'un approvisionnement stable, propre et renouvelable en hydroélectricité produite par Hydro-Québec. Les ports disposent de réseaux composés de sous-stations électriques alimentées par des lignes de transport d'électricité et des transformateurs qui alimentent en charge les appareils de distribution des ports.

Le transport de marchandises par camion permet le transbordement et le débarquement de marchandises capturées par les navires en escale dans les ports, mais représente une importante source d'émissions de GES. S'y ajoutent les camions et voitures de passagers des administrations portuaires et des locataires. Ces activités reposent presque uniquement sur la consommation de diesel et d'essence.

Les émissions de GES du secteur des bâtiments portuaires émanent des équipements fixes de combustion et des émanations des systèmes de ventilation. Certains ports offrent un approvisionnement en électricité pour l'exploitation de jetées, quais, installations et édifices connexes aux terminaux maritimes ou à l'administration portuaire.

Figure 2. Émissions de GES des ports du Saint-Laurent et du Saguenay, 2022 (tonnes)



Source : Auteurs

La consommation énergétique et le bilan carbone de l'industrie portuaire est composé d'un ensemble complexe et varié de sources d'émissions. Les données sur la consommation d'énergie et les émissions de GES compilées dans cette étude révèlent quelques points clés :

1. Les émissions de GES peuvent être segmentées sur le plan géographique en fonction de quatre zones d'opérations portuaires : zone de quai; zone de chargement/déchargement; zone d'entreposage; et zone de réception et d'expédition;
2. Il existe une grande différence dans les volumes d'émissions de GES entre la manutention de vrac sec, de vrac liquide, de cargo général et de conteneurs en lien avec la taille des navires et des ports, les volumes de chargement/déchargement et la capacité des équipements (automatisation, système de levage embarqué, etc.). Les ports de grande taille tendent à être diversifiés et les activités hors vrac présentent de plus haut niveau de consommation énergétique.
3. La répartition de la consommation énergétique suggère qu'il existe des potentiels d'efficacité énergétique largement inexploités dans l'usage des équipements, des transports terrestres et du parc immobilier portuaire;
4. La synchronisation du transport intermodal et ferroviaire permettant la fluidité des chaînes logistiques portuaires contribue à limiter les émissions de carbone;
5. Les installations électriques affichent une faible empreinte carbone;
6. Les administrations portuaires et des exploitants de terminaux présentent différentes stratégies de gestion de la transition énergétique.

5. CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET ÉMISSIONS DE GES DES NAVIRES EN ESCALE SUR LE SYSTÈME SAINT-LAURENT

L'information sur les navires en escale dans les ports du Saint-Laurent provient de la base de données de la plateforme Oceania de GSTS qui utilise le système d'identification automatique (SIA) pour identifier les activités de la navigation maritime commerciale des routes empruntées par chaque navire en combinant les coordonnées de positionnement en longitude et latitude de tous les jours de navigation sur le système Saint-Laurent et la rivière Saguenay pour l'année 2022. La plateforme sert de base pour offrir des informations détaillées sur le type et le tonnage de chaque navire, le type de moteur et le carburant utilisé. Elle comprend la consommation de carburant et les émissions de GES en lien avec le comportement du navire (ancré, à quai, en mouvement et en mer). La plateforme Oceania de GSTS appliquée au système Saint-Laurent comprend 35 000 lignes de données entrantes par mois.

5.1. Consommation énergétique des navires

Chaque escale de navire comprend le séjour en mer, le transit portuaire en direction et en provenance d'un terminal, la durée au point d'ancrage et le temps au quai. La

totalité des besoins énergétiques des activités de transport maritime dépend des hydrocarbures et elle est presque entièrement comblée par le mazout lourd.

Les trafics maritimes commerciaux du Québec (domestiques et internationaux) effectués par quelques 8 000 navires en circulation sur le fleuve Saint-Laurent et la rivière Saguenay consomment environ 2,4 Mt de carburant par année dont 94 % lorsque les navires sont en mer. L'étude met l'accent sur la consommation de fioul et les émissions de carbone des navires amarrés à quai, en manœuvre et durant le temps d'ancrage dans les eaux fluviales situés entre le Golfe du Saint-Laurent et la frontière de l'Ontario et de la rivière Saguenay.

En 2022, le Tableau 2 révèle que les services de vrac sec dépensent 41 310 tonnes de mazout lourd, soit 22,6 % de la consommation de carburant des navires qui circulent sur le système Saint-Laurent. Les minerais demeurent pesants dans la composition des trafics des ports du Saint-Laurent et du Saguenay. Le transport maritime de minerai atteint environ 80 Mt ce qui représente plus de la moitié du tonnage total manutentionné dans les ports du Québec estimé à 153 Mt en 2022 (IMAR, 2023). Les navires de vrac sont suivis des pétroliers et des chimiquiers dont la consommation de carburant atteint 30 902 tonnes (16,9 %) et 27 844 tonnes (15,2 %) respectivement. La consommation de carburant des services de cargo général atteint 20 797 tonnes, soit 11,4 % de la consommation de carburant des navires en mouvement sur l'axe laurentien. Les services conteneurisés consomment 18 056 tonnes. Ils dépendent presque entièrement du port de Montréal, seul port à conteneurs sur le système Saint-Laurent. La consommation de carburant des croisières en circulation sur l'axe laurentien se chiffre à 16 071 tonnes (8,8 %). L'ensemble des autres catégories de navire compte pour environ 15 % des ressources énergétiques utilisées par la navigation maritime sur le système Saint-Laurent.

Tableau 2. Consommation de carburant par type et comportement de navire sur le système Saint-Laurent, 2022 (tonnes d'éq. mazout lourd)

Navire	Comportement du navire			Total
	Ancré	À quai	En manœuvre	
Vraquier	2 028	31 613	7 668	41 310
Pétrolier	2 326	17 811	10 766	30 902
Chimiquier	1 132	24 096	2 616	27 844
Cargo général	573	19 201	1 022	20 797
Conteneur	879	16 036	1 141	18 056
Croisière	143	14 696	1 232	16 071
Traversier	517	9 834	236	10 586
Roulier	20	5 351	36	5 407
Remorqueur	338	3 567	1 220	5 125
Autre	294	3 386	1 431	5 111
Ravitailleur	65	1 393	119	1 576
Total	8 316	146 987	27 486	182 785

Source : GSTS, 2024

Le volume de consommation de carburant des navires à quai atteint 146 987 tonnes de mazout lourd. Sept types de navires consomment plus de 10 000 tonnes de fioul par année. Cette consommation indique l'importance des temps d'escale dans la combustion de carburants fossiles pour le fonctionnement des moteurs auxiliaires des navires à quai. Le comportement des navires en manœuvre atteint 27 486 tonnes de mazout lourd dont 67 % en provenance des vraquiers et des pétroliers. L'analyse des temps d'arrêt de la flotte de navires en escale dans les ports du système Saint-Laurent indique un important va-et-vient de ces navires entre les quais portuaires et les lieux d'ancrage, ce que confirme les dépenses énergétiques de la flotte en escale sur l'axe laurentien (Tableau 2).

En 2022, les navires en escale dans les ports de Québec, Montréal et Sorel-Tracy cumulent une consommation de 120 653 tonnes de mazout lourd, soit 66 % de la consommation de carburants des navires en escale dans le réseau maritime du système Saint-Laurent (Tableau 3).

Tableau 3. Consommation de carburant des navires en escale par port sur le système Saint-Laurent, 2022 (tonnes mazout lourd)

Port	Consommation de carburant des navires (Tonnes)			
	Ancré	À quai	En manœuvre	Total
Québec	3 360	38 613	15 126	57 099
Montréal	1 905	42 079	5 269	49 253
Sorel-Tracy	471	12 520	1 311	14 301
Trois-Rivières	449	10 031	1 337	11 817
Sept-Îles	395	10 031	636	11 061
Port-Cartier	660	7 536	1 731	9 927
Matane	240	9 246	220	9 706
Port-Alfred	456	4 154	546	5 157
Baie-Comeau	167	4 410	224	4 801
Bécancour	86	4 442	234	4 761
Saguenay	57	2 391	585	3 033
Rimouski	49	538	49	636
Valleyfield	7	445	52	503
Gros-Cacouna	4	317	92	412
Gaspé	10	234	74	318
Total	8 316	146 987	27 486	182 785

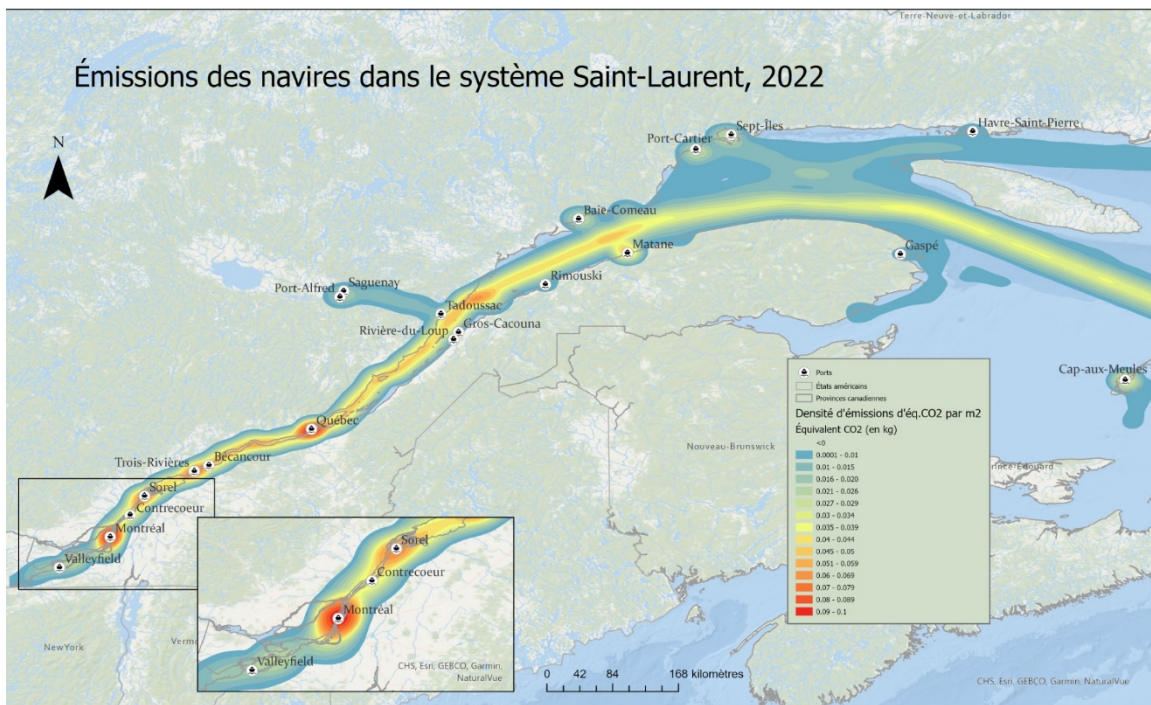
Source : GSTS, 2024

5.2. Émissions de GES des navires

La cartographie des émissions de GES de la navigation maritime commerciale sur le système Saint-Laurent illustre quelques caractéristiques (Figure 3). Premièrement, la densité des émissions de carbone est concomitante aux zones de forte densité du trafic maritime. De l'entrée du Golfe jusqu'à Montréal, le fleuve devient progressivement plus étroit et les trafics maritimes plus denses. Deuxièmement les zones portuaires de Montréal et de Québec affichent une

importante concentration d'émissions de CO₂ des navires en lien avec leurs poids dans les déploiements d'escales maritimes. Troisièmement, une partie de la densité de GES aux Escoumins, à Québec, à Trois-Rivières et à Montréal s'explique partiellement par la nécessité d'escales permettant aux pilotes de s'engager sur les navires en transit.

Figure 3. Émissions de GES des navires sur le système Saint-Laurent, 2022



Source : GSTS 2024; Cartographie : Josyane Cloutier et Serge Novikov, 2024

En 2022, les vraquiers en escale dans les ports du système Saint-Laurent dominent les émissions de GES avec 135 164 tonnes d'éq. CO₂ (22,7 %) (Tableau 4). Ils sont suivis par les pétroliers et les chimiquiers dont les émissions de carbone atteignent 100 021 tonnes et 90 311 tonnes respectivement. Les émissions de GES des navires de cargo général représentent 11,4 % des émissions de carbone des navires en escale sur le système Saint-Laurent. La contribution des autres navires aux émissions de GES de l'axe laurentien compte pour 34 %.

Force est de constater un écart important des émissions de GES entre les types de navires. La variation dans les volumes d'émissions est liée aux importantes différences dans la durée moyenne des temps d'escale entre navires. Les délais peuvent être déterminés par divers segments le long de la chaîne logistique. Un navire peut être confronté à des problèmes de congestion aux quais. Un poste d'amarrage peut être occupé parce qu'un autre navire n'est pas prêt à partir. En outre, les conditions météorologiques locales peuvent jouer un rôle décisif dans les temps de traitement des navires.

Tableau 4. Émissions de GES par type et comportement de navire sur le système Saint-Laurent, 2022 (tonnes d'éq. CO₂)

Navire	Comportement du navire			Total
	Ancré	À quai	En manœuvre	
Vraquier	6 648	103 384	25 132	135 164
Pétrolier	7 522	57 610	34 890	100 021
Chimiquier	3 674	78 144	8 493	90 311
Cargo général	1 861	62 320	3 324	67 505
Conteneur	2 858	52 055	3 701	58 614
Croisière	467	47 723	3 985	52 175
Traversier	1 676	31 890	764	34 330
Roulier	64	17 357	117	17 538
Autre	964	11 637	4 685	17 286
Remorqueur	1 097	11 601	3 963	16 662
Ravitailleur	210	4 535	386	5 131
Total	27 041	478 255	89 442	594 738

Source : GSTS, 2024

Le volume d'émissions de GES des navires en escale (à quai, ancré, en manœuvre) dans les ports du Saint-Laurent est estimé à 594 738 tonnes d'éq. CO₂. Le Tableau 5 révèle que 80,4 % des émissions surviennent quand les navires sont à quai, 15 % en manœuvre et 4,5 % à l'ancre. Additionnés et comparés aux émissions des GES des activités portuaires, le secteur des navires est la principale source d'émissions de polluants atmosphériques et de GES dans les ports du système Saint-Laurent. Le Tableau 5 révèle que le volume d'émissions des navires en escale varie considérablement entre les ports. Le temps moyen de chargement/déchargement des navires peut être particulièrement chronophage. Les raisons comprennent, entre autres facteurs : 1) le plan d'arrimage du cargo dans les cales et sur le pont; 2) la stabilité du navire résultant du mouvement de la cargaison; et 3) la manutention de pièces industrielles surdimensionnées. Par ailleurs, un délai peut survenir en raison des insuffisances des capacités de chargement des installations. La mauvaise configuration des aires d'entreposage peut imposer des temps d'attente à la marchandise et au navire. Les stocks agissent comme tampons entre les systèmes de transport terrestre et maritime assurant que le terminal dispose de suffisamment de minerais pour charger les navires à leur arrivée. Si les stocks sont inadéquats, les délais s'accumulent alors que les navires attendent d'être chargés. Dans l'arrière-pays, l'utilisation et le caractère opérationnel des processus précis de chargement/déchargement ou des modes de transport terrestre peuvent causer des perturbations qui exercent un impact sur le volet maritime des activités de manutention portuaire. Le temps d'attente des navires peut être superposé de manière significative sur l'instabilité qui existe déjà dans les systèmes logistiques. Cela suggère que les efforts de décarbonation des navires à quai peuvent reposer sur un large éventail d'opérations.

Tableau 5. Émissions de GES des navires en escale par port sur le système Saint-Laurent, 2022 (tonnes d'éq. CO₂.)

Port	Émissions de GES des navires (Tonnes CO ₂)			
	Ancré	À quai	En manœuvre	Total
Québec	10 877	125 112	49 044	185 033
Montréal	6 187	136 452	17 093	159 732
Sorel-Tracy	1 526	40 545	4 252	46 323
Trois-Rivières	1 470	33 273	4 400	39 142
Sept-Îles	1 280	32 509	2 064	35 853
Port-Cartier	2 139	24 418	5 621	32 179
Matane	779	29 991	715	31 485
Port-Alfred	1 566	14 571	2 013	18 140
Baie-Comeau	540	14 301	729	15 571
Bécancour	277	14 405	758	15 440
Saguenay	187	7 784	1 896	9 867
Rimouski	159	1 743	160	2 062
Valleyfield	24	1 445	169	1 638
Gros-Cacouna	13	1 029	297	1 340
Gaspé	26	677	230	933
Total	27 041	478 255	89 442	594 738

Source : GSTS, 2024

Les activités du transport maritime et portuaire du système Saint-Laurent consomment approximativement 13 000 térajoules d'énergie pour une empreinte carbone estimée à 800 000 tonnes d'éq. CO₂/année. L'illustration des résultats du bilan de la consommation énergétique et des émissions de GES montre que la part des navires est la plus significative. Les navires comptent pour 61 % de la demande énergétique et 75 % des émissions de GES.

6. ENJEUX DE DÉCARBONATION DE L'INDUSTRIE MARITIME ET PORTUAIRE

La présente étude estime que les activités portuaires du fleuve Saint-Laurent et de la rivière Saguenay incluant les équipements, le transport terrestre et les bâtiments est estimée à pas moins de 5 000 térajoules pour une empreinte carbone d'environ 200 000 tonnes d'éq. CO₂/année. Le bilan de la consommation énergétique et des émissions des trafics maritimes commerciaux montre que les navires consomment pas moins de 180 000 tonnes de carburant contribuant pour 600 000 tonnes d'éq. CO₂/année, dont 80 % à quai dans les ports laurentiens. L'illustration des résultats du bilan de la consommation énergétique et des émissions de GES de l'industrie maritime et portuaire de l'axe laurentien montre que la part des navires est la plus significative.

6.1. Enjeux portuaires

Les ports du système Saint-Laurent affichent d'importants plans de développement d'infrastructures en lien avec l'implantation de projets industriels sur la zone industrialo-portuaire. Plusieurs projets sont déjà en voie d'élaboration

pour construire de nouveaux terminaux maritimes. En outre, l'économie maritime et portuaire du système Saint-Laurent est en pleine transformation depuis la création de partenariats portuaires stratégiques. Portée par cette dynamique, la transition énergétique de l'industrie portuaire est confrontée à plusieurs enjeux.

Selon l'Association américaine des autorités portuaires, 48 % des administrations portuaires s'attendent à une multiplication par au moins cinq de la demande énergétique à l'horizon 2035 (AAPA, 2024). Cette demande énergétique émane de plusieurs facteurs : croissance des trafics, services aux navires, automatisation et robotisation des opérations, système de contrôle des conteneurs, intermodalité et véhicules autonomes, changements climatiques, intelligence embarquée et port digital et cybersécurité. Ces facteurs poussent vers une augmentation de la consommation énergétique pour la mobilité, les hautes températures, les systèmes de refroidissement et l'électrification.

L'importance que les combustibles fossiles continuent de revêtir dans le fonctionnement des équipements notamment ceux liés à des besoins de combustion impose un accompagnement d'efforts significatifs en matière d'efficacité énergétique et un transfert technologique vers l'électricité. L'alimentation en énergie électrique est un facteur critique pour atteindre l'objectif de zéro émission nette de GES d'ici 2050. Le branchement électrique des navires au réseau terrestre, l'électrification des autres infrastructures portuaires, l'adoption de véhicules électriques à batterie au sein des terminaux devraient augmenter au cours des prochaines années. La demande énergétique en équivalent électrique de l'industrie portuaire du système Saint-Laurent (Équipements, transports terrestres, bâtiments) est estimée à environ 1,4 M MWh. À l'exception de certains ports comme dont Baie-Comeau et Gaspé qui pourraient bénéficier de conditions géographiques favorables, il y a peu de possibilité pour les ports du système Saint-Laurent de générer leur propre énergie. La croissance de la demande en énergie électrique permettant de poursuivre le processus de décarbonation des ports laurentiens pourra difficilement être comblée par le réseau hydro-électrique actuel et nécessite l'ajout de production en provenance de la filière éolienne et la construction de nouvelles lignes de transport d'électricité.

6.2. Enjeux maritimes

Les dépenses énergétiques sont un facteur déterminant du transport maritime. De façon générale, les systèmes de propulsion et les machines auxiliaires sont les principaux consommateurs de combustible. Ces engins peuvent être responsables de 82 % de la demande énergétique d'un navire. Les systèmes de production d'électricité, les installations de génération de vapeur et les dispositifs de refroidissement comptent pour moins de 20 % des besoins énergétiques. Ces conditions posent des enjeux importants.

Les navires qui sont responsables de la distribution du fret à destination ou en provenance des ports laurentiens consomment 2,4 Mt de carburant incluant le

transport en mer. En 2022, 1 153 navires en exploitation sur le fleuve Saint-Laurent ont été avitaillés en carburant dont 80,5 % par la raffinerie de Suncor à Montréal-Est et 19,5 % par la raffinerie de Valero Jean Gaulin à Lévis. Le Tableau 6 indique que le volume de combustible de soute destiné aux navires en escale s'élève à 199 240,1 tonnes métriques, soit environ 8 % des besoins énergétiques de la navigation maritime commerciale. L'avitaillement des navires s'effectue essentiellement hors de l'axe laurentien.

L'utilisation de carburants sans ou à faible teneur en carbone représente une option essentielle pour l'industrie maritime de réduire les émissions de GES, mais est confrontée à certaines conditions. D'abord, les candidats sont nombreux et jusqu'à présent il n'y a pas de consensus sur le carburant de remplacement qui prédominera (Slack *et al*, 2024). Ensuite, les carburants de remplacement en substitution au mazout lourd ont tendance à être plus onéreux, notamment les carburants verts. En outre, les sites de production et les niveaux de production de carburants de remplacement au Québec, en Ontario, dans l'Est du Canada et des fournisseurs adjacents aux Grands-Lacs aux États-Unis, soit l'aire de marché de l'approvisionnement en carburant local, sont limités (Novikov, 2023). Enfin, l'utilisation de carburants de remplacement par les navires est confrontée à la concurrence d'autres secteurs du transport et du marché en général.

Peu de ports sont en mesure d'offrir plusieurs types de carburants pour l'avitaillement des navires en raison des coûts et de la disponibilité de sites. L'approvisionnement en carburants dépendra de l'intention des compagnies maritimes en escale d'adopter un certain type de carburant. Mais en raison des incertitudes qui entourent les carburants de remplacement, il est peu probable qu'une réponse claire deviendra disponible à court terme. Cette situation risque de devenir un cercle vicieux : pour les transporteurs l'adoption d'un carburant de remplacement s'effectue à la lumière de la disponibilité d'avitaillement dans les ports d'escale, tandis que les ports sélectionnent l'approvisionnement d'un carburant de soute en fonction de l'utilisation prévue des clients de la marine marchande.

L'électrification à quai représente certes une option de réduction des émissions de GES produits par les navires dans les ports. Cependant cela requiert d'importants investissements par les administrations portuaires pour fournir des connexions électriques de capacité suffisante pour répondre aux besoins énergétiques des navires à quai. Le coût des investissements terrestres varie de 10 à 25 millions \$ par quai tandis que le coût des rénovations d'un navire atteint 1 million \$. Une contrainte additionnelle concerne l'utilisation de carburants verts par les navires qui rendrait superflu l'électrification à quai. Étant donné que la principale source des émissions de GES provient des navires, les réponses viendront d'acteurs qui effectueront des ajustements qui ne seront pas influencés par les acteurs portuaires locaux.

Tableau 6. Avitaillement par type de carburant et type de navire sur le système Saint-Laurent, 2022 (tonne)

	MGO	VLSFO	380 CST	LNG	MFO	MDO	HFO	Diesel	ULSFO	ULSD	Diesel coloré	Total	Pourcentage
Vraquier	46 082	32 521	2 165		1 225	395	620	11,3	70			83 089,3	41,70
Pétrolier	26 130	11 204	210	6 257		210						44 011	22,09
Porte-conteneur	30 020	2 085	1 120									33 225	16,68
Cargo général	13 704	4 790	3 395				210		350			22 449	11,27
Croisière	10 094		245					127				10 466	5,25
Ro-Ro	755				138,5	1 236		284			20	2 433,5	1,22
Remorqueur	42				1715	240		7				2 004	1,01
Brise-glace						440						440	0,22
Militaire	83,3					280						363,3	0,18
Péto-vraquier	350											350	0,18
Dragueur										235		235	0,12
Baliseur	126											126	0,06
Remorqueur-pousseur					20			28				48	0,02
Total	127 386,3	50 600	7 135	6 257	3 098,5	2 801	830	457	420	235	20	199 240,1	100,00

Source : Slack *et al*, 2024

Pour atteindre la carboneutralité l'industrie maritime et portuaire peut améliorer l'efficacité des opérations des navires et des ports et exploiter un large éventail de technologies et de mesures opérationnelles qui ont le potentiel d'offrir des solutions partielles hors combustibles qui réduisent les émissions de GES dont l'amélioration de l'ingénierie et de la conception des navires; l'augmentation de l'efficacité des services et des opérations des navires et des équipements portuaires; le captage du carbone et l'exploitation de l'énergie éolienne. Ces mesures ne sont pas mutuellement exclusives et sont déjà en vigueur par l'industrie.

7. CONCLUSION

L'industrie maritime et portuaire est au cœur des enjeux liés à la transition énergétique dans le cadre de politiques de décarbonation. À l'aide d'informations obtenues des parties prenantes de l'industrie et de données disponibles par le géoréférencement des navires, il est possible de produire une première estimation de la consommation énergétique et des émissions de GES de l'industrie maritime et portuaire sur le système Saint-Laurent et la rivière Saguenay. Les résultats constituent un important indicateur des défis de décarbonation et permettent d'identifier les stratégies de mise en œuvre de la transition énergétique des administrations portuaires, des exploitants de terminaux et des transporteurs maritimes. Ces stratégies sont de plus en plus liées aux ambitions de décarbonation des propriétaires de cargaison et à l'accroissement de la législation sur la protection de l'environnement. Dans ce contexte, les instruments légaux sont les instruments les plus importants pour l'atteinte de la carboneutralité. Dans le cadre du système Saint-Laurent ceci nécessite une évaluation détaillée de la conformité des activités maritimes et portuaires aux réglementations internationales et nationales afin de comprendre l'impact de la législation sur les processus de décarbonation.

RÉFÉRENCES

- ABU BAKAR, N.N., BAZMOHAMMADI, N., VASQUEZ, J.C. & GUERRERO, J.M.
«Electrification of onshore power systems in maritime transportation towards decarbonization of ports : a review of cold ironing technology», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 178 : 113243.
- ASSOCIATION OF AMERICAN PORT AUTHORITY (2024) *Port decarbonation survey : trends and lessons learned*, Washington, D.C. : AAPA, 32 p.
- BARTENSTEIN, K. (2011) «Navigating the Arctic: The Canadian NORDREG, the International Polar Code and Regional Cooperation», *German Yearbook of International Law*, 54 : 77-124
- BERGQVIST, R. and MONIOS, J. (2019) «Green ports in theory and practice», in Bergqvist, R. and Monios, J. (Eds) *Green Ports; Inland and Seaside Sustainable Transportation Strategies*. Cambridge : Elsevier: 1-17.
- BIUKOVIC, L. (2008) «Selective adaptation of WTO transparency norms and local practices», *Journal of International Economic Law*, 11 (4) : 803-825.
- BUIZA, G., CEPOLINA, S., DOBRIJEVIC, A., DEL MAR CERBAN, M., DJORDJEVIC, O. & GONZALEZ, C. (2015) *Current situation of the Mediterranean container ports regarding the operational, energy and environment areas*, Texte d'une présentation au 6th IESM Conference, Octobre, Séville, Espagne, 7 p.
- CHIRCOP, A. and CZARSKI, M. (2020) Polar Code implementation in the Arctic Five: has harmonisation of national legislation recommended by AMSA been achieved?, *The Polar Journal* 10 (2) : 303-321
- COMTOIS, C. et SLACK, B. (2003) «Innover l'autorité portuaire au 21^e siècle : un nouvel agenda de gouvernance», *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, 44 : 11-24.
- COMTOIS C. & SLACK, B. (2021) «Ship turnaround times in port: comparative analysis of ocean container carriers», *International Journal of Ocean Systems Management*, 20 p.
- DNV GL (2020) *Ports : green gateways to Europe. 10 Transitions to turn ports into decarbonization hubs*, Arnhem : DNV GL, 57 p.
- ELFERINK, A. (2015) «International Law and Negotiated and Adjudicated Maritime Boundaries: Complex Relationship», *German Yearbook of International Law*, 58 : 231-264.

- HENRIK, S.F., POULSEN, R.T., NOWINSKA, A.U., DE LANGEN, P. (2021) «What drives ports around the world to adopt air emissions abatement measures?», *Transportation Research Part D*, 90 : 102644.
- HULSKOTTE, J.H.J. and DENIER VAN DER GON, H.A.C. (2010) «Fuel consumption and associated emissions from seagoing ships at berth derived from an on-board survey», *Atmospheric environment*, 44 (9) : 1229-1236.
- INNOVATION MARITIME (IMAR) (2023) *État du transport maritime au Québec*, Rimouski : IMAR, 118 p.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO) (2018) *Adoption of the initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships and existing IMO activity related to reducing GHG emissions in the shipping sector*. Note by the IMO to the UNFCCC Talanoa dialogue, London : IMO, 27 p.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO) (2021a) *Energy efficiency of ships. Report of fuel oil consumption data submitted to the IMO Ship Fuel Oil Consumption Database in GISIS (Reporting year: 2020)*, MEPC 77/6/1, London : IMO, 15 p.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO) (2021b) *Fourth IMO Greenhouse Gas Study*, London : IMO, 524 p.
- JONES, P. and WEINTHAL, 2008 «Rethinking the resource curse : ownership structure, institutional capacity and domestic constraints», *Annual Review of Political Science*, 9 (1) : 241-263.
- KIM, Geunsub, LEE, Gunwoo, AN, Seunghyun & LEE, Joowon (2023) «Forecasting future electric power consumption in Busan New Port using a deep learning model», *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 39 : 78-93.
- LI, Haibao, LI, Wen & SUN, Xiaowei (2019) *Study on Port Energy Consumption Inventory and Monitoring Technology*, Texte d'une présentation à la 5th International Conference on Transportation Information and Safety, 14-17 juillet, Liverpool, UK, 5 p.
- MOON, Daniel Seong-Hyeok & WOO, Jong Kyun (2014) «The impact of port operations on efficient ship operation from both economic and environmental perspectives», *Maritime Policy and Management*, 41 (5) : 444-461.
- NG, A.K et al (eds) (2016) *Climate change and adaptation planning for ports*, New York : Routledge, 285 p.

- NOTTEBOOM, T, DE LANGEN, P. and JACOBS, W. (2013) «Institutional plasticity and path dependence in seaports : interactions between institutions, port governance and port authority routines», *Journal of Transport Geography*, 27 : 26-35.
- NOVIKOV, S. (2023) *Inventaire et cartographie des producteurs des carburants alternatifs pour l'industrie maritime au Québec et au Canada*, Rapport de stage, M.A., Géographie, Université de Montréal, 106 p.
- O'CONNOR, E., EVERS, N and VEGA, A. (2023) «Port capacity planning – a strategic management perspective», *Marine Policy*, 150 : 105537.
- POTTER, P. (2003) «Globalization and economic regulation in China : selective adaptation of globalized norms and practices», *Washington University Global Studies Law Review*, 119 : 33 p.
- PUIG, M., AZARKAMAND, S., WOOLDRIDGE, C., SELEN, V. and DARBRA, R.M. (2022) «Insights on the environmental management system of the European port sector», *Science of the Total Environment*, 806 : 150550.
- RENAUD-MOYNEUR, (2023) *L'impact des changements climatiques sur l'application de l'article 234 de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer de 1982*, M.A., Droit, Université de Montréal, 149 p.
- RENAUD-MOYNEUR, S. et COMTOIS, C. (2024) *Cadre normatif de la décarbonation de l'industrie maritime et portuaire sur le système Saint-Laurent–Grands Lacs* (à paraître)
- RODRIGUE, J.P., COMTOIS, C. & SLACK, B. (2017) *The geography of transport systems*, 4th edition, London: Routledge Taylor and Francis Books, 439 p.
- SADIQ, M. et al (2021) «Future Greener Seaports : A Review of New Infrastructure, Challenges, and Energy Efficiency Measures», *IEEE Access*, 20 p.
- SLACK, B., NGUYEN, U.P., NOVIKOV, S. et 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.
- STATISTICA (2023) *Annual fuel consumption by ships worldwide from 2019 to 2020, by fuel type*, [En ligne],
[\[https://www.statista.com/statistics/1266963/amount-of-fuel-consumed-by-ships-worldwide-by-fuel-type/\]](https://www.statista.com/statistics/1266963/amount-of-fuel-consumed-by-ships-worldwide-by-fuel-type/).

STOCKBRUEGGER, J. and BUEGER, C. (2024) «From mitigation to adaptation : problematizing climate change in the maritime transport industry», *Wires climate change*, 15 p.

UNFCCC (2016) *Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015*, 36 p. [En ligne], [\[https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf\]](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf).

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, BUREAU OF TRANSPORTATION STATISTICS (2022) *Port performance Freight Statistics Program : supply-chain feature*. Washington D.C., 13 p.

WILLEMS, S and BAUMERT, K. (2003) *Institutional capacity and climate actions*, Paris : OECD environment directorate, International energy agency, 50 p.

YANG, Yi-Ching & LIN, Chao-Liang (2013) «Performance analysis of cargo-handling equipment from a green container terminal perspective», *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, 23 : 9-11.