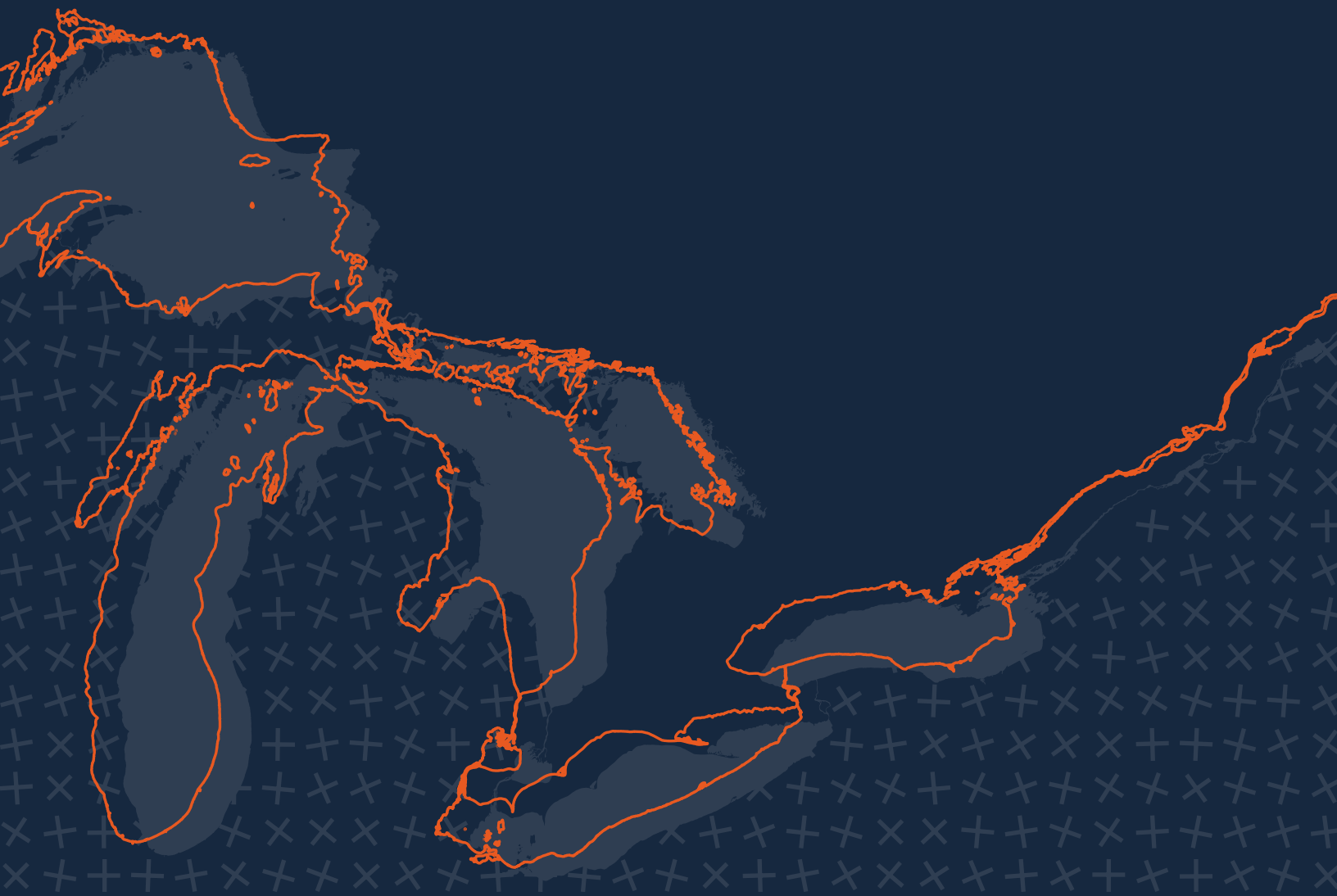

UN RAPPORT GVCdtLab

Renforcer l'attractivité et la compétitivité du corridor Saint-Laurent – Grands Lacs

SEPTEMBRE 2025



Renforcer l'attractivité et la compétitivité du corridor Saint-Laurent – Grands Lacs

Septembre 2025

Thierry Warin

Professeur titulaire, HEC Montréal
Chercheur et Fellow, CIRANO

Nathalie de Marcellis-Warin

Professeure titulaire, Polytechnique Montréal
Présidente-directrice générale et Fellow, CIRANO

Martin Trépanier

Professeur titulaire, Polytechnique Montréal
Membre régulier, CIRRELT

Molivann Panot

Directeur de projets, CIRANO

Sarah Elimam

Professionnelle de recherche, CIRANO

Avec la contribution de

Bilal Siddika

Professionnel de recherche, CIRANO

Aïchata Souleymane Koné

Professionnelle de recherche, CIRANO

Jeremy Schneider

Professionnel de recherche, CIRANO

Pour citer

Warin, T., de Marcellis-Warin, N., Trépanier, M., Panot, M. & Elimam, S. (2025). *Renforcer l'attractivité et la compétitivité du corridor Saint-Laurent – Grands Lacs* (2025RT-01, Report, GVCdtLab.) <https://doi.org/10.54932/MFQC5974>

Table des matières

Sommaire exécutif	4
Introduction	5
I. Un corridor de commerce et de transport	7
Le corridor binational du Saint-Laurent et des Grands Lacs : une puissance économique majeure	7
<i>Un bassin historiquement intégré représentant la 3^e économie mondiale</i>	7
<i>Une interdépendance canado-américaine ancrée dans la région SLGL</i>	10
<i>Spécialités sectorielles et potentiel de diversification</i>	13
<i>Un système multimodal de transports intégré et centré sur la région</i>	17
Une zone intégrée avec des défis géopolitiques et structurels	20
<i>Des défis conjoncturels d'ordre géopolitique</i>	20
<i>Des défis structurels pour le trafic maritime</i>	21
<i>Des temps d'attente et de la congestion intermodale</i>	22
II. Repenser la compétitivité au XXI ^e siècle pour la région SLGL	27
Compétitivité des territoires : une analyse fondée sur le modèle du diamant de Porter	27
Transformation de la fonction de production à l'heure de la science des données	27
Application du modèle de Porter au corridor SLGL	29
<i>Facteurs de production (infrastructures, compétences, technologies)</i>	29
<i>Conditions de la demande de transport de marchandises (transport et commerce)</i>	31
<i>Concurrence entre acteurs logistiques et modes de transport</i>	31
<i>Industries connexes et de soutien</i>	32
Innovation et collaboration, deux leviers pour améliorer l'attractivité et la compétitivité du corridor	35
III. Trois piliers prioritaires en faveur de la compétitivité de la région SLGL	36
Pilier 1 Productivité	36
<i>Profil de la productivité dans la région SLGL</i>	36
<i>Innovation au service de l'efficience logistique</i>	41
<i>Valoriser et accompagner la main-d'œuvre pour une compétitivité sur la durée</i>	44
Pilier 2 Infrastructures physiques et numériques	45
<i>Les infrastructures comme socle incontournable à la productivité</i>	45
<i>Investir dans les capacités de transport intermodales</i>	46
<i>Infrastructures de données pour une logistique intelligente et des décisions éclairées</i>	51
Pilier 3 Résilience et durabilité	52
<i>Faire du corridor SLGL un vecteur de résilience</i>	52
<i>Enjeux environnementaux du transport maritime dans la région SLGL</i>	54
<i>Décarbonation du transport maritime</i>	57
IV. S'inspirer des corridors et hubs européens	65
Corridors de commerce et de transport intégrés	65
<i>Politique de réseaux transeuropéen de transport RTE-T</i>	65
<i>Corridor de transport Mer du Nord – Rhin – Méditerranée (NSRM)</i>	66
Synchromodalité : le cas du Port de Rotterdam	67
Conclusion	69
Bibliographie	72

Sommaire exécutif

Le corridor du Saint-Laurent et des Grands Lacs (SLGL) constitue un espace économique stratégique de plus de 100 millions d'habitants générant environ 6 900 milliards de dollars de PIB annuel, ce qui en ferait la troisième économie mondiale si elle formait un pays. Historiquement structurée autour du fleuve Saint-Laurent, elle joue un rôle clé dans le commerce et le transport nord-américains, mais son potentiel demeure encore sous-exploité et fait face à de nombreux défis. Dans le contexte actuel marqué par l'incertitude économique et géopolitique, la région doit repenser sa compétitivité et son attractivité. De plus malgré d'importants investissements récents aux États-Unis et au Canada le corridor SLGL souffre d'une fragmentation institutionnelle limitant la fluidité logistique et l'innovation, contrairement aux grands hubs portuaires européens comme Rotterdam.

Basée sur une revue de littérature académique et institutionnelle, l'exploitation de données issues du projet de jumeau numérique GVCdtLab pour les réseaux de commerce et de transport du corridor SLGL, ainsi qu'une série d'entretiens avec des acteurs clés du secteur logistique et de décideurs publics, l'analyse présente d'abord les potentiels et défis actuels de la région, en soulignant la nécessité d'une meilleure intégration multimodale,

d'investissements accrus dans l'innovation et d'une collaboration renforcée entre les différentes parties prenantes impliquées. Elle s'articule ensuite autour de trois piliers identifiés comme axes : la productivité portée notamment par l'optimisation des opérations logistiques; la modernisation des infrastructures physiques et numériques, indispensables à la fluidité des échanges commerciaux; et la résilience et la durabilité environnementale, s'appuyant sur la formation de la main-d'œuvre, le partage des données et l'inclusion des communautés locales et autochtones.

Le rapport recommande pour la région SLGL l'adoption d'une vision de plateforme multimodale pour transformer ce corridor de commerce et de transport en un écosystème intégré, compétitif et durable, s'inspirant des pratiques observées dans les corridors et pôles logistiques européens.

Introduction

La région du Saint-Laurent et des Grands Lacs (SLGL) constitue une véritable puissance économique à cheval sur les États-Unis et le Canada, structurée autour du fleuve Saint-Laurent, artère vitale du transport. Abritant plus de 111 millions d'habitants et générant environ 6 900 milliards de dollars de PIB annuel, cette région binationale se classerait comme la troisième économie mondiale si elle constituait un pays (Council of the Great Lakes Region, 2025). Historiquement, le système fluvial SLGL a soutenu le développement régional, en assurant le transport de vrac et en reliant les pôles industriels. Aujourd'hui, il demeure un atout stratégique pour le commerce et le transport – avec un potentiel encore inexploité pour renforcer l'efficacité du fret multimodal et stimuler une croissance durable.

Dans le contexte économique et géopolitique actuel marqué par l'incertitude, cet ensemble économique majeur doit repenser la manière de renforcer son attractivité et sa compétitivité, deux notions pouvant être définies en ces termes :

- **L'attractivité** est la capacité du corridor à attirer des ressources en offrant des conditions favorables en matière d'opportunités économiques, d'institutions et d'infrastructures.
- La **compétitivité** réfère à la capacité du corridor à maintenir ou à améliorer sa position économique mondiale face à la concurrence, tout en assurant une croissance durable de la productivité et du niveau de vie.

Le Canada et les États-Unis reconnaissent l'importance de moderniser les infrastructures de transport dans ce corridor. Ces dernières années, d'importants investissements ont été engagés pour mettre à niveau les infrastructures multimodales. Par exemple, la loi bipartite sur les infrastructures adoptée par l'administration Biden en 2021 a alloué une enveloppe historique de 17 milliards de dollars aux ports et voies navigables des États-Unis (U.S. Department

of Transportation - Maritime Administration, 2025); et, en 2024, près de 580 millions de dollars avaient été consacrés à des projets d'amélioration portuaire dans plusieurs dizaines d'États, incluant les ports des Grands Lacs (U.S. Department of Transportation - Maritime Administration, 2024). Ces investissements visent à accroître la capacité, améliorer les connexions intermodales et réduire les goulets d'étranglement – traduisant un changement d'orientation des politiques publiques vers des solutions de transport intégrées. Du côté canadien, des initiatives comme la Stratégie maritime du Québec et divers programmes fédéraux d'infrastructures orientent également des financements vers les ports, les corridors commerciaux et la modernisation numérique. Ces efforts témoignent d'une compréhension partagée : renforcer les infrastructures portuaires et fluviales est indispensable à un réseau de fret multimodal résilient, générant des bénéfices pour les modes routier, ferroviaire et maritime.

Malgré ces avancées, des défis persistent. Comparé à des pôles multimodaux comme Rotterdam, le corridor SLGL souffre d'une gouvernance fragmentée et d'une coordination limitée, freinant la planification et l'innovation. Alors que les plus grands ports européens fonctionnent comme des plateformes intégrées sous des stratégies unifiées, le SLGL reste géré par une multitude d'acteurs publics et privés agissant en silos agissant souvent en silos. Cette fragmentation a entraîné des occasions manquées pour développer un transport multimodal fluide, en particulier l'utilisation sous-optimale du mode maritime pour les conteneurs et le fret à forte valeur ajoutée. À l'horizon 2026–2035, la région a l'occasion de combler ces lacunes grâce à une plateforme multimodale SLGL dotée d'infrastructures modernes, d'une intégration numérique, de compétences humaines qualifiées et d'un modèle de gouvernance inclusif, ouvrant la voie à un transport de fret plus efficace et durable.

Le présent rapport analyse l'état actuel du

potentiel économique et des réseaux de transport au sein de cette grande région, les bénéfices d'une capacité maritime renforcée, les enseignements tirés des meilleures pratiques internationales, ainsi que la feuille de route pour bâtir une plateforme multimodale capable de transformer les ports du Saint-Laurent en catalyseurs de prospérité régionale.

La structure est organisée comme suit :

- À partir d'une revue de la littérature et de données régionales récentes, l'étude expose en première partie un **portrait détaillé du corridor de commerce et de transport de la région SLGL**, marqué par une forte intégration transfrontalière mais confronté à des tensions géopolitiques, à un ralentissement des gains de productivité et à l'impératif de décarbonation.
- La deuxième partie donne un rappel des **fondements théoriques de la productivité** et une hiérarchisation des leviers d'action, plaçant infrastructures physiques et numériques comme fondations, capital humain et innovation comme moteurs, et IA et science des données comme facteurs d'optimisation
- La troisième partie s'articule autour de **trois piliers stratégiques** interdépendants identifiés comme leviers pour augmenter la compétitivité: 1/ Productivité et efficience logistique, 2/ Infrastructures physiques et numériques, 3/ Résilience et durabilité.
- La quatrième partie présente des exemples d'écosystèmes multimodaux intégrés dont le corridor SLGL pourrait s'inspirer, notamment la politique des corridors de transport européens portée par l'Union européenne pour une illustration institutionnelle, et l'application du concept de synchronodalité au Port de Rotterdam comme modèle de coordination intégrée sur le plan local
- La conclusion propose une vision pour les prochaines années accompagnée d'une série de priorités stratégiques pour faire de la région un **écosystème multimodal**

intégré intelligent et durable à l'image des grands hubs mondiaux.

Du côté de la méthodologie,

- Chaque section comprend une revue de littérature permettant d'établir le cadre conceptuel et théorique pour chacun des enjeux abordés, effectuée sur la base d'une **centaine de références incluant articles académiques, ainsi que des rapports, publications et tableaux statistiques de nature gouvernementale ou sectorielle produits par l'industrie du transport**. Lorsque pertinent, plusieurs exemples d'expériences internationales sont cités à titre d'illustration.
- Notre analyse est ensuite appliquée concrètement au cas de la région SLGL, à travers l'intégration de visuels et de tableaux de données produits dans le cadre du projet **GVCdtLab du CIRANO**, générées notamment dans le jumeau numérique de la région du SLGL sur la base de **plus d'une vingtaine de bases de données**, afin d'identifier les défis actuels au sein du corridor et les solutions potentielles.
- La structure du rapport a aussi été enrichie par les enseignements que nous avons tirés plus de **15 entretiens** menés auprès de décideurs stratégiques représentant différents parties prenantes de l'écosystème logistique maritime du Québec et de l'Ontario, incluant : transporteurs, importateurs/exportateurs, intermédiaires logistiques, Ministères et organisations publiques, milieu académique et scientifique. Ces entretiens ont eu pour objectif de recueillir les perspectives de ces différentes parties prenantes, afin de faire ressortir les principaux enjeux, les leviers et les opportunités et déterminer les priorités d'action. Ils doivent aussi permettre d'identifier les données à explorer.

I. Un corridor de commerce et de transport

Le corridor binational du Saint-Laurent et des Grands Lacs : une puissance économique majeure

Un bassin historiquement intégré représentant la 3^e économie mondiale

La région SLGL, qui regroupe le Québec, l'Ontario et huit États américains (New York, Pennsylvanie, Ohio, Michigan, Indiana, Illinois, Wisconsin, Minnesota), constitue l'un des pôles économiques intégrés les plus importants de la planète. Si ce vaste bassin transfrontalier formait un pays, **son produit intérieur brut avoisinerait 6 900 milliards de dollars US en**

2022, ce qui en ferait la troisième économie mondiale derrière les États-Unis et la Chine. Avec plus de 51 millions d'emplois, **la région génère près du tiers de la production, des emplois et des exportations combinés du Canada et des États-Unis**. En 2022, **le fret maritime et la navigation dans ce réseau ont généré un total de 46,8 milliards de dollars canadiens d'activité économique aux États-Unis et au Canada** (Martin Associates, 2023a). Elle constitue de ce fait un moteur vital de l'économie nord-américaine et un espace hautement intégré en termes de commerce et d'industries (De Marcellis-Warin et al., 2024).

Du seul côté canadien, on y recense près de 800 000 entreprises actives dans divers secteurs industriels, bénéficiant d'un accès direct à un marché régional regroupant 111 millions de consommateurs. Cet espace se distingue par la voie maritime du Saint-Laurent, qui offre un accès unique aux ports intérieurs intermodaux, efficacement reliés par des réseaux routiers, ferroviaires et pipeliniers.

Visuel 1 Aperçu de la région SLGL dans un contexte d'incertitude mondiale

\$6 900 Mds

de PIB en 2024
(en USD)

357k

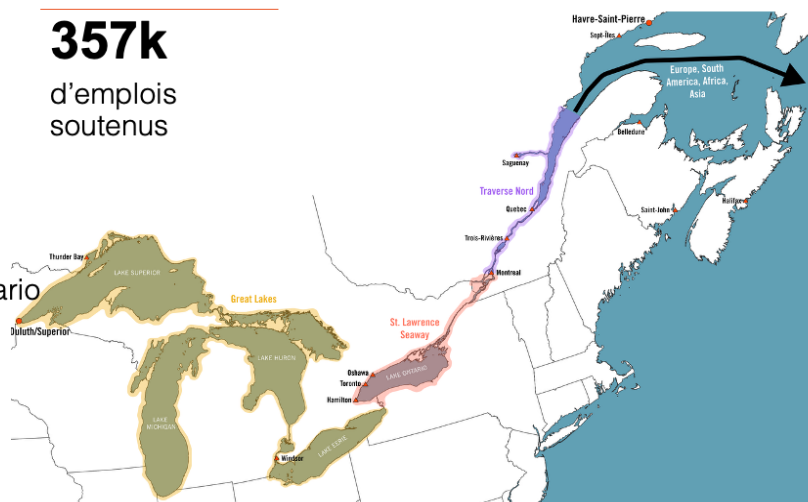
d'emplois
soutenus

798k

entreprises au
Québec et en Ontario

111M

population en
2024



252,1 M

de tonnes
métriques de fret
transporté

\$157,2 Mds

de fret
transporté

\$66,1 Mds

d'activité
économique

Source : Analyse GVCdtLab, à partir de données de U.S. Bureau of Economic Analysis (2025), Statistique Canada (2025e) et Martin Associates, (2023a)

Ce corridor stratégique joue un rôle essentiel dans le transport des vrac tels que les minéraux, les céréales et le pétrole brut, ainsi que dans l'acheminement du fret conteneurisé. En 2023, environ 252,1 millions de tonnes de marchandises, d'une valeur estimée à **157,2 milliards de dollars**, ont transité par ce réseau maritime (de Duluth / Superior à Havre-Saint-Pierre), générant **66,1 milliards de dollars** en retombées économiques sous forme de revenus d'entreprises et de services de transport, et soutenant plus de 357 000 emplois dans la région (Martin Associates, 2023a).

Un point important à retenir est que l'utilisation d'un corridor commercial **n'est pas le fait direct des pays, mais des choix stratégiques des entreprises qui s'y trouvent, lesquelles déterminent la nature et la diversification de leurs échanges**. Ce sont en effet les exportateurs et les importateurs qui, en fonction des incitations disponibles – telles que la réduction des coûts liés au commerce international, l'amélioration de l'efficacité logistique ou encore la diminution des émissions de gaz à effet de serre grâce à l'innovation, à l'optimisation et à la mutualisation des ressources – orientent leurs décisions en matière de transport. En ce sens, le transport ne constitue pas un moteur autonome, mais répond avant tout aux dynamiques commerciales : c'est le commerce qui génère et structure la demande de transport.

Le Visuel 2 illustre de la répartition des plus grandes entreprises établies au sein de la région SLGL, représentées par taille et par secteur. Leur présence constitue un indicateur significatif de la compétitivité et de l'attractivité de cette région, dans la mesure où elles agissent comme des pôles économiques générateurs d'emplois, d'innovations et d'investissements. En outre, ces entreprises tirent parti de la position stratégique du corridor pour leurs activités d'exportation et d'importation, bénéficiant ainsi d'un accès direct tant aux marchés nord-américains qu'aux marchés mondiaux. Elles contribuent par conséquent à consolider le rôle de la région en tant que carrefour international du commerce, où un système d'infrastructures multimodales favorise la circulation efficace des

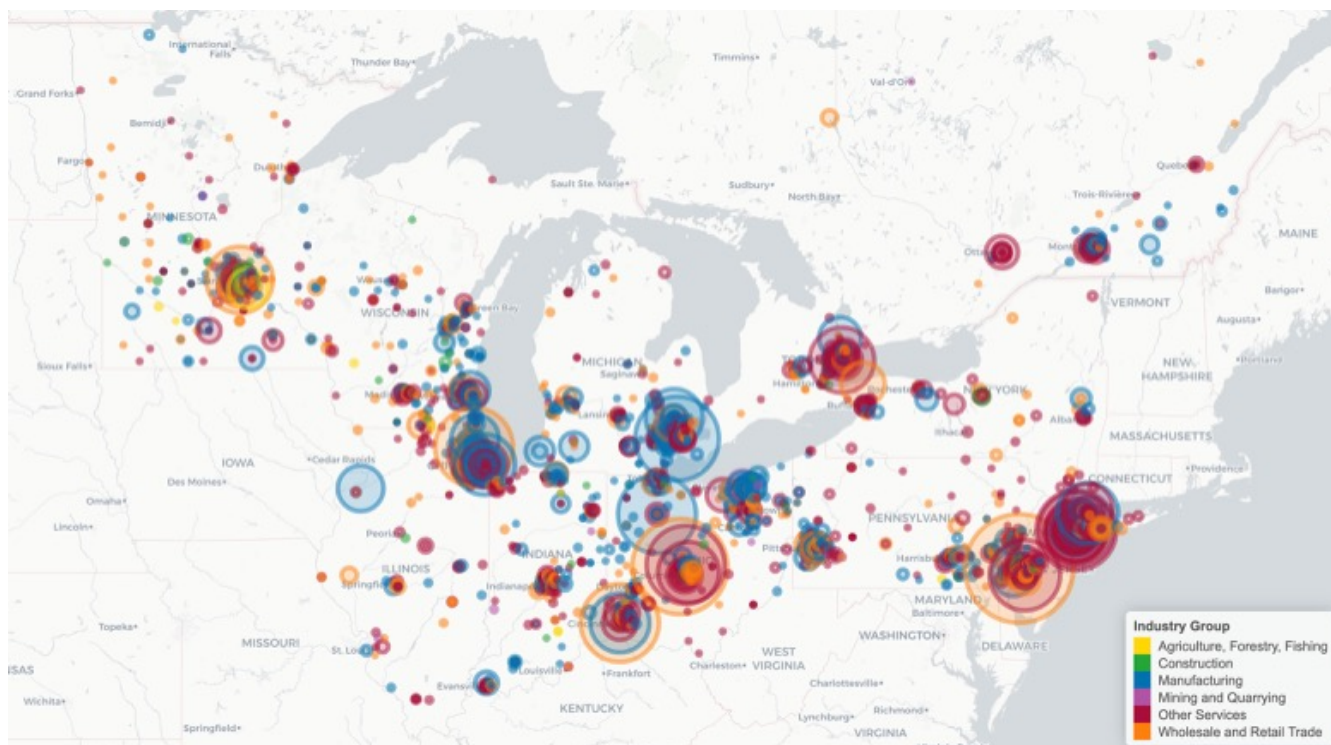
marchandises.

Il est important de noter que les données sur le corridor SLGL ne sont pas toujours directement comparables. Selon les sources, les chiffres peuvent inclure ou non le trafic domestique, les échanges binationaux ou internationaux, et parfois comptabiliser différemment le tonnage manipulé. Ces variations méthodologiques expliquent les écarts observés d'un rapport à l'autre et rendent parfois difficile l'établissement d'un portrait parfaitement cohérent de l'évolution des volumes. Plusieurs études considèrent seulement que les flux portuaires et maritimes, qui ne reflètent finalement que les points d'entrée et de sortie du système et ne rendent pas compte de l'articulation logistique, des flux intermodaux ou de la valeur ajoutée réelle du corridor comme chaîne productive territorialisée (NCFRP, 2012).

En 2024, la chambre de commerce maritime a compilé les données sur le volume physique du trafic du corridor SLGL. Elle estime que **plus de 142 millions de tonnes métriques de marchandises ont transité par le corridor maritime**. 26 % de ce tonnage (soit environ **37 millions de tonnes métriques**) a transité par la voie maritime du Saint Laurent, soit une augmentation de 12,8 % par rapport à l'année précédente (Chamber of Marine Commerce, 2025).

Selon le (United States Government Accountability Office, 2018), **dans les années 1980 le trafic annuel atteignait régulièrement plus de 60 millions de tonnes**. Il a chuté en partie à cause de la désindustrialisation, de la concurrence accrue du rail et de la route, de la saison de navigation limitée et des contraintes de gabarit des navires (« Seawaymax »). Plusieurs analyses soulignent que la Voie maritime du Saint-Laurent serait actuellement sous-utilisée par rapport à sa capacité de conception. Toutefois, la Voie maritime demeure un maillon stratégique pour les vrac lourds tels que le minerai de fer, les céréales et les produits pétroliers.

Historiquement, cette route fluvio-maritime a joué un rôle fondamental dans le



Source : Analyse GVCdtLab, à partir de données de la base Orbis (Moody's)

développement économique du continent nord-américain, facilitant l'intensification des échanges commerciaux de biens et de matières premières, l'intégration progressive des marchés et la croissance des régions riveraines (Olson & Suski, 2020). L'ouverture de la voie maritime du Saint-Laurent en 1959, reliant les Grands Lacs à l'océan Atlantique, a stimulé l'essor des échanges commerciaux de vrac et de produits manufacturés, intégrant progressivement les marchés canadiens et américains autour des Grands Lacs. **Les avantages géographiques (voies fluviales navigables, terres riches) combinés aux investissements d'infrastructure d'envergure ont permis l'émergence d'une puissance industrielle colossale, centrée sur la fabrication automobile, la sidérurgie, l'aérospatiale et l'agroalimentaire.** Des ententes bilatérales comme le Pacte de l'automobile de 1965, puis l'Accord de libre-échange nord-américain (ALÉNA) de 1994, ont renforcé l'intégration des chaînes de valeur dans la région, **en particulier dans le secteur manufacturier.**

La valeur stratégique de cette région

repose notamment sur son caractère intrinsèquement multimodal, c'est à dire un système articulant le maritime, le ferroviaire, le routier, les plateformes logistiques, les zones industrielles, et un ensemble de collectivités territoriales dans les états et provinces les plus peuplés et actifs de l'Est.

Plusieurs réussites illustrent la coopération transfrontalière passée. Depuis 1909, la Commission mixte internationale (CMI) applique les principes généraux du Traité des eaux limitrophes entre le Canada et les États-Unis pour gérer au cas par cas les différends et enjeux transfrontaliers liés à l'eau (Commission mixte internationale, 2023). De même, la gestion conjointe des Grands Lacs à travers l'Accord sur la qualité de l'eau des Grands Lacs (1972) est un exemple notable d'action collaborative pour protéger une ressource environnementale cruciale tout en soutenant l'économie régionale. Par ailleurs, la Conférence des gouverneurs des États et des premiers ministres des provinces du corridor SLGL (instaurée dans les années 1980) a permis d'harmoniser des politiques économiques régionales et de planifier des investissements coordonnés en infrastructures.

Valeur des flux échangés entre les provinces
Tableau 1 et les états de la région SLGL en 2024

L'ensemble de ces efforts concertés ont contribué à faire du bassin SLGL un espace économique relativement homogène, avec des infrastructures logistiques intégrées (réseau autoroutier et ferroviaire dense, ports interconnectés, ponts internationaux majeurs) facilitant un transport fluide des biens.

Importateur	Exportateur	Valeur (Millions USD)
Illinois	Ontario	10,814
Illinois	Quebec	5,084
Indiana	Ontario	8,309
Indiana	Quebec	3,077
Michigan	Ontario	44,994
Michigan	Quebec	3,117
Minnesota	Ontario	2,228
Minnesota	Quebec	1,073
New York	Ontario	13,226
New York	Quebec	8,529
Ohio	Ontario	11,178
Ohio	Quebec	6,045
Ontario	Illinois	14,025
Ontario	Indiana	14,863
Ontario	Michigan	29,264
Ontario	Minnesota	4,376
Ontario	New York	19,671
Ontario	Ohio	22,757
Ontario	Pennsylvanie	10,114
Ontario	Wisconsin	6,954
Pennsylvanie	Ontario	8,951
Pennsylvanie	Quebec	5,344
Quebec	Illinois	952
Quebec	Indiana	636
Quebec	Michigan	727
Quebec	Minnesota	333
Quebec	New York	2,669
Quebec	Ohio	1,351
Quebec	Pennsylvanie	1,508
Quebec	Wisconsin	155
Wisconsin	Ontario	3,030
Wisconsin	Quebec	1,842
Total		267,198

Source : Analyse GVCdtLab à partir de données de Statistique Canada (2025a)

Une interdépendance canado-américaine ancrée dans la région SLGL

Au niveau national, Martin & Mayneris (2020) montrent que la dépendance du Canada vis-à-vis des États-Unis est plus importante qu'on ne le croit généralement. **Les États-Unis représentent non seulement le principal fournisseur du Canada, mais servent également de plateforme logistique pour de nombreuses marchandises provenant d'autres pays** : près de la moitié des importations de fournisseurs non américains transitent par le territoire américain. Au total, environ 80 % des importations canadiennes sont liées aux États-Unis, soit parce que les marchandises y sont produites, soit parce que les marchandises traversent les États-Unis pour entrer au Canada.

Cette intégration se manifeste par des flux commerciaux intenses et bidirectionnels, en particulier dans la région SLGL. Comme le montre le Tableau 1, **chaque année, environ 267 milliards de dollars d'échanges bilatéraux ont lieu entre les provinces canadiennes et les États américains du bassin des Grands Lacs**. Cela dépasse le volume total des échanges que cette région réalise avec des partenaires extérieurs majeurs comme la Chine, le Mexique ou l'Union européenne. En effet, **le Canada est le premier**

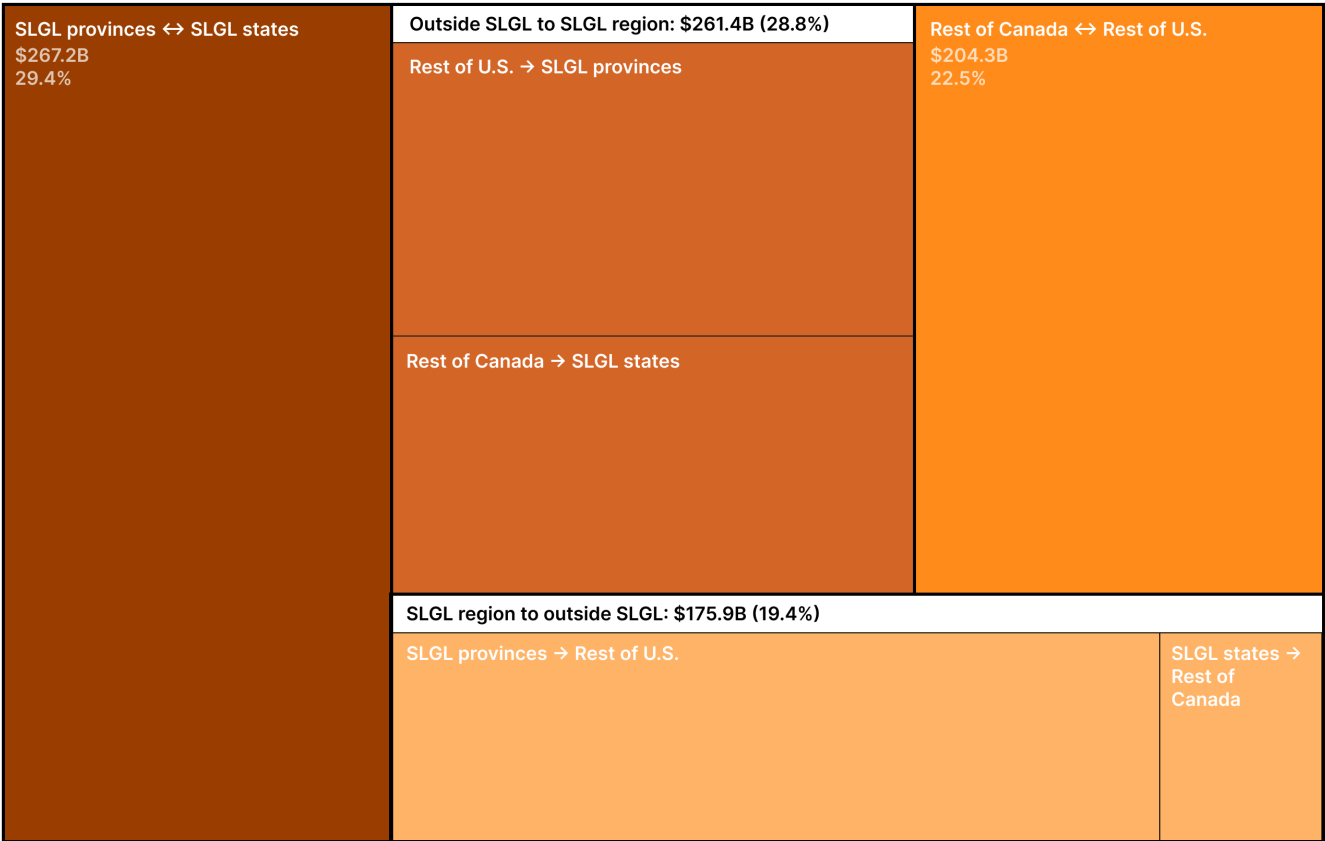
marché d'exportation pour chacun des États américains de la région, et réciproquement, les provinces canadiennes du SLGL exportent massivement vers ces États. Les chaînes d'approvisionnement sont étroitement imbriquées de part et d'autre de la frontière : on estime par exemple que **78 % des importations régionales en provenance du pays voisin sont des intrants intermédiaires (matières premières, composants) destinés à être incorporés dans des productions locales. Un symbole marquant de cette interdépendance est le pont Ambassador (Detroit–Windsor) où transitent quotidiennement près de 10 000 camions et l'équivalent de 500 millions \$ US de marchandises, soit 25 % du commerce bilatéral entre le Canada et les États-Unis sur un seul point de passage** (Council of the Great Lakes region, 2017).

Cette dépendance varie selon les produits et les secteurs. Les importations de véhicules, de papier et de produits d'imprimerie sont fortement liées aux États-Unis, tandis que

les secteurs pharmaceutique et textile sont moins exposés. Les importations mexicaines, chinoises ou coréennes transitent majoritairement par les États-Unis, soulignant le rôle central de ce pays comme hub logistique. L'analyse du contenu américain direct et indirect des intrants montre que **les industries manufacturières canadiennes dépendent fortement des États-Unis**, tandis que le secteur des services reste moins vulnérable.

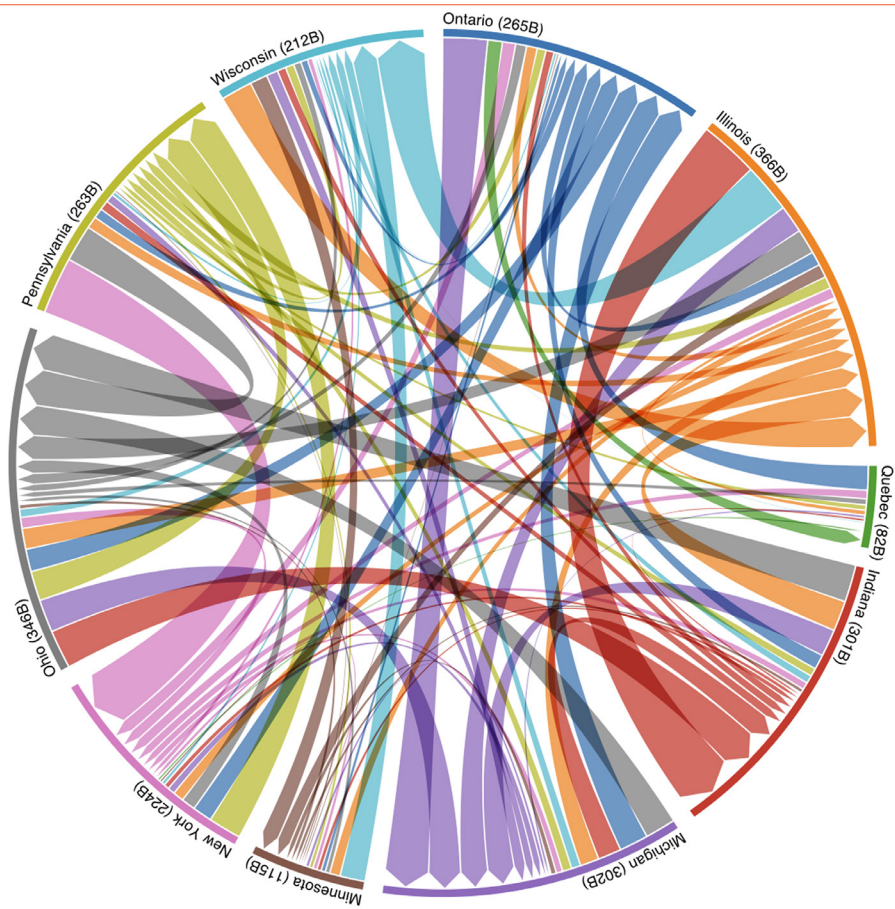
Comme le montrent le Visuel 3, lorsqu'on distingue les échanges commerciaux canado-américains réalisés à l'intérieur et vers l'extérieur de la région SLGL, on constate que la part intrarégionale est prépondérante, représentant 267,2 milliards de dollars canadiens, soit 29,4 % du commerce total entre le Canada et les États-Unis. Le Visuel 4 illustre ces flux internes, qu'il s'agisse des échanges entre provinces ou entre États. Le cas de l'Ontario et du Michigan constitue une bonne illustration : le Michigan importe davantage de l'Ontario que

Visuel 3 Commerce entre le Canada et les États-Unis par région exportatrice-importatrice, 2024



Source : Analyse GVCdtLab à partir de données de Statistique Canada (2025f)

Visuel 4 Flux commerciaux au sein de la région SLGL, 2024

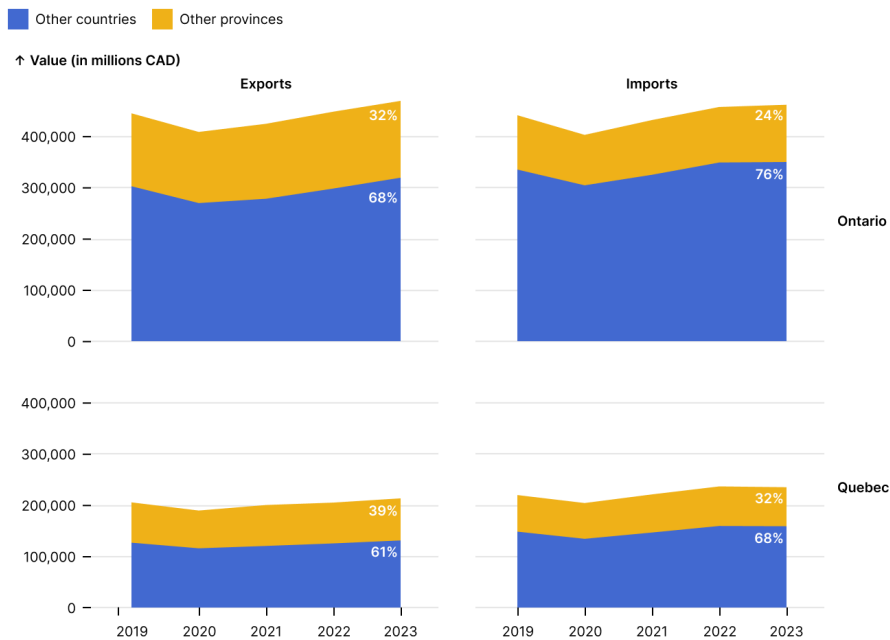


Source : Analyse GVCdtLab à partir de données de Statistique Canada (2025f)

tout autre État américain, tandis que l'Ontario importe plus du Michigan que du Québec. Cette dynamique témoigne d'une forte intégration transfrontalière, soutenue par des chaînes d'approvisionnement communes dans plusieurs secteurs industriels clés, notamment l'automobile en Ontario et l'aéronautique au Québec.

Dans le contexte des défis géopolitiques actuels, les dynamiques d'échanges transfrontaliers entre les entreprises connaissent des ajustements. Comme le montre le Visuel 5, en termes relatifs, les entreprises québécoises exportent davantage vers les autres provinces canadiennes (39 %) que leurs homologues ontariennes (32 %). Toutefois, dans les deux cas, la part du commerce international reste supérieure à celle du commerce interprovincial. Ainsi, 76 % des exportations de l'Ontario sont destinées aux marchés internationaux, ce qui traduit une dépendance plus marquée aux échanges extérieurs que pour le Québec, où cette proportion atteint 68 %. Le visuel met aussi en évidence des différences dans le rythme de reprise post-COVID, tant au niveau des exportations que des importations, entre les deux provinces.

Visuel 5 Proportion du commerce interprovincial et international



Source : Analyse GVCdtLab à partir de données de Statistique Canada (2024b)

Spécialités sectorielles et potentiel de diversification

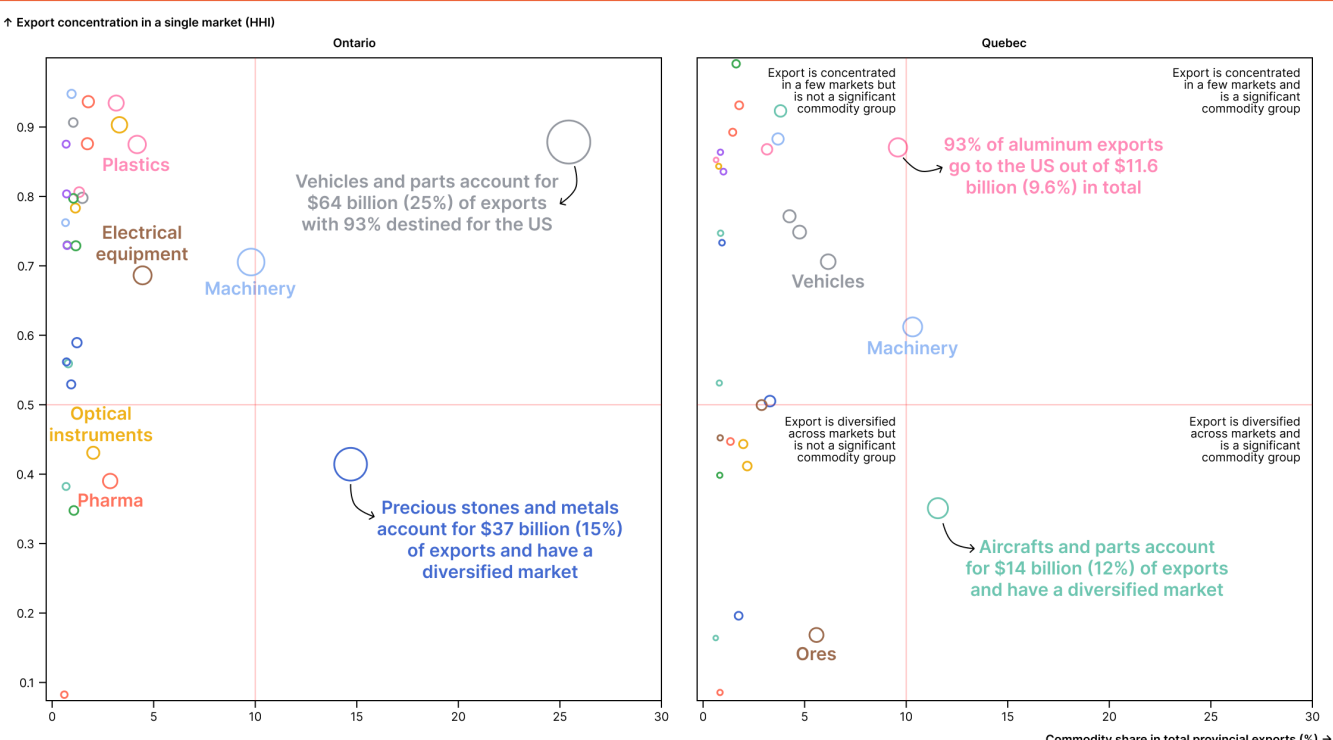
Le Visuel 6 illustre dans quelle mesure la nature des échanges commerciaux dépend des secteurs industriels implantés à l'intérieur comme à l'extérieur de la région. Les données de ce visuel montrent qu'en Ontario, les principales industries en valeur sont l'automobile, les pierres et métaux précieux ainsi que la machinerie, avec plus de 93 % des exportations automobiles destinées au marché américain. Au Québec, ce sont l'aluminium, la machinerie et l'aéronautique qui occupent une place centrale, plus de 93 % des exportations d'aluminium étant également dirigées vers les États-Unis. Au-delà de ces spécialisations, certains secteurs offrent toutefois un potentiel marqué de diversification vers de nouveaux marchés hors des États-Unis. C'est notamment le cas des minéraux critiques, des céréales, du pétrole brut et du gaz naturel liquéfié (GNL), dont la demande croissante pourrait favoriser une expansion rapide des exportations.

Si l'on prend exemple d'un état américain

de la région SLGL, l'Ohio, le montant total des exportations vers l'Ontario et le Québec s'élevait en 2023 à 18 milliards USD. Les secteurs les plus importants d'export vers le Canada concernent principalement les pièces automobiles, la machinerie industrielle et les pièces aéronautiques (Ohio Department of Development, 2023).

À un niveau plus local des municipalités de la région, DiCapua (2025) indique que plusieurs villes américaines sont fortement dépendantes du Canada en termes d'exportation; les métropoles situées au nord du pays occupent généralement un rang plus élevé en raison de l'existence de réseaux ferroviaires, de ports et d'autoroutes interconnectés. D'après un classement effectué par la Chambre de commerce du Canada en 2025 (Tapp, 2025), 10 villes américaines affichent une dépendance en termes d'exportations au Canada supérieure ou égale à 10%; les plus importantes étant Détroit (39%), Chicago (31%), Columbus (33%) et Cleveland (30%), et Pittsburgh (25%). Du côté des villes canadiennes, sept des dix

Les régions ont des industries différentes, mais leurs marchés d'exportation sont fortement concentrés



Source : Analyse GVCdtLab à partir de données de Statistique Canada (2024a)

Étude de cas : Aluminium et indicateur de diversification CCA du GVCdtLab

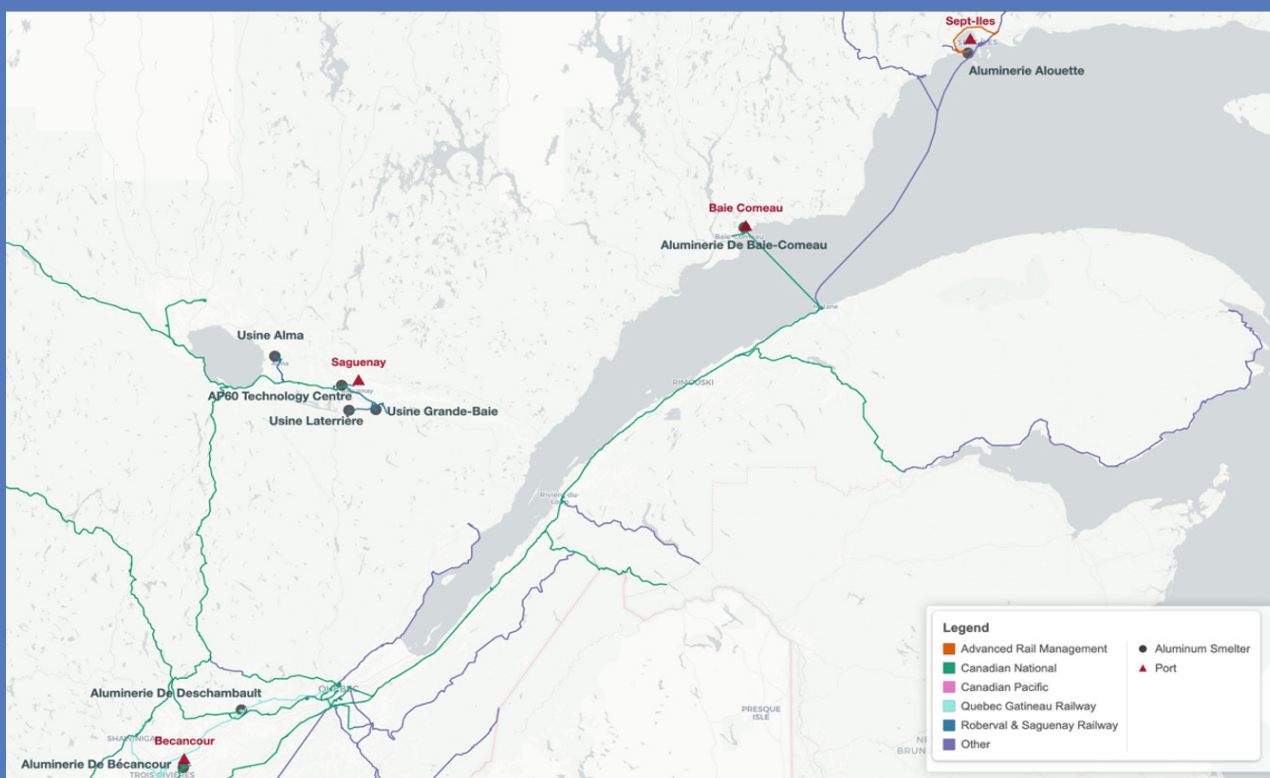
L'aluminium figure parmi les produits les plus exportés du pays : le Canada exporte environ 3,3 millions de tonnes d'aluminium par an, dont 2,7 millions à destination des États-Unis (Ressources naturelles Canada, 2025), pour un total de trois compagnies exploitant ce secteur. Afin de produire cet aluminium, les entreprises canadiennes doivent toutefois d'abord importer de la bauxite et de l'alumine. Une fois importées, ces matières premières sont ensuite transformées dans des alumineries afin de produire de l'aluminium. Le Canada compte dix fonderies, dont neuf au Québec.

Il convient de noter que, malgré la nécessité pour les entreprises canadiennes d'importer plusieurs intrants, le pays demeure l'un des principaux exportateurs d'aluminium au monde. Cela s'explique par plusieurs facteurs.

Premièrement, les entreprises canadiennes ont investi tôt et de manière significative dans les alumineries ; la première cuve a commencé sa production d'aluminium en 1926 (Association de l'aluminium du Canada, 2025). Ensuite, si huit fonderies sur neuf se situent au Québec, ce n'est pas un hasard : la production d'aluminium dans cette province bénéficie de coûts énergétiques relativement faibles, grâce à l'hydroélectricité.

La cartographie des dix alumineries canadiennes met en évidence une implantation systématique à proximité de voies d'eau, reflet de la dépendance du secteur à des intrants importés (qui viennent principalement d'outre-mer). Les principaux pays producteurs de bauxite incluent notamment l'Australie, la Guinée et la Chine. La superposition du réseau ferroviaire québécois montre par ailleurs un

Visuel 7 Carte des alumineries et des principaux ports d'entrée des intrants de l'aluminium



raccordement des sites au rail. Ces éléments structurants éclairent le fonctionnement de la chaîne d'approvisionnement : le Canada importe majoritairement la bauxite et l'alumine par voie maritime, puis exporte l'aluminium—principalement par rail et camion et, dans une moindre mesure, par voie maritime—vers les États-Unis (United Nations, 2025).

Dans le contexte géopolitique actuel, les entreprises canadiennes de l'aluminium pourraient être amenées à réévaluer leurs marchés de destination et leurs partenariats commerciaux. Depuis juin 2025, les États-Unis appliquent un droit de douane de 50 % sur les importations d'aluminium en provenance du Canada, soit une hausse de 25 points de pourcentage par rapport au taux antérieur de 25 %. Pour faire face à cette augmentation, les entreprises canadiennes se tourneront vers de nouveaux marchés. Cette stratégie soulève toutefois deux questions : **(1) le Québec dispose-t-il des infrastructures nécessaires; (2) Quels nouveaux marchés seraient intéressés aux prix proposés par les entreprises Canadiennes?**

Quant à la première de ces questions, il semble que les infrastructures portuaires soient déjà suffisamment développées pour accueillir une hausse des exportations vers l'outre-mer. À titre d'exemple, le président du port de Bécancour, Donald Olivier, a récemment indiqué que le port est prêt si l'aluminerie de Bécancour ou d'autres entreprises du parc industriel décident de développer de nouveaux marchés (ICI.Radio-Canada.ca, 2025).

Afin de répondre à la deuxième question, il faut que les échanges d'aluminium canadien soient attractifs du point de vue des prix, tant pour les entreprises Canadiennes que pour celles du nouveau marché importateur. C'est dans cette optique qu'un nouvel indicateur est élaboré, à savoir l'avantage comparatif basé sur les coûts (ou CCA en anglais). Le CCA mesure le taux de marge maximal à partir duquel les entreprises canadiennes demeurent encore compétitives par rapport

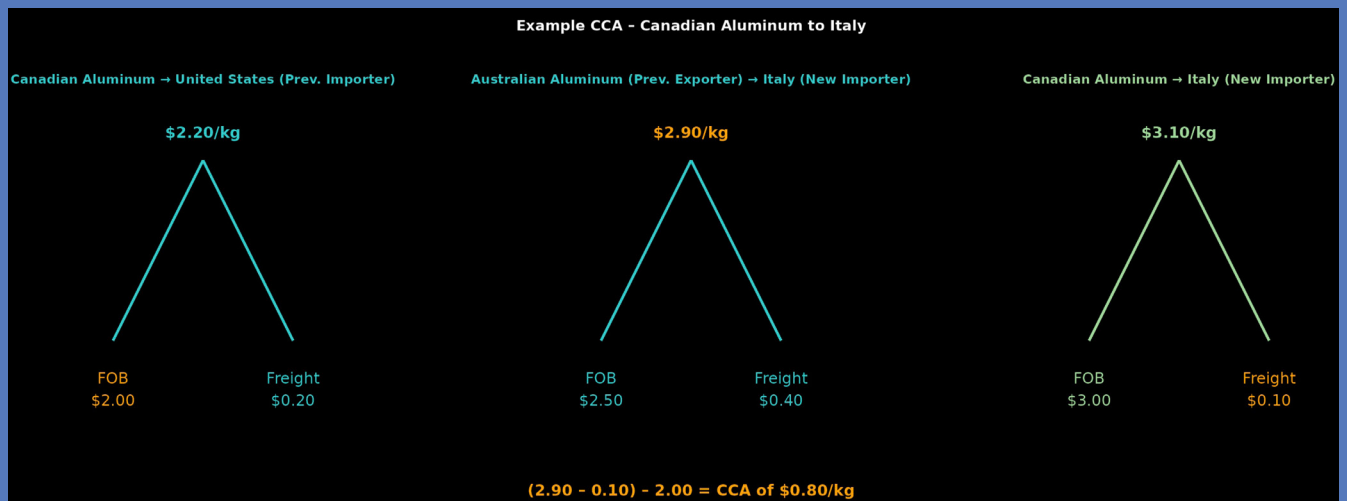
aux autres exportateurs pour un produit donné.

Pour voir comment se calcule un CCA, considérons trois flux de commerce existants :

- celui où des entreprises canadiennes exportent vers un pays dont elles souhaitent se détourner
- celui où un pays exportateur que le Canada pourraient concurrencer expédie le même produit vers un marché potentiel ;
- celui où des entreprises canadiennes exportent déjà le produit en question vers le marché potentiel (mais pourraient avoir un intérêt à en exporter davantage).

Le CCA nous informe si les entreprises canadiennes et les compagnies importatrices du marché potentiel (c'est-à-dire le 3ème flux) auraient un intérêt, en termes de coûts, d'augmenter les échanges d'un produit entre eux plutôt que de continuer d'échanger autant avec les partenaires mentionnés dans les flux 1) et 2). Plus précisément, partons de la valeur coût, assurance et fret (CAF) d'un produit. Elle est la somme de deux composantes ; une valeur franco à bord (FAB ou FOB en anglais), c'est-à-dire la valeur marchande, et des coûts de transport. On retient d'abord la valeur CAF moyenne par kilogramme pour un produit donné entre l'exportateur à concurrencer et l'importateur potentiel. Il s'agit donc de la valeur CAF du flux 2). On en soustrait par la suite les coûts moyens de transport depuis le Canada vers ce même importateur pour le même produit (c'est-à-dire les coûts de transport pour le flux 3) ; la différence constitue une valeur FAB maximale hypothétique à ne pas dépasser. Cette valeur est enfin comparée à la valeur FAB moyenne actuellement pratiquée par le Canada pour ce produit vers un marché de réallocation (depuis lequel des volumes seraient redéployés). Le CCA est la différence entre ces deux valeurs FAB : s'il est positif, cela signifie qu'une réorientation des volumes du produit en question vers le nouvel importateur sera, en moyenne et aux prix actuels, avantageuse pour les deux parties. Un exemple chiffré suit pour illustrer le calcul. Compte tenu du contexte

Visuel 8 Exemple du calcul du CCA : Aluminium canadien vers la France



géopolitique actuel, nous retenons les États-Unis comme importateur actuel dont le Canada envisage de se détourner; l'Australie, grande productrice et exportatrice d'aluminium, comme exportateur de référence; et la France, important importateur d'aluminium, comme marché potentiel vers lequel les entreprises canadiennes pourraient accroître leurs expéditions. En réalité, le calcul d'un CCA peut être fait pour des centaines de milliers de combinaisons de pays et de produits; les pays et le produit retenus ici ne le sont qu'à des fins d'illustration.

Notons que trois pays (en plus du Canada en tant qu'exportateur principal) sont toujours impliqués dans le calcul d'un CCA :

1. un importateur actuel des produits canadiens, dont le Canada peut envisager de se détourner (dans l'exemple ci-dessus, les États-Unis) ;
2. un nouvel importateur potentiel susceptible de remplacer l'importateur actuel (la France);
3. un exportateur actuel vers ce nouvel importateur, que les entreprises canadiennes pourraient évincer par des prix plus bas (l'Australie).

L'objectif est d'évaluer si, à prix observés, il serait avantageux pour le Canada et pour le nouvel importateur que le Canada réalloue une partie de ses exportations du marché actuel vers ce nouveau marché. Concrètement, au

lieu que le Canada exporte de l'aluminium vers les États-Unis tandis que l'Australie exporte vers la France, on examine si le Canada et la France gagneraient à accroître les flux Canada → France. Dans ce scénario, si le CCA est positif, remplacer deux routes commerciales existantes par une route unique serait plus efficace d'un point de vue des coûts. Dans l'exemple ci-dessus, un CCA de 2,50 \$ US/kg signifie que les entreprises canadiennes pourraient majorer de 2,50 \$ US/kg le prix auquel elles vendent actuellement de l'aluminium à des entreprises américaines, rediriger ces ventes vers des entreprises françaises et demeurer, en moyenne, concurrentielles sur le plan des prix par rapport aux fournisseurs australiens.

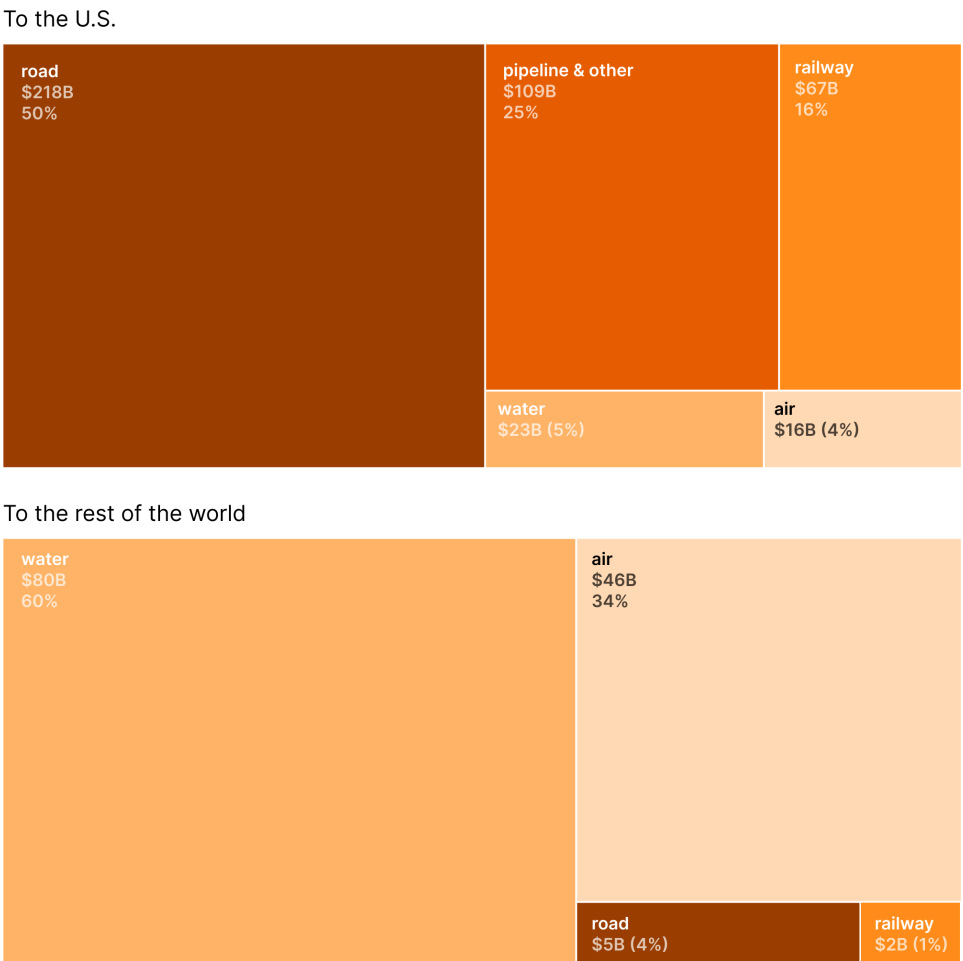
centres urbains les plus exposés aux droits de douane américains se situent en Ontario et au Québec. Le Sud-Ouest de l’Ontario (Kitchener–Cambridge–Windsor) occupe le troisième rang des régions les plus vulnérables au pays, suivi par Hamilton et la province de Québec. En Ontario, la valeur des exportations à destination des États-Unis représente plus de 40 % du PIB de la région de Kitchener–Cambridge–Windsor, principalement des pièces automobiles, machinerie et produits agricoles (Tapp, 2025). **Le Québec produit de 90 % de l’aluminium au Canada, dont la forte majorité des exportations (90% de la production nationale canadienne) est destinée au marché américain. Plusieurs pôles industriels structurent cette filière**, notamment les alumineries situées à Saguenay, Baie-Comeau et Trois-Rivières (Ressources naturelles Canada, 2025).

Un système multimodal de transports intégré et centré sur la région

Toute évolution dans les pratiques commerciales des entreprises se répercute directement sur les dynamiques de transport. Comme l’illustre le Visuel 9, 50 % de la valeur des marchandises canadiennes exportées vers les États-Unis se font par camion, tandis que le rail et le transport maritime jouent un rôle plus limité. En revanche, les exportations à destination les autres pays du monde reposent presque exclusivement sur le transport maritime et aérien. Si le commerce avec ces marchés venait à s’intensifier, il apparaîtrait essentiel de renforcer les connexions ferroviaires et routières vers les ports afin de soutenir cette réorientation des flux commerciaux.

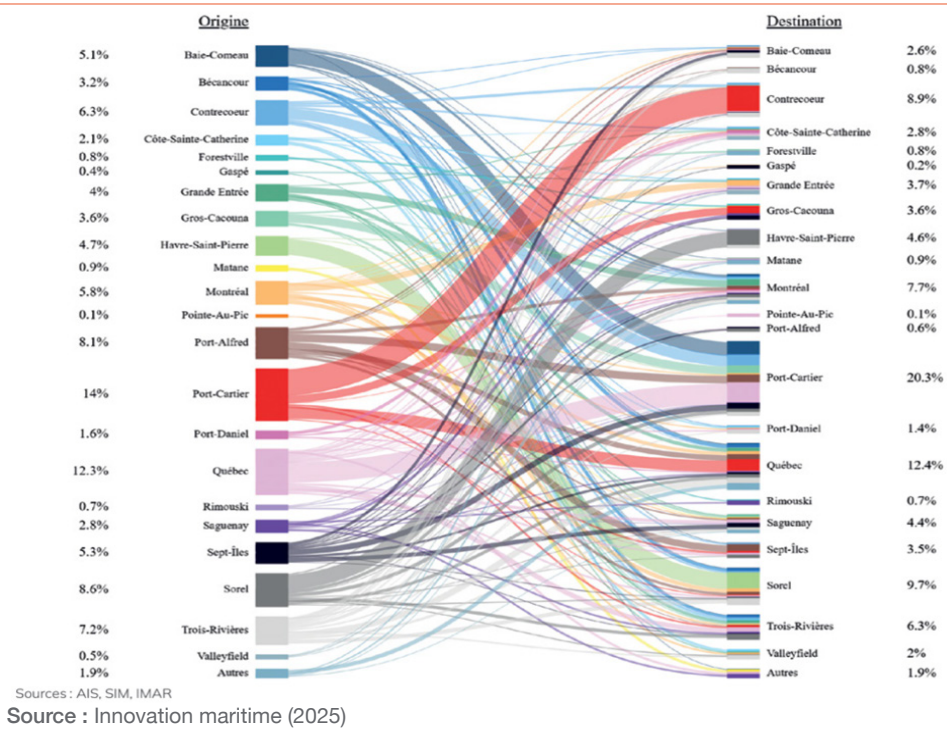
Au sein du corridor SLGL, la majeure partie des flux transport présente une forte orientation vers le vrac. Si le port de Montréal constitue le principal port à conteneurs de la région, les autres installations portuaires en Ontario et dans les États américains limitrophes, traitent des volumes majoritairement ou quasi exclusivement dédiés au vrac sec (minerais, céréales) et liquide (hydrocarbures et produits chimiques). Cette répartition des rôles crée des dynamiques et des défis distincts : tandis que le Port de Montréal fait face aux enjeux liés à la croissance du trafic conteneurisé, à la logistique urbaine et à la connectivité intermodale, les ports de vrac sont davantage confrontés à des

Visuel 9 Répartition modale des flux de transport dans la région SLGL



Source : Analyse GVCdtLab à partir de données de UN Comtrade (2024)

Visuel 10 Flux des vraquiers solides effectués entre les ports du Québec, 2023



problématiques de manutention spécialisée, de saisonnalité des flux et de dépendance à certains secteurs industriels.

En 2023, selon le rapport de (Innovation maritime, 2025), 2 199 mouvements de navires ont été re-censés sur le fleuve Saint-Laurent et la rivière Saguenay, soit une baisse de 2,7 % par rapport au sommet atteint en 2022 (2 260). Entre 2019 et 2023, la moyenne annuelle se situe autour de 2 050 mouvements, les échanges les plus soutenus étant observés entre les ports de Québec et de Montréal. Un peu plus de 24 % de ces mouvements ont eu lieu entre les ports québécois, principalement pour transporter du vrac liquide (comme les hydrocarbures) et du vrac solide (comme les minerais) ». Le Visuel 10 extrait de ce rapport montre les principales liaisons de transport de vrac solide; l'analyse qui y est associée indique que la route Havre-Saint-Pierre-Sorel représente 74 voyages (8,6 % du trafic), liés surtout au transport de minerai de Rio Tinto vers son usine de Sorel. D'autres axes notables concernent le ciment acheminé de Port-Daniel à Côte-Sainte-Catherine (cimenterie McInnis) et le minerai de fer transporté de Port-Cartier à Contrecoeur (ArcelorMittal).

« La majorité de ces transits entre ports relève

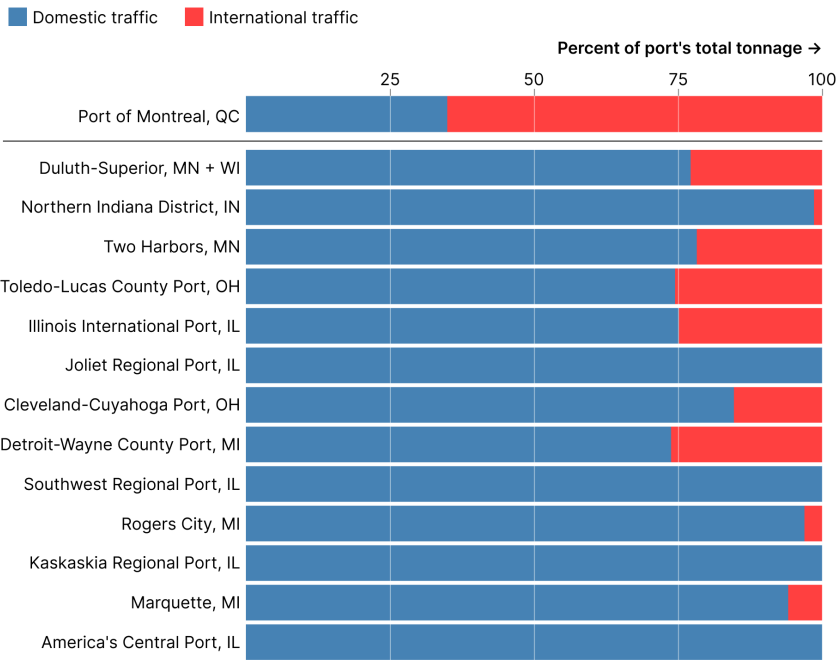
du transport maritime courte distance (TMCD), un élément clé de la chaîne de transport du Québec, essentiel pour le déplacement des marchandises sur de courtes distances. » (Innovation maritime, 2025). « Les ports québécois jouent un rôle clé dans le commerce international, particulièrement pour les échanges avec l'Europe et l'Amérique du Nord, mais également à l'échelle nationale au niveau des échanges avec les Grands Lacs ou les provinces de l'Est

du Canada. En comparaison à 2010, année durant laquelle plus de 117 Mtm avaient été manutentionnées, on observe une importante progression. En 2019, un pic avait été atteint avec près de 157 Mtm manutentionnées, soit une augmentation de plus de 33 % par rapport à 2010. Après une reprise progressive en 2021 et 2022, suite à la période pandémique, le pic de 2019 a été égalé avec près de 157 Mtm manutentionnées en 2023. Il s'agit d'une augmentation d'environ 0,8 % comparativement à 2022. Depuis 2010, la croissance moyenne annuelle observée est d'environ 2,3 % » (Innovation maritime, 2025).

Du côté des États-Unis, les flux maritimes des ports de la région sont essentiellement domestiques. Comme le montre le Visuel 11, le trafic maritime qui transitait en 2022 par les ports américains des Grands Lacs ayant traité plus de 5 millions de tonnes courtes était essentiellement domestique, confirmant **le rôle structurant des Grands Lacs comme corridor logistique national. Le port de Duluth, principal port de la région et vingtième à l'échelle des États-Unis en termes de volume, réalisait plus de 75 % de ses opérations dans le marché intérieur.** De même, les ports de l'Indiana situés sur le lac Michigan orientaient

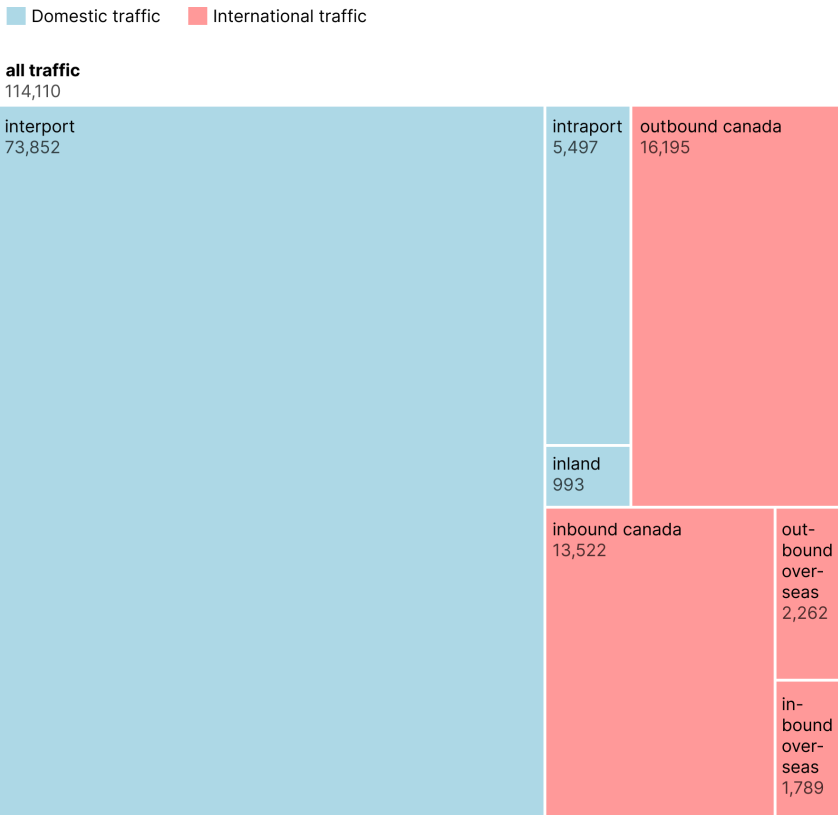
Une vocation essentiellement domestique des ports des Grands Lacs du côté américain

Includes only ports that moved over 5 million short tons in 2022.



Source : Analyse GVCdtLab, à partir de données du Port de Montréal et du U.S. Army Engineer Institute for Water Resources

Flux de marchandises dans les ports américains des Grands Lacs, 2023



Source : Analyse GVCdtLab, à partir de données du U.S. Army Engineer Institute for Water Resources

presque entièrement leur trafic vers le territoire national. Sur les treize ports dépassant le seuil de cinq millions de tonnes courtes, seuls six enregistraient une part de leur trafic extérieur supérieure à 15 %, soulignant la faible ouverture à l'international du réseau portuaire des Grands Lacs, en ce qui concerne le côté américain (GVCdtLab, 2025b)

Pour ce qui du trafic de marchandises traités dans les ports américains des Grands Lacs en 2023, le Visuel 12 met aussi en évidence la forte prédominance des échanges domestiques, qui représentent 70 % des volumes traités. **Ces flux sont majoritairement constitués de liaisons interportuaires au sein du réseau des Grands Lacs (92 %), tandis que les mouvements intraportuaires (mouvements entre installations d'un même port) et les connexions avec les voies navigables intérieures demeurent plus marginaux.** La part de commerce international de ces ports est surtout concentrée sur les échanges avec le Canada. Les cargaisons sont majoritairement composées de matières premières telles que minerai de fer, pierre calcaire, sel, charbon, tant pour les flux intérieurs que transfrontaliers. Les exportations vers les marchés d'outre-mer, présentent une plus grande diversité, incluant minerai, céréales et charbon (GVCdtLab, 2025c). **Ces deux visuels confirment le rôle central des ports américains dans le fonctionnement logistique des chaînes d'approvisionnement en vrac pour les industries de la région SLGL.**

Une zone intégrée avec des défis géopolitiques et structurels

Des défis conjoncturels d'ordre géopolitique

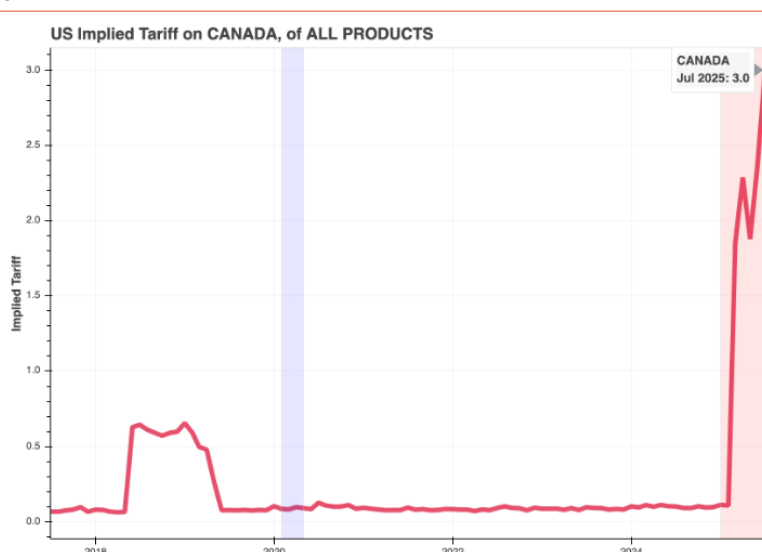
Sur le plan géopolitique, la montée de politiques commerciales protectionnistes et les tensions entre grands blocs ont créé des craintes pour cette région fortement dépendante du commerce extérieur. La guerre commerciale initiée en 2018 par les États-Unis (tarifs sur l'acier, l'aluminium, menaces sur l'automobile) a mis en lumière la vulnérabilité de l'appareil manufacturier du corridor SLGL aux décisions unilatérales de part et d'autre de la frontière. Bien que l'ALÉNA ait été remplacé en 2020 par l'Accord Canada-États-Unis-Mexique (ACEUM), assurant la continuité de l'intégration nord-américaine, le climat d'incertitude a pu freiner certains investissements. De plus, les mesures de sécurité frontalière renforcées depuis le 11 septembre 2001 ont alourdi les procédures de passage à la frontière, nécessitant des solutions technologiques (programmes de voyageurs confiants type NEXUS, systèmes de

pré-dédouanement) pour concilier sécurité et fluidité commerciale.

Depuis le début de la guerre des droits de douanes amorcée par l'administration américaine en 2018, lors du premier mandat de l'administration Trump, la compétitivité est au cœur des discussions. **Les enjeux de la région SLGL se démarquent comme les plus importantes en matière d'intégration économique.** Bénéficiant de relations historiquement étroites, le Canada et les États-Unis partagent une frontière reconnue comme l'une des plus sûres et collaboratives de la planète, avec 3,6 milliards de dollars canadiens d'échanges de biens et services chaque jour¹.

Pourtant, lors de son premier mandat (2017–2021), Trump imposait unilatéralement des **tarifs de 23 %** sur l'acier et l'aluminium canadiens, utilisant des justifications de sécurité nationale, ce qui conduit à la renégociation de l'ALÉNA en ACÉUM sous une pression politique significative. Le second mandat, débuté en 2025, marque une escalade significative : le 3 mars 2025, Trump annonce des **tarifs de 25 % sur tous les biens canadiens importés** (10 % pour les produits énergétiques), accompagnés de menaces d'augmenter ces tarifs jusqu'à **35 % pour l'automobile** à partir du 1^{er} août si aucun accord n'était conclu. Ces mesures concrétisent une volonté de dominer le leadership commercial en imposant un rapport de force, y compris aux alliés traditionnels.

Visuel 13 Droits de douane implicites américains sur tous les produits canadiens



Source : Waugh (2025) à partir de données de US Census Bureau (2023) et Federal Register (2025)

¹ Selon les données de Statistique Canada, en 2024, les échanges de marchandises entre le Canada et les États-Unis ont dépassé le seuil de 1 000 milliards de dollars pour la troisième année consécutive. Les États-Unis ont été la destination de 75,9 % des exportations totales du Canada et la source de 62,2 % de ses importations totales. Cela représente environ 2,74 milliards de dollars canadiens par jour en échanges de marchandises. En y ajoutant les échanges de services, qui s'élèvent à environ 17,7 milliards de dollars par mois en exportations et 18,1 milliards de dollars en importations, le total quotidien des échanges de biens et services entre les deux pays avoisine les 3,6 milliards de dollars canadiens. Pour plus d'information, consulter : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/250205/dq250205a-eng.htm>

Cette évolution des relations bilatérales entre les deux pays représente un défi important, alors même que leur intégration économique repose depuis des décennies sur le libre-échange. Jusqu'en février dernier, le taux moyen des droits de douane appliqués aux exportations canadiennes vers les États-Unis était d'environ 0,1 %, mais il a atteint près de 3 % en juillet 2025. Cette hausse marque un tournant qui s'accompagne d'enquêtes américaines sur l'effet des importations sur la sécurité nationale. Ces investigations notamment l'aluminium, l'acier, le cuivre, le bois d'œuvre, les produits pharmaceutiques, ainsi que les véhicules, avions, drones, moteurs et semi-conducteurs. Une telle situation crée une incertitude considérable pour les échanges transfrontaliers et pourrait fragiliser les chaînes de valeur régionales longtemps structurées autour de cette relation économique privilégiée.

Face à ces actions, le Canada réplique. Le 12 mars 2025, Ottawa impose des **contre-tarifs d'environ 30 milliards CAD** sur des produits US — acier, aluminium et biens manufacturés — selon une logique de “dollar pour dollar”. Ces démarches s'inscrivent dans un contexte diplomatique tendu, avec la menace américaine d'augmenter les tarifs à 35 % selon un ultimatum fixé au 1^{er} août 2025. Les perspectives d'un commerce apaisé sont ainsi fortement compromises. Évidemment le choc du côté canadien est sans commune mesure. Alors que le commerce mondial peinait déjà à se remettre des effets de la pandémie sur les chaînes d'approvisionnement et que les perturbations géopolitiques au Moyen-Orient, en mer rouge ou en Europe augmentaient les risques et l'incertitude en plus d'avoir fait monter les prix du transport et de certaines commodités; la guerre commerciale, avec un voisin qui semblait pourtant acquis, a raisonnablement comme un coup de couperet auprès des acteurs publics et privés qui y voient une atteinte supplémentaire à la productivité canadienne.

Cependant, le rapport de Deslauriers et al.

(2025)², met en perspective les seuls effets de la guerre commerciale soulignant que « même en envisageant une levée complète des entraves réglementaires au pays, il serait utopique d'espérer obtenir une augmentation de 6,9 % du niveau de vie » (Deslauriers et al., 2025, p.6). Autrement dit, nonobstant les enjeux commerciaux avec les États-Unis, le Canada a déjà des problèmes structurels importants qui limitaient sa productivité. Les auteurs notent également que « même en s'attaquant à l'harmonisation des réglementations provinciales – le véritable enjeu – l'effet sur le volume des échanges commerciaux d'est en ouest demeurera limité », car la distance qui sépare les marchés régionaux et l'incapacité des entreprises à surmonter les effets de la distance creuse davantage le déficit structurel de productivité. Ce qui remet en perspective les opportunités que représentent la stratégie de commerce canadien à l'intérieur de ses frontières.

² Deslauriers, Jonathan, Robert Gagné et Jonathan Paré, La productivité : la clé pour un marché intérieur fort et résilient , Centre sur la productivité et la prospérité (CPP) – Fondation Walter J. Somers, HEC Montréal, Mai 2025

Des défis structurels pour le trafic maritime

Le réseau de transport corridor SLGL est confronté à plusieurs défis en raison de ses caractéristiques uniques (Slack & Comtois, 2022). En particulier, la spécialisation dans le transport de marchandise en vrac destinée à de grandes entreprises industrielles — typique de la région SLGL—, nécessite de plus grands navires que ceux présents dans d'autres voies navigables intérieures. La gestion des écluses, les interactions avec les acteurs publics, les hivers rigoureux forçant notamment l'interruption

des saisons de navigation et la complexité du réseau intermodal sont autant d'éléments particuliers à cette région, qui ajoutent à la complexité du système (Slack & Comtois, 2022). Or, la compétitivité de nombreuses industries de la région sur les marchés mondiaux dépend de la capacité et de la performance de son réseau multimodal de transport de marchandises.

Au Canada, le comité mis en place en 2023 par la Chambre des communes a mis en lumière plusieurs enjeux structurants liés à l'expansion et à l'optimisation des infrastructures portuaires au Canada, tels qu'exprimés par les représentants d'administrations portuaires au pays (Montréal, Halifax, St. John's, Hamilton et Prince Rupert). Parmi les obstacles évoqués, figurent la lenteur des processus d'examen des projets, les plafonds d'endettement jugés trop restrictifs pour les autorités portuaires, ainsi que la pénurie de main-d'œuvre dans le secteur maritime. À ces contraintes s'ajoutent les tensions liées à la cohabitation entre les ports et les communautés locales, qui soulèvent

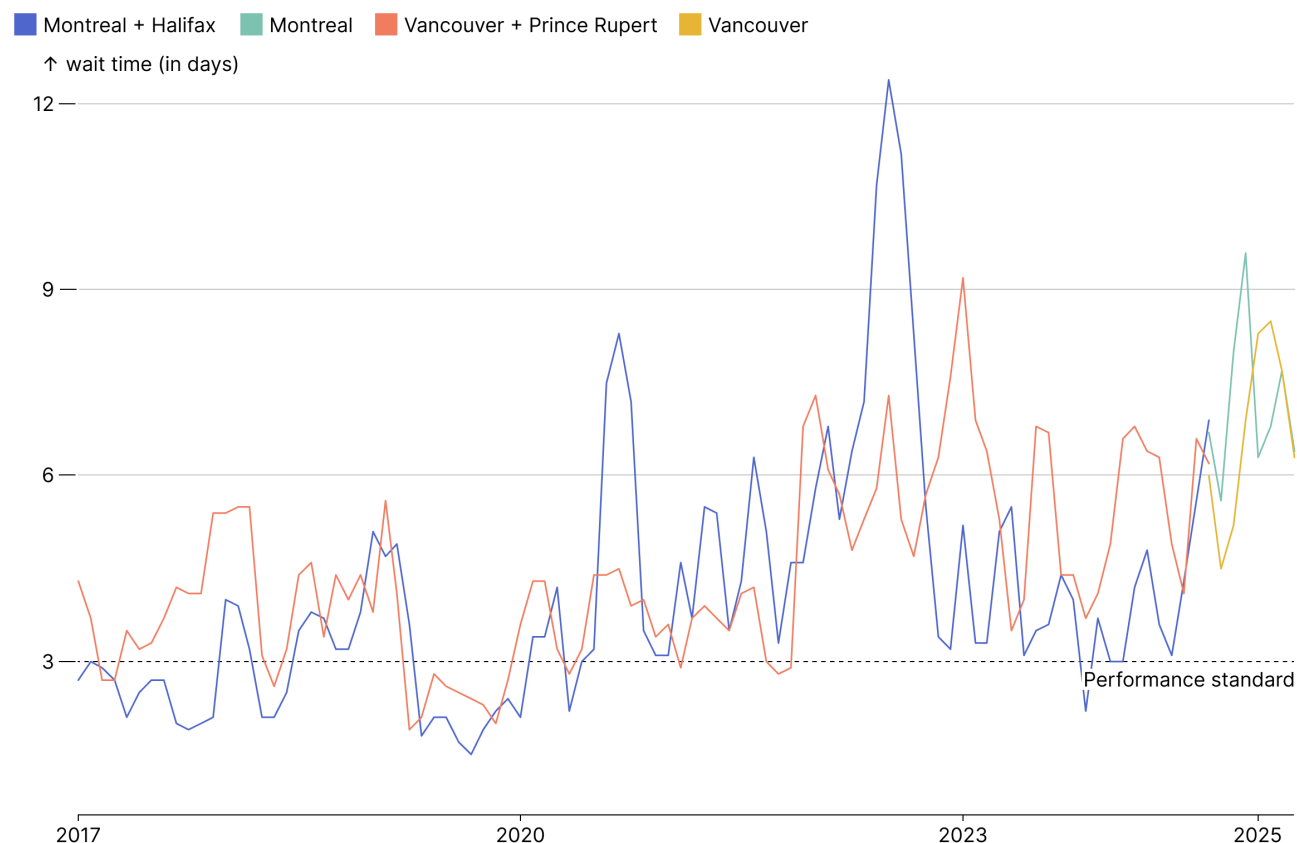
des préoccupations d'acceptabilité sociale. En réponse à ces défis, plusieurs témoins ont plaidé en faveur d'une meilleure collaboration interportuaire, passant par un partage accru de données sur les flux de marchandises et la mise en œuvre d'une stratégie nationale intégrée pour la chaîne d'approvisionnement. Ces constats soulignent la nécessité d'un cadre institutionnel et réglementaire plus agile, ainsi que d'une gouvernance plus coordonnée à l'échelle du réseau portuaire canadien³ (Comité permanent des transports, de l'infrastructure et des collectivités, 2023).

Des temps d'attente et de la congestion intermodale

La fluidité du transport de marchandises entre les ports maritimes et l'arrière-pays repose

³ Pour consulter ces conclusions : https://publications.gc.ca/collections/collection_2023/parl/xl27-1/XC27-1-1-441-14-fra.pdf

Visuel 14 Des temps d'attente en augmentation dans les principaux ports de conteneurs du Canada



Source : Analyse GVCdtLab à partir de données de Transport Canada, Port de Montréal, Port de Vancouver

également sur une bonne interconnexion avec les réseaux terrestres, en particulier ferroviaires, qui offrent une alternative économique et écologique au transport routier. Toutefois, une faible connectivité mer-rail freine les flux de marchandises et limite la capacité globale des ports (Abu-Aisha et al., 2024b). Au Canada, l'interface intermodale entre les ports et le rail est régulièrement confrontée à des goulots d'étranglement qui compromettent la fluidité du transport maritime. Depuis la pandémie, les temps d'attente pour le transfert des conteneurs dans les ports de Montréal et Vancouver dépassent largement les normes de performance fixées à trois jours, atteignant jusqu'à 12 jours à Montréal en juillet 2022 et plus de 9 jours à Vancouver en janvier 2023. Ces retards sont exacerbés par l'augmentation du trafic maritime, les interruptions de travail et les aléas climatiques, révélant la vulnérabilité des terminaux portuaires à des perturbations systémiques. La persistance de ces délais met en évidence la nécessité d'investissements ciblés dans l'infrastructure intermodale, d'une meilleure coordination entre les acteurs portuaires et ferroviaires, ainsi que du renforcement de la résilience opérationnelle

pour préserver la compétitivité commerciale du Canada (GVCdtLab, 2025a). Le Visuel 13 basé sur les indicateurs de performance de la chaîne d'approvisionnement sur les transports de Transports Canada⁴ illustre cette hausse des temps d'attente dans les ports canadiens entre 2017 et 2025.

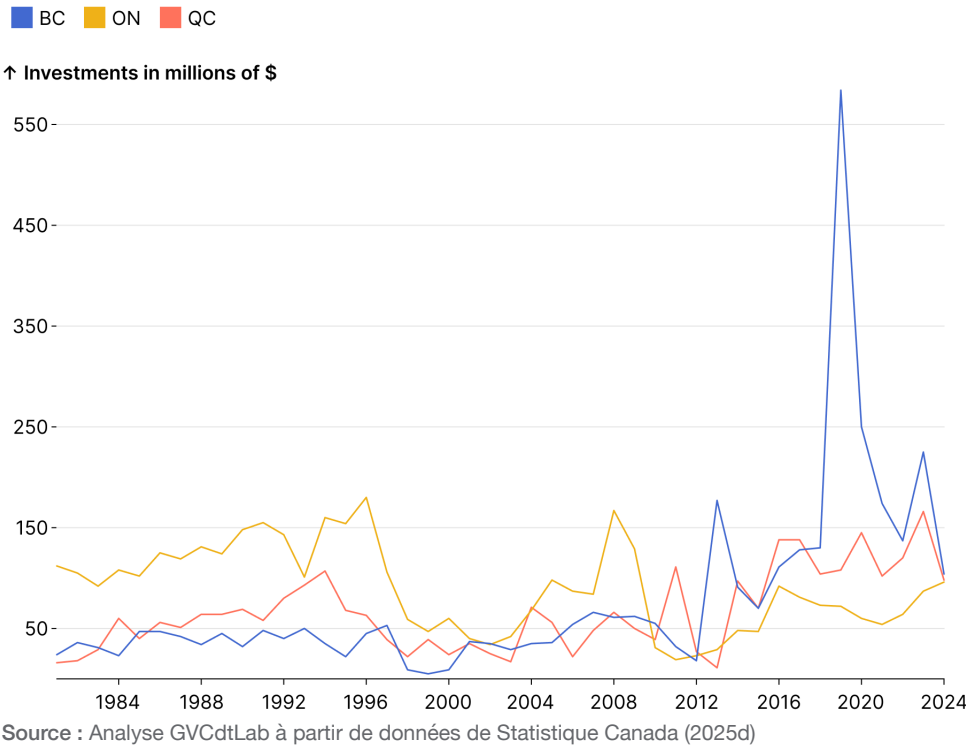
Des investissements limités en capital privé au Québec et en Ontario

Les Administrations portuaires canadiennes (APC), doivent financer leur entretien et leur développement par une combinaison de revenus d'exploitation, de prêts, de capitaux privés et de soutiens publics, notamment fédéraux. Le principal programme fédéral, le Fonds national des corridors commerciaux, a accordé depuis 2017 environ 4,6 milliards \$ à divers projets d'infrastructures de transport (Transports Canada, 2023). Pour une perspective historique des investissements dans les infrastructures maritimes, le Compte économique de l'infrastructure de Statistique Canada fournit des estimations des dépenses depuis 1981, mais dans un champ plus restreint limité aux actifs physiques comme les ports,

havres, canaux et voies navigables. Le Visuel 15 montre le rapport entre investissements privés et publics dans les infrastructures maritimes en Colombie-Britannique, en Ontario et au Québec depuis 1981.

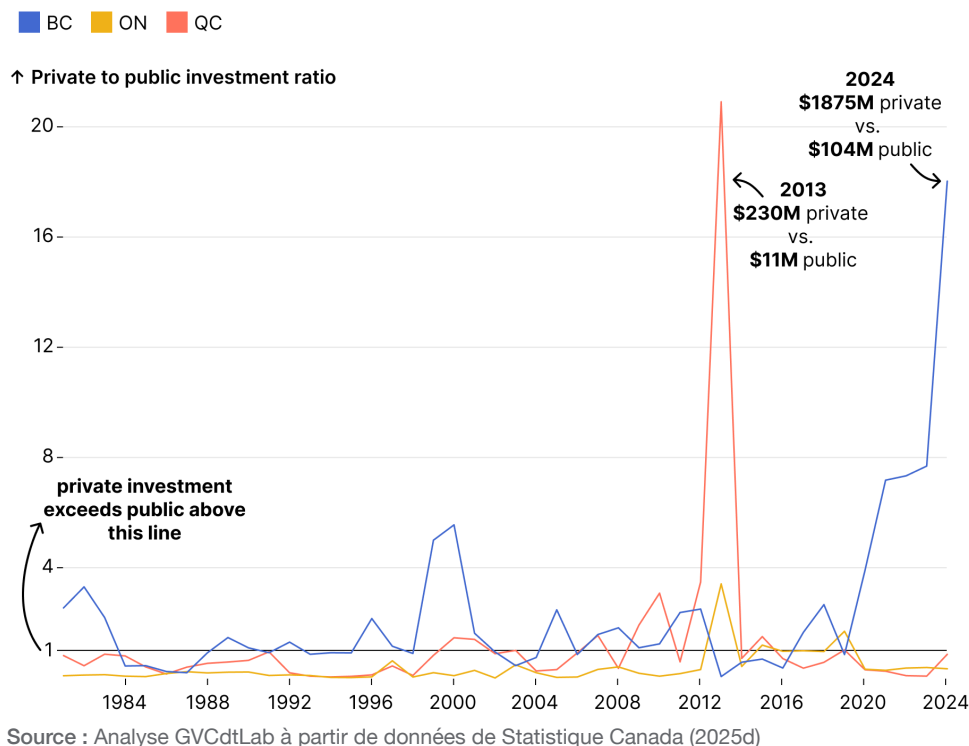
Ces données révèlent des contrastes régionaux : en Ontario, les investissements maritimes proviennent presque exclusivement

Visuel 15 Investissements publics annuels dans les infrastructures maritimes



⁴ Indicateurs disponibles à : https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p3VD_f.pl?Function=getVD&TVD=1509026&C-V=1509032&CPV=12&C-ST=01012022&CLV=2&MLV=3

Investissement privé par dollar de financement public dans les Visuel 16 infrastructures maritimes



de fonds publics ; au Québec, les apports privés existent mais demeurent secondaires ; en Colombie-Britannique, en revanche, les capitaux privés jouent un rôle majeur, dépassant régulièrement le milliard de dollars annuels ces dernières années.

Le Visuel 16 montre que jusqu'à la fin des années 1990, l'Ontario concentrait la majorité des investissements publics, mais ceux-ci se dirigent désormais davantage vers la Colombie-Britannique. Le Québec, de son côté, investit autour de 100 M\$ par an depuis 2015, en partie grâce aux revenus de ses ports. Malgré ces apports, un déficit persiste : les 17 APC prévoient environ 5 G\$ de dépenses en immobilisations d'ici 2028, mais manquent de 1,24 G\$, dont près du quart est destiné uniquement à l'entretien des infrastructures existantes (CPCS, 2025).

Sur le corridor SLGL, 2,7 G\$ ont été investis dans les ports et terminaux entre 2018 et 2022, auxquels s'ajoutent 3,9 G\$ pour la voie navigable. Or, la majorité de ces sommes viennent des États-Unis.

Côté canadien, les investissements portuaires

atteignent 644 M\$ (256 M\$ en Ontario et 388 M\$ au Québec), tandis que toutes les dépenses liées à la voie navigable (388 M\$) se concentrent en Ontario. (Martin Associates, 2023b). Côté américain, le financement fédéral des ports passe surtout par deux programmes majeurs : le Harbor Maintenance Tax Fund (HMTF) et le Port Infrastructure Development Program (PIDP). Ces deux dispositifs ont connu une croissance significative de leurs dotations au cours des dernières années, notamment en faveur

des ports des Grands Lacs. Ainsi depuis 2014, le HMTF a plus que doublé pour atteindre 900 millions de dollars en 2025, dont 13 % sont désormais réservés aux ports des Grands Lacs. Le PIDP a vu son budget annuel doubler depuis 2021 grâce à l'Infrastructure Investment and Jobs Act, atteignant 450 millions de dollars. Entre 2019 et 2023, treize ports des Grands Lacs ont ainsi bénéficié de 168.9 millions de dollars de ce programme. Ces évolutions traduisent un regain d'intérêt fédéral pour la navigation et les infrastructures portuaires des Grands Lacs (American Great Lakes Ports Association, 2023).

En résumé, la Colombie-Britannique attire de plus en plus de capitaux privés, alors que le Québec et l'Ontario demeurent tributaires du financement public. Et à l'échelle du système SLGL, le Canada reste en retrait par rapport aux États-Unis, un écart préoccupant pour la compétitivité future de ses corridors maritimes, déjà fragilisés par le vieillissement des infrastructures et la hausse attendue de la demande.

Concentration des infrastructures de l'ASFC pour le dédouanement

L'Agence des services frontaliers du Canada (ASFC) joue un double rôle en lien avec le commerce international : protéger le pays en contrôlant l'entrée des marchandises interdites et en appliquant la réglementation, tout en facilitant la compétitivité du Canada grâce à des procédures de dédouanement efficaces. Ces procédures varient selon la nature des marchandises, le mode de transport et la destination, ce qui engendre des mécanismes parallèles souvent complexes et ralentissant la fluidité des échanges. Plusieurs points d'entrée, actuels ou potentiels, pourraient pourtant servir de pôles multimodaux et offrir plus de souplesse aux entreprises.

Les règles diffèrent pour les exportations et les importations : la plupart des exportations ne nécessitent qu'une déclaration électronique préalable, tandis que celles vers les États-Unis sont exemptées d'autorisation de l'ASFC. En revanche, les importations doivent obligatoirement être libérées par l'agence avant leur entrée au pays. Or, en 2014, moins de 1

% des employés de l'ASFC étaient affectés au contrôle des exportations, selon le dernier rapport du vérificateur général sur le contrôle des exportations à la frontière (Bureau du vérificateur général du Canada, 2015).

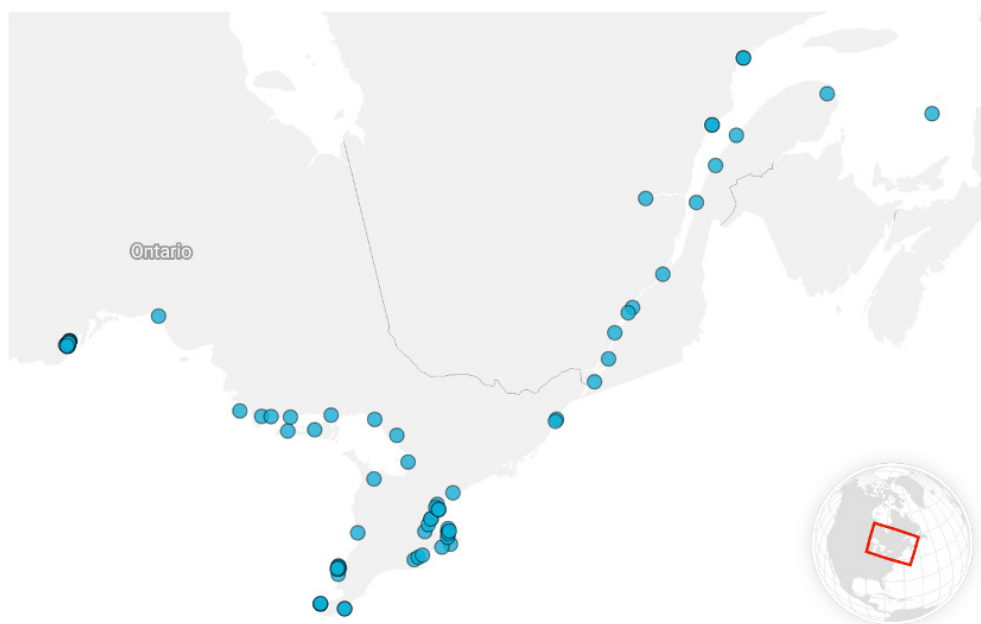
Concernant le transport maritime, seuls les points d'entrée autorisés peuvent traiter les importations: les navires doivent s'y présenter à l'ASFC. Sur les 213 installations canadiennes, 79 sont situées au Québec et en Ontario (GVCdtLab, 2025f).

Bien que ce chiffre concerne probablement uniquement le fret conteneurisé, l'ASFC exige que les navires transportant des marchandises étrangères vers le Canada par les Grands Lacs fassent escale à Montréal pour une inspection radiologique des conteneurs (Agence des services frontaliers du Canada, 2023). Sur la côte est du Canada, seuls les ports de Saint John, Halifax et Montréal disposent d'un tel équipement. Cette concentration des infrastructures d'examen obligatoires accroît le trafic et crée des goulots d'étranglement qui n'existeraient peut-être pas autrement. Comme l'a signalé la Fédération Maritime du

Canada, les navires effectuent souvent leurs formalités de dédouanement dans des ports secondaires plutôt qu'à leur premier port d'arrivée au Canada (Shipping federation of Canada, 2024). Cela est d'autant plus notable que nombre des points d'entrée autorisés mentionnés plus haut traitent d'importants volumes de vrac.

Dans l'ensemble, le système canadien de dédouanement maritime est donc concentré dans un nombre restreint

Visuel 17 Système de dédouanement du commerce maritime au Canada



C/VES: An authorized marine port of entry where cargo and commercial vessels report to the CBSA.

Source : Analyse GVCdtLab à partir de Agence des services frontaliers du Canada (2025)

de ports et demeure asymétrique entre importations et exportations. Bien que la majorité des formalités soient effectuées en ligne, le dédouanement des importations reste centralisé et exige beaucoup de ressources, ce qui accentue la dépendance à quelques points d'entrée clés au détriment de la capacité et de la résilience du réseau.

Une multiplicité des parties prenantes intervenant dans les domaines du commerce et du transport

Dans la partie canadienne, le corridor SLGL se caractérise **par une multiplicité de parties prenantes** intervenant dans **les domaines du commerce et du transport, comprenant notamment les gouvernements canadien et américain (ministères et agences gouvernementales aux différents paliers), les autorités portuaires, les opérateurs de transport, les expéditeurs, les collectivités riveraines et les acteurs industriels, ainsi que les universités et centres de recherche.** Cette diversité d'acteurs, aux intérêts variés et souvent spécifiques, illustre la complexité de cet écosystème régional et génère des défis significatifs pour la prise de décision, notamment en raison de la divergence des priorités et réalités de chacun.

Sur le plan institutionnel, **la gestion de la voie maritime du Saint-Laurent fait intervenir de multiples acteurs et organismes. Les gouvernements canadien et américain partagent la juridiction sur le tronçon international.** Côté canadien, divers ministères et agences exercent des responsabilités sectorielles : Transports Canada pour la sécurité maritime et la réglementation du transport, Pêches et Océans Canada pour la gestion des ressources aquatiques et la Garde côtière canadienne, Environnement et Changement climatique Canada pour les questions environnementales. **Au Québec et en Ontario, les gouvernements provinciaux interviennent dans l'aménagement du territoire, l'environnement et l'économie régionale.** Les autorités portuaires, quant à elles, jouent un rôle majeur dans le développement et l'administration des installations portuaires

situées le long du fleuve, assurant la gestion opérationnelle du trafic maritime, la coordination avec les usagers et le développement de projets d'infrastructures.

II. Repenser la compétitivité au XX^e siècle pour la région SLGL

Compétitivité des territoires : une analyse fondée sur le modèle du diamant de Porter

« *A nation's competitiveness depends on the capacity of its industry to innovate and upgrade.* »

(Porter, 1990, *The Competitive Advantage of Nations*, p. 73)

La notion de **compétitivité** a suscité un large débat en économie depuis plusieurs décennies, précisément en raison de sa polysémie et de ses usages multiples (Lawrence, 2024). Dans sa conception la plus courante, elle renvoie à la **capacité d'un pays, d'une région ou d'une organisation à maintenir et à améliorer sa position économique relative** face à la concurrence internationale, tout en assurant une croissance durable de la productivité et du niveau de vie.

Toutefois, comme le soulignait déjà Porter (1990), il n'existe pas de définition univoque de la compétitivité nationale, celle-ci pouvant être comprise soit comme la capacité à gagner des parts de marché, soit comme l'aptitude à atteindre une efficacité interne accrue, soit encore comme la faculté à créer un environnement favorable à l'innovation.

Porter propose de dépasser les approches strictement macroéconomiques pour fonder

l'analyse de la compétitivité sur l'avantage concurrentiel.

Son modèle identifie quatre facteurs interdépendants :

- la qualité des facteurs de production (infrastructures, compétences, technologies),
- l'exigence de la demande domestique, l'intensité de la rivalité entre entreprises locales, et
- la présence d'industries connexes et de soutien performantes.

Ce cadre met en lumière l'importance des clusters territoriaux et des dynamiques locales d'innovation. L'État, dans ce schéma, agit comme catalyseur en créant un environnement propice à la rivalité, à l'investissement et à la montée en compétences.

Transformation de la fonction de production à l'heure de la science des données

Sur le plan analytique, la **productivité** constitue le socle de toute réflexion sur la compétitivité. Classiquement, elle se mesure à travers trois composantes : la **productivité du travail**, souvent évaluée par le PIB par heure travaillée ; la **productivité du capital**, mesurant la

production par unité de capital physique mobilisé ; et la **productivité totale des facteurs (PTF)**, qui capte les gains d'efficacité non attribuables à une augmentation des intrants traditionnels (Hulten, 2001; Solow, 1956). La PTF est particulièrement centrale car elle reflète les effets du progrès technique, des innovations organisationnelles et de la montée en compétences, autant d'éléments qui permettent de produire davantage avec les mêmes ressources. Dans la perspective de Porter (1990), la compétitivité durable repose précisément sur la capacité à accroître continuellement cette PTF.

Dans cette perspective, la compétitivité du corridor SLGL ne peut être comprise uniquement comme un problème d'augmentation de capacité brute. Elle doit être analysée en termes de **productivité systémique**, c'est-à-dire la capacité à mieux coordonner et intégrer les différents modes de transport et les multiples acteurs publics et privés impliqués. Les innovations récentes en **science des données, en intelligence artificielle et notamment la construction de jumeaux numériques** ouvrent à cet égard des perspectives inédites. En permettant de modéliser en temps réel les flux de marchandises, les contraintes hydrologiques et les interactions intermodales, ces outils contribuent à accroître la PTF du corridor en réduisant les inefficiences, en anticipant les aléas (climat, congestion) et en optimisant l'allocation des ressources (Warin et al., 2024).

Ainsi, replacer la question de la compétitivité du corridor SLGL dans un cadre théorique rigoureux permet de souligner deux points essentiels. **D'une part, la compétitivité de la région ne peut être réduite à une comparaison statique de coûts ou de volumes** : elle dépend fondamentalement de la capacité collective à générer de la productivité par l'innovation, la coopération interinstitutionnelle et l'intégration logistique. **D'autre part, l'avenir du corridor repose sur sa faculté à s'adapter aux transformations profondes de la fonction de production contemporaine, où les données, les algorithmes et les infrastructures numériques** deviennent des intrants aussi stratégiques que le capital et le travail.

Aujourd'hui, **les avancées récentes en science des données** changent notre capacité à observer et modéliser ces phénomènes. L'accès aux microdonnées massives, géolocalisées et désagrégées, permet de cartographier avec précision les trajectoires de spécialisation, les réseaux d'entreprises, les interactions entre capital humain (compétences, savoir-faire, formation) et capital physique (infrastructures, équipements, technologies), mais aussi avec les formes émergentes de capital technologique, issues des flux de données eux-mêmes. Cette nouvelle granularité autorise des inférences empiriques jusque-là hors de portée et donne corps à une compétitivité mesurable, contextualisée et intelligemment orientée. Ils permettent de faire émerger toute la complexité économique. Le capital ne se limite plus à des équipements physiques; il inclut désormais des infrastructures numériques, des systèmes d'interopérabilité, et des jumeaux numériques capables de rendre état, en continu, des opérations. Le travail, quant à lui, s'enrichit d'un capital humain orienté vers l'interaction avec des systèmes intelligents, et capables d'interpréter les résultats qui émergent.

L'innovation agit à plusieurs niveaux, par l'introduction de nouvelles technologies (ex. robotique, logiciels avancés), mais aussi par la transformation des modes d'organisation. En ce sens, la compétitivité ne se réduit pas à la technologie disponible, mais dépend de la manière dont celle-ci est intégrée, structurée et mise en œuvre dans un écosystème productif.

Les infrastructures (physiques et numériques) constituent un prérequis essentiel à cette intégration. Les routes, les ports, les réseaux électriques, l'internet haut débit ou encore les plateformes de données sont autant d'éléments conditionnant la fluidité des échanges, la rapidité des transmissions d'information, et donc l'efficacité globale du système économique. Aschauer (1990) a démontré que l'investissement public dans les infrastructures est positivement corrélé à la productivité agrégée, notamment en réduisant les goulots d'étranglement logistiques et en augmentant l'efficacité des chaînes d'approvisionnement.

La qualité des infrastructures numériques ne fait pas exception, elle devient aujourd'hui décisive pour intégrer les nouvelles technologies et soutenir l'innovation organisationnelle. L'émergence des capacités de traitement massif de données renouvelle profondément les conditions de production, d'innovation et de coordination économique. Or ce tournant est dépendant des investissements en R&D, de la qualité des infrastructures, de la montée en compétences des acteurs économiques, et surtout de la disponibilité de données granulaires mobilisables

Pour la région SLGL, caractérisée à la fois par la présence de secteurs industriels matures et par un dynamisme entrepreneurial dans des pôles technologiques comme Toronto ou Montréal, la transformation numérique et le recours accru à l'intelligence artificielle représentent une opportunité de renouvellement de l'avantage compétitif. Par exemple, dans la logistique portuaire du Saint-Laurent, **la mise en place d'un jumeau numérique** – c'est-à-dire une copie numérique en temps réel intégrant toutes les données de trafic, d'infrastructures, etc. – vise à optimiser l'allocation des ressources et la gestion des flux par simulation, ce qui transformera la manière dont la production de services de transport est réalisée.

De même, **l'interopérabilité numérique entre les différents modes de transport** (route, fer, eau) et acteurs (terminaux, douanes, expéditeurs) permettrait d'éliminer de nombreuses inefficacités actuelles. En d'autres termes, la fonction de production logistique intégrerait un nouveau facteur clé : la donnée en temps réel, couplée à l'IA, comme intrant pour aiguiller en permanence l'utilisation des actifs physiques. Cela se traduirait par un corridor plus efficace, flexible et résilient, capable d'ajuster ses opérations instantanément face aux aléas (pics de demande, tempêtes, incidents), là où auparavant des ressources restaient gaspillées du fait d'une information morcelée et de décalages temporels dans la réaction.

Application du modèle de Porter au corridor SLGL

Appliqué au corridor SLGL, le cadre théorique est particulièrement éclairant. **Ce corridor, qui constitue une infrastructure critique pour le commerce nord-américain, illustre les tensions entre les approches traditionnelles de la compétitivité, centrées sur la disponibilité d'infrastructures physiques (ports, voies navigables, réseaux ferroviaires et routiers), et les approches plus contemporaines, qui insistent sur l'intégration des innovations organisationnelles et numériques.**

Comme mentionné dans la section précédente, le modèle du diamant de Porter s'appuie sur quatre déterminants principaux : la qualité des facteurs de production (infrastructures, compétences, technologies), l'exigence de la demande domestique, l'intensité de la rivalité entre entreprises locales et la présence d'industries connexes et de soutien performantes.

Afin d'analyser les enjeux économiques propres à la région SLGL, nous nous sommes appuyés sur l'identification de ses forces et de ses défis, en adaptant le modèle aux spécificités de son écosystème et en retenant quatre déterminants : les facteurs de production (infrastructures, compétences, technologies), les conditions de la demande de transport de marchandises, la concurrence entre acteurs logistiques et modes de transport, ainsi que la présence d'industries connexes et de soutien.

Facteurs de production (infrastructures, compétences, technologies)

Le corridor SLGL bénéficie d'un capital important en infrastructures : ports majeurs (Montréal, Québec, Hamilton, Duluth, Cleveland), voies navigables aménagées (Voie maritime du Saint-Laurent), réseaux ferroviaires continentaux (CN, CP, CSX, Norfolk Southern,

Un premier rapport sur le rôle stratégique en 2008

Le rapport du **Groupe IBI (2008) sur le Corridor de commerce Saint-Laurent–Grands Lacs**⁵ soulignait déjà, il y a plus de quinze ans, le rôle stratégique de ce système de transport pour l'économie nord-américaine et la nécessité d'adapter ses infrastructures aux nouvelles réalités du commerce mondial. Ce rapport s'inscrivait dans un contexte marqué par une forte croissance des échanges mondiaux, l'essor du transport conteneurisé et la volonté des gouvernements canadiens et américains de renforcer la compétitivité de leurs chaînes logistiques face à la mondialisation. À cette époque, plusieurs corridors internationaux, comme le port de New York/New Jersey, connaissaient des investissements massifs pour s'adapter à l'augmentation de la taille des navires et aux nouvelles dynamiques commerciales. Le rapport cherchait à positionner le corridor SLGL comme une alternative crédible et durable, capable d'attirer davantage de flux en exploitant sa capacité maritime encore disponible.

L'étude mettait en évidence les forces du corridor mais aussi ses faiblesses structurelles : saisonnalité de la Voie maritime, limites de gabarit des écluses, congestion aux passages stratégiques, et manque de re-connaissance du potentiel du transport maritime à courte distance (short sea shipping). Elle appelait à une stratégie concertée entre acteurs publics et privés afin de moderniser les infrastructures, diversifier les flux et intégrer pleinement le corridor aux chaînes logistiques mondiales. Ce rapport illustre des enjeux qui demeurent d'actualité :

- La congestion dans les grands centres urbains et aux postes frontaliers, comme Detroit–Windsor, a été partiellement prise en

compte grâce à la construction du nouveau pont Gordie Howe, dont la mise en service est prévue pour 2025–2026. Toutefois, les embouteillages rou-tiers et ferroviaires restent un défi persistant.

- De même, les contraintes de profondeur et de gabarit des écluses de la Voie maritime n'ont pas évolué : elles limitent toujours la taille des navires et freinent le développement des flux conteneurisés. À cela s'ajoute la saisonnalité de la navigation : la fermeture hivernale de trois mois subsiste, compensée en partie par des solutions logistiques comme le stockage ou le rail, sans régler le problème structurel.
- Les accès routiers et ferroviaires aux grands ports ont connu certaines améliorations, notamment à Montréal avec l'agrandissement des terminaux (Viau, Contrecoeur en chantier). Néanmoins, la pression continue d'augmenter avec la hausse du camionnage.
- Montréal s'est affirmé comme un port conteneur majeur de la façade Est, mais reste en concurrence directe avec Halifax et New York/New Jersey. En revanche, le développement du cabotage régional reste marginal, faute d'incitatifs et d'intégration dans les chaînes logistiques.
- Sur le plan des ressources humaines, la pénurie de main-d'œuvre qualifiée persiste et s'accompagne d'un besoin pressant de renouvellement générationnel.
- La perception publique de l'industrie maritime s'est en partie améliorée : les bénéfices environnementaux sont davantage mis de l'avant, mais le secteur reste peu présent dans les débats publics, comparé au rail ou à la route. Enfin, les partenariats public-privé se sont multipliés pour financer des projets portuaires et logistiques, mais leur coordination demeure inégale entre acteurs canadiens et américains.

Ce rapport témoignait aussi du retard accumulé par le corridor dans la mise en œuvre de certaines solutions d'innovations technologiques, alors que d'autres régions du monde avaient procédé à d'importantes transformations logistiques au cours de la même période.

5 Groupe IBI, 2008, Étude sur le corridor de commerce Saint-Laurent–Grands Lacs, initiée par le Conseil du Corridor Saint-Laurent–Grands Lacs. Rapport disponible à ce lien : <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/0988468.pdf>

bientôt intégré à Union Pacific) et réseaux routiers interconnectés. Ce maillage fait du corridor un hub multimodal unique.

Forces :

- Un réseau de transport multimodal intégré, reliant directement les bassins industriels et agricoles du Midwest aux marchés internationaux
- Une efficacité énergétique et environnementale du transport maritime : jusqu'à 7 fois plus économe en carburant que le camion (Chamber of Marine Commerce, 2023)
- Une capacité potentielle dans la Voie maritime du St Laurent
- Des investissements massifs du côté américain dans les infrastructures physiques, mais moins du côté canadien
- Des expertises de recherche et des formations universitaires de calibre mondial

Défis :

- Contraintes structurelles : gabarit Seawaymax (limite de taille des navires), saisonnalité de la navigation (fermeture hivernale de 2 à 3 mois)
- Congestion ferroviaire et routière, notamment au passage Detroit–Windsor (d'où l'importance du **pont Gordie Howe**, ouverture prévue 2025–2026)
- Des temps d'attente et de la congestion intermodale dans certains ports à conteneurs au Canada
- Vieillesse d'infrastructures nécessitant des investissements importants pour rester compétitives face aux ports de la côte Est (New York/New Jersey, Halifax).
- Un déséquilibre d'investissements dans les infrastructures physiques du côté canadien par rapport aux États-Unis
- Un manque de main-d'œuvre qualifiée dans les technologies de pointe, notamment en robotique, IA, automatisation, et logistique avancée
- Des résistances à l'automatisation en particulier dans les ports à conteneurs

Conditions de la demande de transport de marchandises (transport et commerce)

Le SLGL répond historiquement à une demande en **vracons solides** (minerai de fer, charbon, céréales, calcaire) et en vracons liquides (pétrole, produits chimiques). Or, l'évolution du commerce mondial favorise le transport conteneurisé et les biens à valeur ajoutée, où le corridor reste en retrait.

Forces :

- Une demande industrielle et agricole locale importante, soutenue par les chaînes de valeur de l'acier, de l'automobile et de l'agroalimentaire
- Une pression croissante des acteurs pour des solutions logistiques bas carbone, ce qui favorise le mode maritime
- Le port de Montréal, qui s'est affirmé comme une porte d'entrée majeure pour le conteneur, avec le projet **Contrecœur** (capacité supplémentaire de 1,15 million EVP)

Défis :

- Faible part du corridor dans le transport conteneurisé international par rapport aux ports de la côte Est
- Dépendance persistante aux vracons traditionnels, exposant le corridor aux fluctuations des marchés mondiaux
- Perception limitée de la valeur stratégique du transport maritime régional (short sea shipping), encore marginal malgré son

Concurrence entre acteurs logistiques et modes de transport

potentiel.

La compétitivité du SLGL est aussi façonnée par la concurrence entre acteurs logistiques, tant au niveau interportuaire qu'intermodal.

Forces :

- La concurrence entre ports (Montréal vs Halifax, Cleveland vs Chicago) stimule l'innovation et les investissements

- Une rivalité accrue avec le rail et le camion, incitant les acteurs maritimes à se positionner sur la durabilité et la fiabilité
- Des initiatives innovantes, comme le recours à des **jumeaux numériques**, qui permettent d'optimiser la planification portuaire et la fluidité des chaînes de valeur

Défis

- Concurrence inégale : le rail et le camion restent plus flexibles, notamment pour le transport « just-in-time »
- Coûts élevés liés à la modernisation des infrastructures portuaires et à la transition numérique
- Risques stratégiques liés aux réorganisations des compagnies ferroviaires nord-américaines (ex. projet d'acquisition de Norfolk Southern par Union Pacific et incertitudes sur la réaction de CSX)
- Des fonctionnements en silo des acteurs de la logistique constituant des freins pour le partage de données

Industries connexes et de soutien

La région SLGL bénéficie de la proximité de **clusters industriels puissants** : automobile (Ontario, Michigan, Ohio), acier (Hamilton, Cleveland), aluminium (Québec), agroalimentaire (Midwest). Ces clusters génèrent des flux logistiques soutenus par la présence de centres de recherche et d'innovation en IA et Data Science

Forces :

- Écosystèmes technologiques et de recherche à Montréal, Toronto et Chicago, capables d'appliquer la science des données et l'IA à la logistique.
- Soutien de centres de recherche et d'organismes spécialisés (CIRANO, Great Lakes Commission, universités nord-américaines).
- Développement de partenariats public-privé (PPP) pour moderniser certaines infrastructures portuaires.

Tableau 2 Modèle de Porter appliqué à la région SLGL

Facteur	Application au corridor SLGL	Forces	Défis
Facteurs de production (infrastructures, compétences, capital technologique)	Ports (Montréal, Québec, Hamilton, Duluth, etc.), Voie maritime, réseaux ferroviaires (CN, CP, CSX, NS, Union Pacific), réseaux routiers et aéroportuaires.	Infrastructure maritime existante ; proximité avec grands bassins industriels/agricoles ; efficacité énergétique du mode maritime ; disponibilité d'infrastructures multimodales.	Contraintes de gabarit (Seawaymax) ; saisonnalité de la Voie maritime ; congestion ferroviaire et routière (Detroit-Windsor, accès portuaires) ; vieillissement d'infrastructures.
Conditions de la demande (exigence et sophistication du marché domestique)	Demande intérieure forte en vrac (minerai de fer, charbon, céréales) et en biens manufacturés ; croissance des besoins en commerce transfrontalier Canada-États-Unis.	Demande croissante de chaînes logistiques plus vertes et résilientes ; intérêt accru pour le cabotage et le short sea shipping ; pression des industries pour fiabilité et durabilité.	Faible part du corridor dans le transport de conteneurs comparé aux ports de la côte Est ; dépendance aux vrac traditionnels ; perception publique limitée du potentiel du maritime.
Rivalité entre acteurs logistiques et modes de transport (intensité concurrentielle, incitation à innover)	Compétition entre ports (Montréal vs Halifax vs New York/New Jersey) et entre modes de transport (maritime vs rail/camion).	Rivalité qui stimule l'investissement et l'innovation (ex. projets portuaires à Montréal et Contrecoeur) ; opportunité de différenciation par l'innovation numérique (jumeaux numériques, IA).	Concurrence asymétrique avec le rail et le camion, souvent plus flexibles ; coûts d'adaptation élevés pour moderniser les infrastructures maritimes.
Industries connexes et de soutien (clusters, services spécialisés, R&D, innovation)	Présence d'écosystèmes logistiques, industriels et technologiques (Toronto, Montréal, Chicago) ; universités, centres de recherche	Clusters régionaux dans l'automobile, l'acier, l'aluminium, l'agroalimentaire ; montée en puissance des technologies numériques et IA appliquées à la logistique.	Coordination institutionnelle complexe entre Canada et États-Unis ; manque de mécanismes structurés pour soutenir le short sea shipping ; besoins accrus en main-d'œuvre qualifiée.

Défis :

- Coordination institutionnelle complexe entre le Canada et les États-Unis, entraînant parfois une fragmentation des politiques.
- Des priorités divergentes en matière d'investissements publics dans les capacités physiques (Québec : maritime; Ontario : routier) et numériques suivant les juridictions, au détriment de la coordination et d'une mutualisation des actions à l'échelle de la région.
- Faible développement du short sea shipping faute d'incitatifs réglementaires ou fiscaux.
- Pénurie persistante de main-d'œuvre qualifiée dans les secteurs portuaires et logistiques.

L'application du modèle du diamant de Porter montre que le corridor SLGL dispose d'avantages compétitifs structurels considérables, mais qu'il souffre d'un déficit d'exploitation stratégique. Sa compétitivité ne peut être réduite à une comparaison de coûts ou à des indicateurs macroéconomiques classiques. Elle renvoie à une dynamique beaucoup plus large, où la capacité du système logistique et productif à innover et à coopérer joue un rôle central.

Pour renforcer la compétitivité de la région SLGL et exploiter ses opportunités, ce diagnostic issu du diamant de Porter appliqué à ce territoire doit être mis en perspective avec les déterminants de la fonction de production du modèle de croissance de Solow (1956) : productivité du travail, productivité du capital, productivité totale des facteurs.

C'est à ce titre que sont identifiés et approfondis dans la prochaine partie trois piliers interdépendants qui structurent et servent de levier à cette compétitivité : la productivité, entendue comme l'optimisation des opérations logistiques et l'intégration de l'innovation ; la robustesse infrastructurelle, qui repose sur l'intermodalité et la numérisation des infrastructures physiques et digitales ; et enfin, la soutenabilité environnementale, condition essentielle pour positionner le corridor SLGL comme un modèle de logistique à faibles émissions et comme un acteur crédible de la

Perception des acteurs du transport et du commerce dans la région

Plusieurs entretiens ont été effectués auprès d'acteurs du transport et du commerce dans la région (incluant le rail, le maritime, la logistique et également des chercheurs du milieu académique). La quasi-totalité des intervenants s'entendent sur le fait que la compétitivité passe par la fiabilité et la fluidité plutôt que par la vitesse brute. Tous reconnaissent le besoin d'un effort collectif impliquant l'ensemble des maillons de la chaîne logistique (ports, compagnies ferroviaires, transporteurs routiers, opérateurs d'entrepôts et autorités réglementaires) pour anticiper les variations de flux, d'identifier les points de saturation avant qu'ils ne surviennent et de coordonner les créneaux de manutention et de transport pour maximiser l'utilisation des ressources. Les priorités d'action divergent toutefois selon les secteurs d'opération des intervenants. Certains prioriseraient la coordination des mécanismes de gouvernance, tandis que d'autres miseraient d'abord sur l'optimisation technique (systèmes informatiques, automatisation, inclusion de nouvelles technologies).

Quoi qu'il en soit, les acteurs interrogés soulignent tous une rupture entre les compétences actuelles de la main-d'œuvre et l'évolution technologique de leur secteur.

Enjeux de main-d'œuvre

Le renouvellement de la main-d'œuvre est identifié comme un facteur critique pour maintenir la performance du corridor à long terme. Plusieurs acteurs soulignent que les métiers portuaires, ferroviaires et logistiques souffrent d'une image parfois désuète ou peu attrayante, ce qui freine le recrutement de jeunes talents. Le défi est amplifié par le vieillissement des effectifs et la concurrence d'autres secteurs offrant des conditions plus

flexibles ou plus technologiques. Si certains estiment que les employeurs doivent assumer la responsabilité principale en investissant dans des programmes de formation interne, en améliorant les conditions de travail et en rendant les parcours professionnels plus attractifs; d'autres en revanche considèrent que les programmes gouvernementaux de formation doivent jouer un rôle moteur en adaptant les cursus, en subventionnant les formations spécialisées et en intégrant davantage de compétences numériques et environnementales dans les programmes.

Par ailleurs, s'il est vrai que les conflits de travail représente une épée de Damoclès constamment présente au-dessus des activités du Port de Montréal, cette réalité n'est pas partagée par les ports ontariens qui n'éprouvent aucun conflit particulier.

Enjeux de gouvernance

Plusieurs intervenants relèvent que les lettres patentes encadrant les missions et responsabilités des autorités portuaires peuvent limiter leur marge de manœuvre pour agir en matière de recrutement, de formation ou de développement stratégique de la main-d'œuvre. Ces cadres juridiques, souvent hérités d'une logique de gestion d'infrastructures, ne tiennent pas toujours compte des impératifs contemporains liés à l'intégration technologique ou à la transition énergétique.

Les silos institutionnels et l'absence d'un cadre intergouvernemental clair favorisant la coopération au sein du corridor complique la mise en œuvre d'une planification intégrée. L'absence de mécanismes favorisant le partage d'information en temps réel limite aussi l'efficacité.

Les intervenants soulignent une **complexité administrative excessive** : formalités redondantes, délais inutiles et procédures hétérogènes entre juridictions canadiennes et américaines. Cette fragmentation ralentit la prise de décision et complique la réponse aux

imprévus.

Les **lettres patentes** des autorités portuaires limitent parfois leur capacité à initier des solutions transfrontalières. Les pouvoirs de coordination intermodale et de gestion conjointe sont insuffisamment formalisés dans la réglementation. Les lettres patentes des autorités portuaires ne leur confèrent pas non plus toujours un mandat clair pour intervenir sur la formation et l'emploi.

Goulots d'étranglement douaniers

En parallèle, la fluidité de la main-d'œuvre et des flux logistiques est parfois compromise par des délais au niveau de l'Agence des services frontaliers du Canada (ASFC). Les procédures d'inspection et de dédouanement peuvent créer des goulots d'étranglement qui nuisent à la prévisibilité des opérations. Certains acteurs suggèrent de renforcer la coordination entre l'ASFC et les opérateurs logistiques, voire d'intégrer des solutions numériques de pré-déclaration et de traitement anticipé des documents pour réduire ces délais. Tous souhaiteraient que l'ASFC se voit comme une des agences actrices de la prospérité et de la compétitivité du Canada et espère que l'agence mettra plus de moyen pour rendre les opérations de douanes plus fluides, rapides, automatisées ou numérisées.

Innovation et collaboration, deux leviers pour améliorer l'attractivité et la compétitivité du corridor

Les défis identifiés dans la section précédente peuvent être surmontés grâce à l'activation de deux leviers complémentaires : l'innovation et la collaboration. Ces leviers, lorsqu'ils sont mobilisés de manière coordonnée et soutenue, offrent des perspectives de transformation significatives pour les entreprises et pour l'ensemble du secteur logistique dans la région SLGL.

Le premier levier est **l'innovation**, moteur central pour la modernisation et l'efficacité. Ce levier se décline à travers plusieurs dimensions :

- la collecte, le partage et la valorisation des données, essentielles pour la prise de décision éclairée. Ces données nourrissent les plateformes de jumeaux numériques pour une planification logistique plus optimale.
- l'automatisation, qui permet l'optimisation

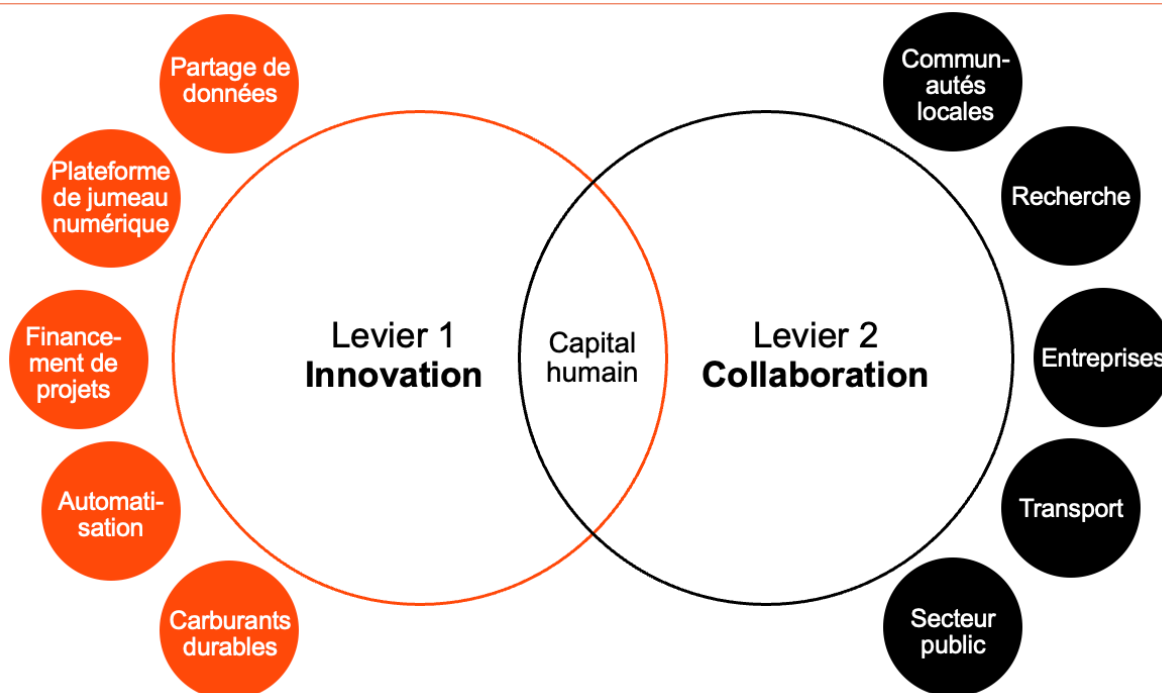
processus opérationnels dans les ports et les plateformes multimodales

- le financement de projets innovants, indispensable pour soutenir la mise en œuvre de solutions technologiques;
- le recours à des carburants durables, répondant à la double exigence de performance et de responsabilité environnementale.

Le second levier identifié est la **collaboration**. Elle suppose que travaillent ensemble les municipalités, le milieu académique, les entreprises, les acteurs du transport (incluant le support au transport, la logistique etc.) et le secteur public. L'innovation ne porte pleinement ses fruits que lorsqu'elle est soutenue par la collaboration. Les projets d'électrification portuaire en sont une illustration, leur succès reposant sur la mobilisation conjointe des villes, des chercheurs et des entreprises.

Au cœur se trouve le **capital humain**, fondé sur les compétences, les expertises, et les talents. Investir dans les compétences, la formation et l'attractivité des talents apparaît donc comme une condition essentielle pour exploiter pleinement ces deux leviers.

Visuel 18 Deux leviers pour renforcer l'attractivité et la compétitivité



III. Trois piliers prioritaires en faveur de la compétitivité de la région SLGL

Pilier 1 | Productivité

Profil de la productivité dans la région SLGL

Malgré son succès historique, l'économie de la région SLGL est en pleine transition, avec un secteur des services représentant une part croissante de l'emploi et de l'activité économique régionaux, tandis que l'industrie manufacturière occupe une place de moins en moins importante dans l'économie (Campbell et al., 2015). L'activité économique de la région est fortement intégrée et repose sur des réseaux complexes de chaînes d'approvisionnement qui sillonnent la région, souvent n'eut égard aux frontières.

Économiquement, la région SLGL doit composer avec rétrécissement du secteur manufacturier observé depuis le début des années 2000 dans les pays avancés (Klier et al., 2005). Les anciens bastions industriels du Midwest américain et de l'Ontario – parfois qualifiés de Rust Belt – ont souffert de la concurrence manufacturière internationale (essor de la Chine notamment) et de la transformation sectorielle vers les services. Si certaines métropoles régionales comme Toronto, Chicago ou Montréal ont su diversifier leur économie (finance, technologies, services aux entreprises), d'autres zones font face à un déclin démographique et à une pénurie de main-d'œuvre qualifiée dans les industries de pointe. Comme par le passé, les ressources naturelles

de la région, en particulier les Grands Lacs eux-mêmes, continuent d'être d'importants moteurs économiques. Cependant, certains secteurs tels que l'agriculture, l'industrie lourde et le transport maritime transocéanique ont eu un impact négatif sur la santé des Grands Lacs (Campbell et al., 2015). Le défi est donc de réussir la transition vers une économie de la connaissance, en stimulant l'investissement, l'entrepreneuriat technologique et la montée en compétences de la main-d'œuvre locale.

Profil de productivité du côté américain

Les États-Unis ont toutefois récemment observé une hausse de la productivité du travail dans le secteur privé non agricole et une augmentation du nombre d'heures travaillées, notamment dans l'Indiana qui enregistre la plus forte croissance avec 6,3% d'augmentation de la productivité en 2024, suivi du New Hampshire (+4,3%) et du Maine (+4,1%). La **productivité du travail**, dans plusieurs États à vocation portuaire affiche depuis la pandémie des gains supérieurs ou proches de la moyenne nationale, signe d'un redressement porté par l'investissement en logistique industrielle. Entre 2019 et 2024, l'Illinois (+3,0 %), le Michigan (+3,6 %), le Minnesota (+3,5 %), le Wisconsin (+2,5 %) et surtout l'Indiana (+6,3 %) devancent ou frôlent l'ensemble des États-Unis (+2,7 %), tandis que l'Ohio progresse plus modérément (+2,0 %) (Bureau of Labor Statistics, 2025). Ces écarts coïncident avec des profils sectoriels et des chaînes d'approvisionnement ancrés dans le réseau SLGL. L'Indiana enregistre également une croissance de la production à +4,0% la même année et bénéficie d'un secteur manufacturier fort avec près de 534 000

emplois et un secteur de la logistique tout aussi significatif avec près de 168 000 emplois. L'état se distingue également par des investissements conséquents dans la logistique et la manufacture avancée (AML) et l'industrie 4.0 soutenus par Indiana Economic Development Corporation et le Applied Research Institute (Conexus Indiana, 2023).

Sur la **rive ouest du lac Michigan**, l'Indiana s'appuie sur un complexe sidérurgique dense et des ports comme Buffington–Indiana Harbor et Burns Harbor, spécialisés dans le vrac solide, notamment les minerais métalliques essentiels aux chaînes d'approvisionnement automobiles du Midwest. Ce positionnement industriel, adossé à une infrastructure portuaire robuste, est cohérent avec les récents gains de productivité observés dans l'État. Plus **au nord, le port de Duluth–Superior (MN/WI)** constitue le principal point de sortie du minerai de fer américain, consolidant la chaîne sidérurgique régionale, en particulier pour les usines d'acier intégrées et les activités manufacturières. Sur la rive **sud du lac Érié**, les ports de Cleveland (OH) et Toledo traitent du vrac industriels, de l'acier et des conteneurs spécialisés, notamment à destination de l'Europe, tandis que les ports de Detroit et Monroe (MI) opèrent sur des flux de produits pétroliers, chimiques et d'intrants pour l'industrie automobile. Dans le **Michigan**, la transformation du secteur automobile (électrification, chimie des batteries) entraîne des réorganisations logistiques et des investissements industriels qui soutiennent la productivité. Au **Minnesota et au Wisconsin**, la chaîne fer–acier repose sur des compétences techniques pointues et des capacités portuaires adaptées. En Illinois et en Ohio, l'optimisation intermodale, dopée par les hubs ferroviaires et l'accès fluvial, stimule les besoins en compétences liées à la gestion de données et à la planification des réseaux (Bureau of Labor Statistics, 2025).

Le gouvernement fédéral américain a en effet massivement investi dans la modernisation portuaire. En 2024-2025, près de **580 millions de dollars** ont été alloués à 31 projets d'amélioration portuaire via le Port Infrastructure Development Program (PIDP), visant à

renforcer la capacité, la fiabilité logistique et les performances environnementales des ports des Grands Lacs. Ces investissements favorisent une distribution plus efficace des marchandises, réduisent les coûts et les émissions, et renforcent la résilience des chaînes d'approvisionnement (U.S. Department of Transportation, 2024). Aux niveaux local et régional, l'État de l'Indiana par exemple, mise sur une stratégie de long terme avec le plan Conexus 2031: Empowering Bold Industry Transformation, qui vise à renforcer les industries avancées (manufacture, logistique) par des connexions éducatives, des centres d'innovation et des formations adaptées au numérique et à l'Industry 4.0 (Conexus Indiana, 2025a).

À Cleveland, des projets d'électrification d'équipements, de modernisation des terminaux et d'amélioration des accès ferroviaires ont été présentés dans des dossiers officiels à MARAD (PIDP), illustrant la montée en gamme physique et numérique des ports des Grands Lacs (équipements électriques, IT de quai, planification intégrée) (U.S. Department of Transportation, 2025a). À l'échelle régionale, les subventions CRISI de la Federal Railroad Administration visent explicitement à moderniser des connexions ferroviaires portuaires, réduire des goulots d'étranglement et améliorer la sécurité autant que la capacité, afin d'améliorer la fluidité logistique et de créer un levier sur la productivité (U.S. Department of Transportation, 2025b).

Les enjeux de compétences deviennent déterminants pour transformer ces infrastructures en performance productive. Le rapport Future Ready de Conexus Indiana souligne que bien que l'AML (Advanced Manufacturing & Logistics) représente **25 % de l'emploi et 37 % du PIB de l'État**, la principale menace à venir est un **manque de main-d'œuvre qualifiée**, notamment en robotique, IA, automatisation, et logistique avancée. De toute évidence, sans une main-d'œuvre capable de maîtriser les nouvelles technologies, les équipements restent sous-exploités. Inversement, une main-d'œuvre formée multiplie l'impact du capital physique (Conexus Indiana, 2025b).

En termes de **capital numérique**, la convergence vers des outils de pilotage de flux (données en temps réel, systèmes de planification prédictive, PCS, traçabilité) explique une partie des gains récents dans des États très logistiques comme l'Illinois et, côté Michigan/Ohio, la synchronisation amont-aval entre sites manufacturiers et interfaces portuaires. Ces effets sont visibles dans la valeur ajoutée par industrie publiée par le BEA : les parts élevées du **manufacturier** (transport équipement au MI, chimie/métaux en IN/OH/WI) et la **croissance des services de transport-entrepôt** dans les États hubs confirment que les gains de productivité se concentrent là où le couple infrastructures-données est le plus exploité (U.S. Bureau of Economic Analysis, 2025).

Ces progrès de productivité adviennent grâce à l'addition (1) des **actifs physiques** modernisés (terminaux, accès rail, engins électrifiés), (2) un **socle numérique** opérationnel (données intégrées, planification prédictive), et (3) un **capital humain** aligné sur ces transformations. Les données fédérales récentes sur la productivité, la valeur ajoutée par industrie et la performance portuaire convergent : la compétitivité régionale du SLGL se joue bien à l'interface ports-rail-industrie, et les États qui investissent simultanément dans ces trois capitaux transforment plus vite ces dépenses en productivité mesurable.

Dans toute la région des Grands Lacs, la productivité progresse, portée par des secteurs industriels avancés ou à forte valeur ajoutée tels que le pharmaceutique, le manufacturier et la logistique intelligents, mais c'est dans des états à infrastructure portuaire densifiée (Indiana, Illinois, Michigan) que l'on observe les progressions les plus marquées (Ivy Tech Community College & TEconomy Partners, 2025; U.S. Bureau of Labor Statistics, 2025). Ces dynamiques révèlent une recomposition sectorielle qui se nourrit d'une part, dans le **capital physique** (modernisation des ports, équipements portuaires spécialisés, intermodalité renforcée); et d'autre part, dans le **capital humain**, via la formation, le développement des compétences et une

stratégie régionale soutenue. Cette double dynamique est cruciale pour amplifier la **productivité totale des facteurs (PTF)**. En s'appuyant sur des technologies avancées et une coordination sectorielle intelligente, ces régions parviennent à conjuguer efficacité, résilience et croissance durable. Cette approche systémique constitue la voie la plus solide pour pérenniser leur compétitivité, tant sur le plan logistique que manufacturier ou environnemental.

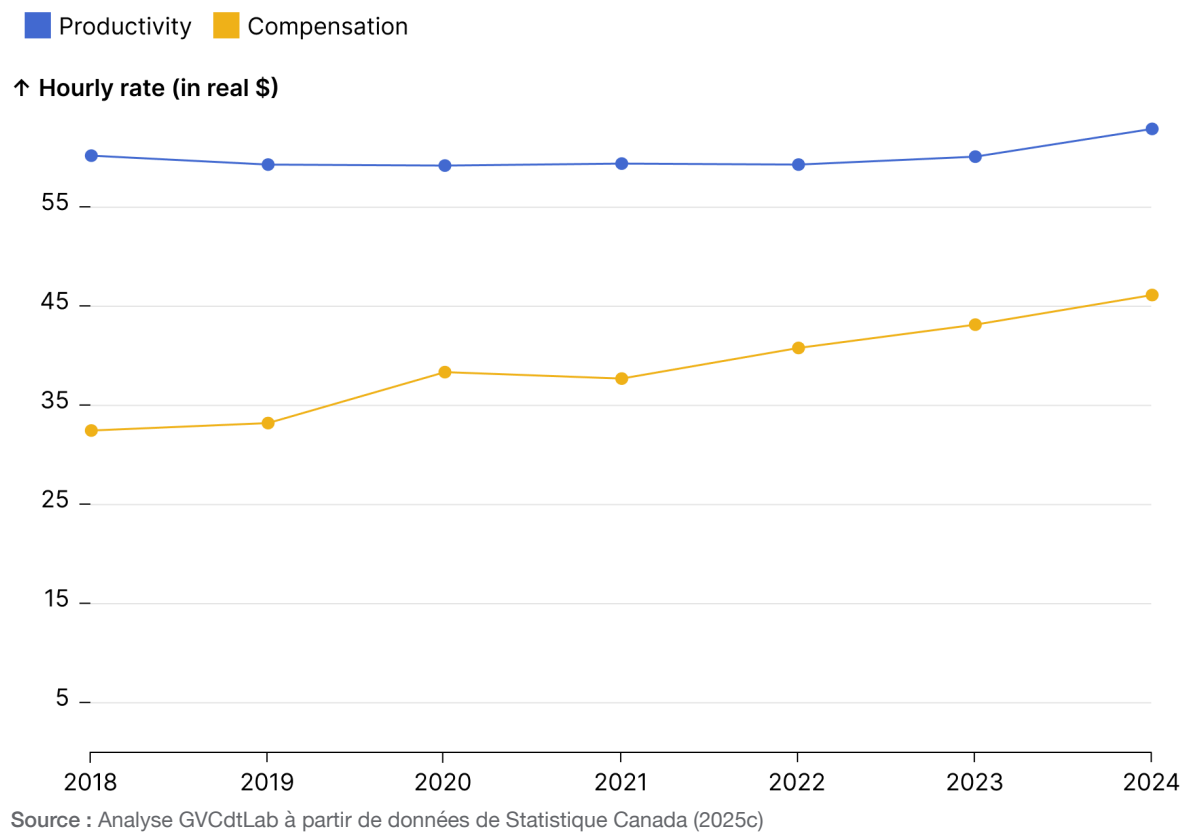
Profil de productivité au Québec et en Ontario

Les activités de soutien au transport désignent l'ensemble des services fournis par des entreprises afin de faciliter le fonctionnement des différents modes de transport, comprenant notamment les opérations portuaires et la manutention des cargaisons, les services réalisés dans les gares ferroviaires, ainsi que le chargement, le déchargement et la gestion des terminaux routiers.

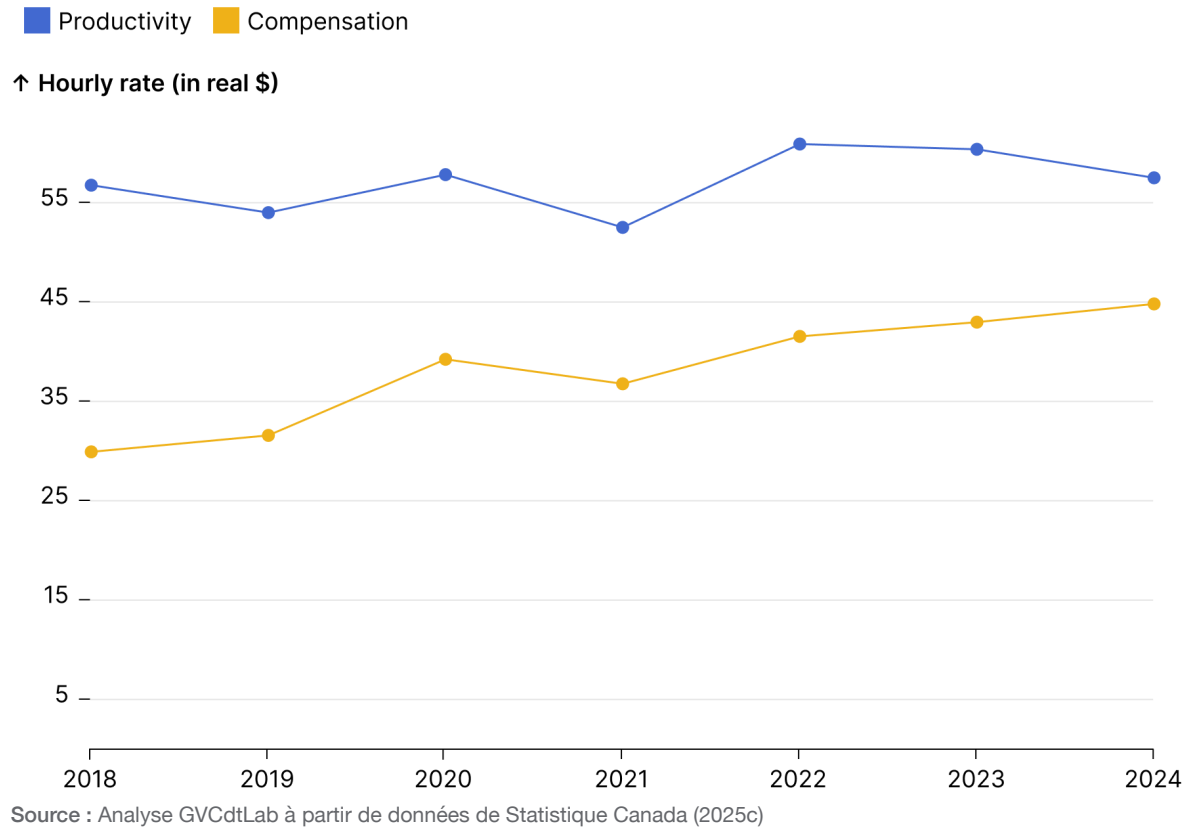
Du côté canadien de la région, sur la période 2019-2024, comme l'indiquent les Visuel 19 et Visuel 20, le Québec et l'Ontario présentent un diagnostic convergent : la rémunération horaire a progressé plus vite que la productivité du travail (PIB réel par heure travaillée, dollars 2017 en chaînes) dans la plupart des activités de transport analysées. L'écart est plus marqué en Ontario, où plusieurs segments associent hausse salariale soutenue et productivité atone ou en repli, tandis qu'au Québec se dessine en 2024 un léger raffermissement, surtout dans le maritime et le routier, sans rattrapage complet face aux salaires. Cette configuration met sous tension les coûts salariaux unitaires et souligne le besoin de gains d'efficacité via l'investissement organisationnel et technologique.

De **2019 à 2024**, la rémunération progresse généralement **plus vite** que la productivité au Québec, en Ontario et au Canada, ce qui suggère une pression haussière sur le coût salarial unitaire, surtout dans le **routier** et les **services de soutien**. Dans le transport ferroviaire, routier, maritime et les services de soutien, la **productivité du travail** (PIB réel par heure, dollars en chaîne de 2017) et la **rémunération horaire totale** (salaires + avantages par heure)

Visuel 19 Activités de soutien au transport au Québec : productivité et rémunération



Visuel 20 Activités de soutien au transport en Ontario : productivité et rémunération



n'évoluent pas toujours en parallèle.

Au Québec, le **ferroviaire** gagne en efficacité (**+13 % de productivité**) tandis que la rémunération augmente encore plus (**+33 %**), ce qui élargit l'écart. Le **maritime** progresse modestement (**+6,7 % de productivité**) avec une rémunération en hausse marquée (**+22,4 %**). Le **routier** affiche des gains notables (**+16,5 % de productivité**) mais reste devancé par la rémunération (**+41,5 %**). Dans les **services de soutien**, la productivité n'avance que légèrement (**+6,1 %**) alors que la rémunération grimpe fortement (**+38,9 %**). Autrement dit, au Québec, les deux courbes montent souvent ensemble, mais la **rémunération dépasse nettement** la productivité dans tous les segments (Statistique Canada, 2025b).

Dans le transport routier, le Québec enregistre une hausse de productivité de +16,5 % (la productivité passe de 29,7 à 34,6 \$2017/h) entre 2019 et 2024, tandis que la rémunération progresse de +41,5 % (elle passe de 24,9 \$/h à 35,2 \$/h). La dynamique récente est positive : entre 2023 et 2024, la productivité augmente de +3,6 %. En Ontario, la productivité croît de +14,3 % (de 32,9 à 37,6 \$2017/h) sur 2019-2024, alors que la rémunération avance de +25,6 % (de 22,7 \$/h à 28,6 \$/h). Le très court terme est également porteur (+2,7 % en 2023-2024), mais le différentiel cumulé demeure favorable aux salaires (Statistique Canada, 2025b).

Dans le transport maritime, le Québec affiche une progression de productivité de +6,7 % (de 94,4 à 100,7 \$2017/h) sur l'ensemble de la période, alors que la rémunération augmente de +22,4 % (elle passe de 48,8 \$/h à 59,8 \$/h). Le signal conjoncturel est favorable en 2024, la productivité accélérant de +7,2 % entre 2023 et 2024. En Ontario, la productivité maritime progresse de +10,4 % (de 63,6 à 70,2 \$2017/h) et la rémunération de +27,0 % (de 51,6 \$/h à 65,6 \$/h). Là aussi, la dernière année est mieux orientée (+3,7 % en 2023-2024), sans combler l'avance des salaires sur le moyen terme (Statistique Canada, 2025b).

Le transport ferroviaire oppose des trajectoires provinciales. Au Québec, la productivité

augmente de +13,0 % (de 84,0 à 94,9 \$2017/h) entre 2019 et 2024, tandis que la rémunération progresse de +33,0 % (elle passe de 51,8 \$/h à 68,8 \$/h). On observe néanmoins un reflux entre 2023 et 2024 (-3,0 %) après ces gains cumulés. À l'inverse, en Ontario, la productivité ferroviaire diminue de -22,6 % (elle passe de 136,0 à 105,2 \$2017/h), alors que la rémunération augmente de +10,6 % (de 52,4 \$/h à 57,9 \$/h), configuration particulièrement défavorable pour les coûts unitaires (Statistique Canada, 2025b).

Enfin, dans les services de soutien au transport, le Québec enregistre une productivité en hausse mesurée de +6,1 % (de 59,3 à 62,9 \$2017/h) face à une rémunération qui progresse de +38,9 % (de 33,2 \$/h à 46,1 \$/h). Le profil ontarien est similaire : la productivité augmente de +6,1 % (de 54,3 à 57,6 \$2017/h) tandis que la rémunération progresse de +37,5 % (de 33,2 \$/h à 45,6 \$/h), avec un repli conjoncturel de la productivité en 2023-2024 (-4,5 %). Dans les deux provinces, ce segment concentre des besoins d'amélioration organisationnelle (coordination, sécurité, conformité, numérisation) qui n'ont pas encore produit des gains d'efficience à la hauteur de la hausse des salaires (Statistique Canada, 2025b).

En résumé, le décrochage productivité-rémunération s'observe dans les deux provinces — davantage en Ontario (notamment au rail et dans les soutiens). Les signaux 2024 sont toutefois mieux orientés au maritime et au routier, surtout au Québec (Statistique Canada, 2025b).

Au Québec, la modernisation du **Port de Montréal** constitue une pierre angulaire de la performance productive régionale. En 2024, ce port a manutentionné **35,41 millions de tonnes** de marchandises, un niveau quasiment stable (+0,2 %) par rapport à l'année précédente en investissant dans ses infrastructures : en 2024, **74,8 millions de dollars** ont été consacrés à des projets stratégiques (Viau, chemins de fer internes, expansion de Contrecoeur) (National Research Council Canada, 2025; Port de Montréal, 2025b). Transport Canada soutient ce dynamisme via le **National Trade Corridors Fund**, qui injecte plus de **2,1 milliards CAD**

dans des infrastructures critiques jusqu'en 2028, améliorant l'intermodalité et la fluidité des chaînes logistiques (Transport Canada, 2022).

Le gouvernement fédéral tente de renforcer la compétitivité du corridor Québec–Ontario à travers un soutien soutenu à **l'innovation logistique**, la **numérisation des chaînes de transport** et la **transition écologique**. Le **National Supply Chain Office**, créé en décembre 2023, coordonne ces efforts, notamment via un **programme de numérisation des chaînes** (Trade and Transportation Information System) pour améliorer la visibilité, réduire les goulets d'étranglement et soutenir la prise de décisions en temps réel (Transport Canada, 2024).

Innovation au service de l'efficacité logistique

Les opérations portuaires sont au cœur de l'efficacité et de la compétitivité des chaînes d'approvisionnement maritimes mondiales. Une programmation sous-optimale des postes d'amarrage et une affectation inefficace des grues de quai conduisent à une augmentation des temps de séjour des navires et une congestion des terminaux. Cet encombrement des terminaux se répercute sur les systèmes de transport connexes de l'arrière-pays, retardant la livraison des marchandises et augmentant les coûts logistiques (Ressources naturelles Canada, 2025).

Dans un contexte de concurrence mondiale, il est raisonnable d'envisager que les ports nord-américains doivent poursuivre des investissements soutenus dans des systèmes de planification intégrés, des modèles de prédiction basés sur des données et des outils de simulation afin d'optimiser leurs opérations et ainsi maintenir leur compétitivité. Dans cette section, nous passons en revue plusieurs aspects opérationnels du transit de marchandises dans les terminaux portuaires, de l'arrivée des bateaux à leur chargement vers les autres modes de transport à travers les modèles d'optimisation développés par la recherche

dans l'optique d'en améliorer l'efficacité.

Modèles d'optimisation des opérations dans les terminaux à conteneurs

Dans les terminaux à conteneurs, la coordination des grues, des postes d'amarrage, des zones de stockage et des véhicules constitue un levier central pour réduire le temps de séjour des navires et fluidifier les flux. La littérature académique et de l'industrie maritime présente une série d'approches de modélisation visant à améliorer les performances opérationnelles dans les différentes dimensions des activités portuaires.

- **Allocation des postes d'amarrage et allocation des grues de quai** : L'attribution des postes d'amarrage constitue un levier majeur pour améliorer l'efficacité portuaire (Said et al., 2014). L'apprentissage automatique appliqué aux données AIS permet de prédire avec une précision supérieure à 98 % les durées de séjour à quai (Zhai et al., 2022), complété par d'autres travaux récents (Zhai et al., 2022); (Rao et al., 2024). Au-delà de l'allocation des quais et des grues, des approches intégrées associent également gestion des zones de stockage et coordination des véhicules. (Kizilay et al., 2017) proposent ainsi un modèle de gestion global basé sur la programmation mathématique, visant à réduire les temps d'escale et à accroître le débit des terminaux. (Yu et al., 2024) prolongent ces travaux en intégrant des contraintes réelles telles que les arrivées variables, la marée ou l'interférence des grues, afin d'optimiser simultanément l'utilisation des quais et le temps total de passage des navires.
- **Gestion des véhicules et entreposage des conteneurs** : La gestion des conteneurs dans les parcs de stockage des terminaux à conteneurs, où ceux-ci sont temporairement entreposés avant leur chargement sur navire ou leur enlèvement par camion, reposent notamment sur trois décisions clés: l'allocation des emplacements de stockage, le déploiement des grues de parc, et la gestion du trafic interne pour éviter les

congestions. Des travaux (Jin et al., 2016) montrent que le traitement conjoint de ces aspects réduit coûts et surcharges par rapport à des décisions séquentielles. Avec l'automatisation, la coordination simultanée entre véhicules autonomes (AGV, ALV) et zones de stockage devient déterminante ; des modèles (Hu et al., 2019) permettent ainsi d'optimiser leur utilisation et de limiter les conflits opérationnels. Plus récemment, (X. Feng et al., 2022) ont proposé un modèle stochastique d'allocation des espaces intégrant incertitudes et congestion, qui réduit significativement les temps d'attente et améliore la planification logistique, confirmant l'importance d'approches intégrées et prédictives pour accroître l'efficacité des terminaux.

- **Optimisation intermodale** : la planification coordonnée entre transport maritime, routier et ferroviaire limite les goulots d'étranglement. Des modèles dynamiques, comme celui de (Cahyono et al., 2022), intègrent en temps réel l'activité des grues, camions et zones de stockage afin de réduire les inefficacités et améliorer la réactivité face aux imprévus. Testé au port de Jakarta, ce modèle a montré des gains de 3 à 6 % par rapport aux pratiques actuelles. De leur côté, (Abu-Aisha et al., 2024a) démontrent, à partir du cas de Trois-Rivières, que des ajustements dans la part modale ou la fréquence ferroviaire améliorent nettement la fluidité et réduisent les blocages. Ces travaux confirment l'intérêt de combiner optimisation et simulation pour anticiper les goulots d'étranglement et renforcer la résilience des chaînes logistiques.

Dans l'ensemble, la flexibilité de ces outils leur permet de prendre en compte diverses contraintes opérationnelles, notamment la disponibilité de la main-d'œuvre, les limites des équipements et l'incertitude des arrivées. La simulation reste un complément puissant à l'optimisation, permettant aux planificateurs de terminaux de tester différentes politiques et configurations dans des environnements virtuels. Ces simulations peuvent non seulement valider les résultats de l'optimisation, mais aussi donner un aperçu des goulots d'étranglement

du système et des performances dans des scénarios de stress.

Automatisation des grues et véhicules portuaires

En 1967, alors que la conteneurisation n'était encore qu'à ses balbutiements, le cabinet de conseil en gestion McKinsey prédisait que la plupart des ports à conteneurs seraient automatisés pour les cinquante prochaines années (Mc Kinsey and Company, 1967). Quarante ans plus tard, le même cabinet prévoit une automatisation encore plus poussée, avec des conteneurs et des véhicules totalement autonomes dans les terminaux (automated guided véhicules, AGV), transportant les conteneurs vers leurs points de distribution intérieurs. Dans cette prédiction, les chargements se font juste à temps, sur des trajectoires optimales et sans délai d'attente (Saxon & Stone, 2017). Si ces projections font miroiter une vision idéale de la gestion des chaînes d'approvisionnement de cargos, elle est encore loin de correspondre à une réalité effective. Pour le moment, un peu plus de 4% des quais dans le monde se sont dotés d'une telle technologie et la plupart des systèmes automatisés ne se sont déployés que dans les parcs à conteneurs. Très peu ont automatisé le transport entre le quai et le parc et pour le moment, aucun terminal ne dispose de grues de quai entièrement automatisées (Majoral et al., 2024; OECD - ITF, 2021).

Bien que l'automatisation soit perçue comme un levier potentiel d'efficacité, de réduction des coûts et de réponse aux enjeux de main-d'œuvre, les résultats restent controversés. Selon l'International Transport Forum (2021) et Majoral et al. (2024), les ports automatisés ne sont pas systématiquement plus productifs que les terminaux conventionnels, et peuvent même se révéler moins performants en raison d'un manque d'agilité, malgré une diminution des coûts pour les exploitants. Et malgré leur essor (62 terminaux automatisés en 2023 contre 53 en 2021), les terminaux à conteneurs automatisés ne surpassent pas encore systématiquement les terminaux conventionnels. Les grues automatisées atteignent en moyenne 25 à 33 mouvements par heure (GMPH), contre environ

35 dans les ports traditionnels, comme l'illustre le cas du terminal Maasvlakte II à Rotterdam, dont la productivité reste inférieure malgré son automatisation complète. Cela montre que l'automatisation apporte des gains en régularité et en sécurité, mais demeure limitée par des contraintes technologiques (Majoral et al., 2024). Il existe néanmoins des exemples probants, comme celui du terminal entièrement automatisé de Qingdao, qui a atteint 43 mouvements par grue et par heure en janvier 2020 (OECD - ITF, 2021) et une moyenne de 36 mouvements bruts par heure (GMPH) avec ses grues de quai en 2022, soit un résultat supérieur aux standards habituels (Majoral et al., 2024). Ce cas illustre le potentiel des avancées en matière de robotique, de 5G, d'internet des objets (IoT), d'intelligence artificielle (IA) et de mégadonnées pour surmonter les limites actuelles de l'automatisation portuaire (Majoral et al., 2024). Ce succès doit néanmoins être replacé dans le cadre d'un vaste programme national chinois (Belt and Road Initiative, Greater Bay Area), qui associe modernisation portuaire, développement industriel et territorial (Li et al., 2022; Ogawa & Tsuchiya, 2024). Il illustre ainsi que l'automatisation n'est pleinement efficace que lorsqu'elle s'inscrit dans une stratégie globale et intégrée.

Ceci étant dit, bien que les effets positifs de l'automatisation des terminaux sur la productivité ne fasse pas encore consensus (Kuehne Nagel & Lloyd's, 2025), l'intégration de technologies intelligentes, permettant une géolocalisation en temps réels, un traçage continu, une meilleure visualisation des données recueillies et des opérations semblent non seulement incontournables, mais également nécessaires pour faire face à l'avenir (Bakhsh et al., 2024). **Il est donc nécessaire de différencier les données de la robotique.** Les technologies automatisées liées aux données sont un impératif pour améliorer la visibilité, affiner les projections et prendre des décisions éclairées à chaque instant. Les technologies automatisées liées à la robotique elles, en plus d'être coûteuses, manquent pour le moment d'agilité et d'adaptabilité et pose des problèmes de recette fiscale pour les collectivités territoriales.

Jumeaux numériques des activités portuaires

Bien que la pandémie de covid-19 ait largement ébranlé le commerce international, mettant de l'avant la vulnérabilité des chaînes d'approvisionnement mondiale et, dans certains cas, la précarité des ententes de bon voisinage (Connolly, 2020; Scherer & Martell, 2020), elle a également considérablement accéléré l'adoption de technologies axées sur les données dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement, ce qui a permis d'améliorer la résilience et les performances. Plusieurs études scientifiques ont documenté cette transformation, soulignant le rôle central de la numérisation pour relever les défis posés par la pandémie (Moosavi et al., 2022; Raji et al., 2021; Zhao et al., 2023).

Les jumeaux numériques offrent une représentation virtuelle des systèmes physiques, permettant une simulation en temps réel des opérations logistiques. Le jumeau numérique se compose de différents types d'éléments qui constituent un cadre pour représenter visuellement l'ensemble du cycle de vie des entités. Cette technologie est d'ailleurs amenée à évoluer pour devenir une plateforme intelligente (Grieves, 2023). Le jumeau numérique ne se limite pas à une simulation ponctuelle: il s'appuie sur des flux de données bidirectionnels et continus entre les systèmes physiques et virtuels, permettant une optimisation dynamique, des prévisions fondées sur les données, et une prise de décision en temps réel (Grieves, 2023; van der Valk et al., 2022).

Face à la croissance du trafic et aux exigences environnementales, les ports considèrent les technologies innovantes, comme les réseaux de capteurs et les jumeaux numériques, comme des leviers pour accroître l'efficacité des opérations et renforcer leur compétitivité (Klar et al., 2023). Comme le précisent les auteurs, ces outils permettent de collecter des données en temps réel sur le trafic et les activités portuaires, d'analyser différents scénarios et d'automatiser certaines décisions opérationnelles, réduisant délais et erreurs. Cependant, leur adoption reste limitée, surtout dans les ports de taille moyenne, en raison de

coûts initiaux élevés, de capacités analytiques restreintes, de la complexité d'intégrer toutes les opérations dans un système unique, ainsi que de préoccupations liées à la sécurité et à la confidentialité des données. Par ailleurs, les cas d'usage portuaires ne représentent qu'une fraction du potentiel offert par cette technologie et il est essentiel de dépasser une vision localisée du jumeau numérique pour adopter une modélisation systémique de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement (van der Valk et al., 2022).

Cela étant, quelques exemples dans le monde sont dignes d'être mentionnés, comme le port de Busan (ou Pusan) en Corée du Sud qui a développé un jumeau numérique et l'IA pour améliorer la planification des horaires des navires et réduire les émissions de carbone grâce à une collaboration efficace entre les parties prenantes maritimes (Eom et al., 2023). Le port de Singapour, l'un des plus actifs au monde, est un autre exemple d'utilisation d'un jumeau numérique combiné à de l'IA pour simuler en temps réel l'ensemble de ses opérations portuaires.

Valoriser et accompagner la main-d'œuvre pour une compétitivité sur la durée

Capital humain et innovation : le moteur intermédiaire.

Une fois les bases infrastructurelles en place, le capital humain et la capacité d'innovation deviennent les moteurs essentiels pour élever la productivité. Il s'agit là de former, attirer et retenir une main-d'œuvre qualifiée, adaptable, ainsi que de favoriser un climat où l'innovation prospère (via les universités, les centres de recherche, les incitations fiscales à la R&D, etc.). Dans la hiérarchie des leviers, le capital humain se situe après les infrastructures, car son efficacité dépend en partie de l'accès aux outils et réseaux fournis par ces infrastructures – mais il demeure plus déterminant à long terme.

Pour la région SLGL, cela signifie **investir dans l'éducation supérieure de qualité, notamment dans les domaines en demande** (ingénierie, informatique, gestion de la chaîne logistique, intelligence artificielle). La région a la chance de compter de nombreuses universités de premier plan (on recense 19 des 100 meilleures universités mondiales autour des Grands Lacs) et un bassin d'ingénieurs et de scientifiques notable. Il faut capitaliser sur cet atout en renforçant les programmes liés aux secteurs stratégiques (p. ex. programmes de génie maritime et logistique pour soutenir l'innovation dans le transport, formation en IA et science des données. Un capital humain hautement qualifié a un double effet sur la productivité : direct (des travailleurs plus productifs individuellement) et indirect (ils innovent, créent des entreprises, améliorent les processus, diffusent les bonnes pratiques). Par exemple, l'introduction d'équipes pluridisciplinaires formées aux méthodes de pointe dans les ports (ingénieurs en optimisation, spécialistes en informatique industrielle) peut permettre de repenser complètement l'organisation portuaire pour gagner en efficacité.

L'innovation, quant à elle, doit être encouragée via un écosystème dynamique.

Cela comprend le soutien aux startups et PME innovantes, la mise en réseau des acteurs (clusters transfrontaliers réunissant fabricants, fournisseurs, laboratoires de recherche), et un appui aux projets de recherche collaborative centrés sur les enjeux régionaux (transport intelligent, matériaux avancés pour l'automobile, bioéconomie liée aux ressources du St-Laurent, etc.). Déjà, on voit émerger des projets innovants tels que la création d'un jumeau numérique du corridor SLGL impliquant HEC Montréal, Polytechnique, CIRANO et d'autres partenaires, pour modéliser l'économie régionale et ses flux. Ce genre d'initiative montre la voie : en combinant expertise académique et besoins industriels, on peut produire des innovations organisationnelles et technologiques taillées sur mesure qui amélioreront grandement la productivité (par ex., des algorithmes d'optimisation des chaînes d'approvisionnement spécifiques aux contraintes du corridor, développés dans le cadre du jumeau numérique).

Notons que dans cette hiérarchie, infrastructures et capital humain/innovation interagissent fortement : les infrastructures (y compris numériques) facilitent l'innovation (échanges d'idées, diffusion technologique), tandis que l'innovation peut optimiser l'usage des infrastructures (meilleure coordination, maintenance prédictive, etc.). Ainsi la frontière entre ces niveaux est poreuse, et il faut les développer de concert.

Adoption de l'intelligence artificielle et exigences de requalification

Les avancées rapides de l'intelligence artificielle (IA) et des technologies numériques imposent une reconfiguration profonde des modèles socioéconomiques. Dans un contexte de compétition mondiale, les États investissent massivement dans les infrastructures de données et de calcul, conscients que le leadership technologique constitue désormais un levier stratégique déterminant. Les pays pionniers — comme les États-Unis, la Chine ou le Japon — fixent les normes, accélèrent la captation des retombées économiques et consolident leur position dans l'économie numérique (Cayrat et al., 2021a; De Marcellis-Warin, 2022).

L'IA est porteuse d'un choc de productivité positif, susceptible de repousser les frontières de production, d'engendrer des réallocations entre capital et travail, et de transformer en profondeur les structures sectorielles et professionnelles (Li et al., 2022). Toutefois, son impact demeure incertain et asymétrique. Dans les économies avancées, environ 60 % des emplois sont exposés à l'IA, principalement en raison de la prédominance des tâches cognitives. Une évaluation récente indique que, parmi ces emplois, près de la moitié pourrait subir des effets négatifs, tandis que l'autre moitié pourrait bénéficier de gains de productivité importants (Li et al., 2022).

Contrairement aux précédentes vagues d'automatisation, qui ont principalement affecté les emplois de qualification intermédiaire ou peu qualifiés, l'IA remet en question la sécurité des fonctions hautement qualifiées. Les algorithmes avancés peuvent désormais

remplacer ou augmenter des tâches relevant du jugement expert, de l'analyse complexe ou de la résolution créative de problèmes, menaçant ainsi des professions jusque-là considérées à l'abri de l'automatisation (Li et al., 2022). Cette dynamique renforce le risque de polarisation du marché du travail et d'amplification des inégalités, à la fois entre professions et au sein même des secteurs.

Cette transformation est particulièrement visible dans des secteurs comme celui du commerce de marchandises ou du transport maritime, où la transition vers des opérations intelligentes — intégrant l'IoT, IA et blockchain — impose de repenser en profondeur les compétences requises. Pour rester compétitifs, les ports et les entreprises logistiques doivent investir massivement dans des programmes de formation continue visant à adapter les qualifications des travailleurs aux nouvelles exigences numériques (Adam et al., 2021). Faute de mesures de requalification ciblées, la numérisation risque d'accentuer la fracture entre les postes automatisables et ceux qui mobilisent des compétences cognitives ou interpersonnelles avancées (Gautié & Perez, 2024).

Pilier 2 | Infrastructures physiques et numériques

Les infrastructures comme socle incontournable à la productivité

Les infrastructures agissent sur la productivité de multiples façons, certaines directes et d'autres indirectes/externalités. Directement, une nouvelle infrastructure de transport (par exemple une autoroute reliant deux pôles économiques) réduit le coût de transport entre

ces pôles. Cela a un effet mesurable sur la productivité des entreprises qui utilisent cette route : elles peuvent livrer plus vite, diminuer leurs stocks (grâce à des livraisons plus fréquentes), accéder à un bassin de main-d'œuvre élargi (car les employés peuvent venir de plus loin). Ainsi, même sans changer leur quantité de capital ou de travail, ces entreprises produisent plus efficacement – un gain de PTF.

Indirectement, l'infrastructure crée des externalités positives : la connexion de nouveaux marchés stimule la concurrence (forçant les entreprises à devenir plus efficaces, ce qui augmente la PTF par amélioration organisationnelle), permet des économies d'échelle (une usine peut desservir un marché plus vaste, donc produire à un coût moyen plus bas, ce qui est un gain d'efficacité agrégée), et facilite la diffusion technologique (les machines, idées, méthodes circulent plus quand les personnes et biens circulent mieux). Des travaux empiriques, comme ceux de (Brancaccio et al., 2024) sur les ports, confirment que les investissements infrastructurels bien ciblés entraînent des sauts d'efficacité importants : dans leur étude sur les ports américains, ils montrent qu'agrandir les ports les plus congestionnés réduit fortement l'attente des navires et accroît le commerce global, y compris en diminuant la congestion dans d'autres ports non agrandis (grâce au délestage du trafic). Ce résultat suggère une causalité : l'investissement infrastructurel, en supprimant un goulot, améliore la performance de l'ensemble du système logistique (donc élève la PTF du secteur transport).

Un autre canal causal est la réduction de coûts intermédiaires : quand une infrastructure énergétique fiable est en place (ex : réseau électrique stable), les entreprises subissent moins de pannes, utilisent de l'électricité moins chère que si elles devaient faire tourner des générateurs individuels, etc., ce qui se traduit par une PTF plus élevée (moins de pertes non comptabilisées en inputs classiques). L'infrastructure numérique est similaire : l'accès au haut débit donne aux entreprises la possibilité d'adopter des outils digitaux qui augmentent leur efficacité (logiciels de supply

chain, plateformes de recrutement en ligne, etc.), ce qui rehausse la PTF.

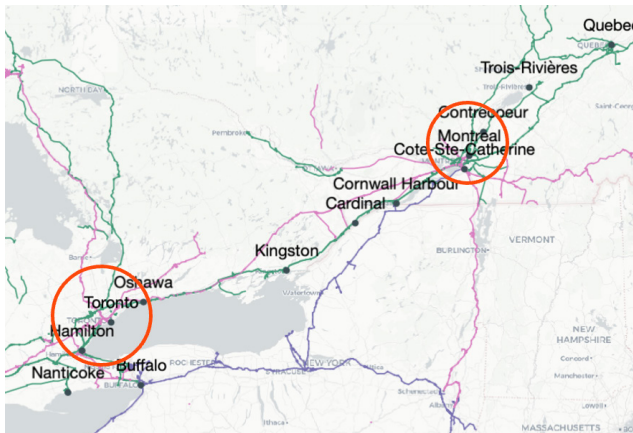
Bien sûr, la littérature souligne que la rentabilité marginale des infrastructures décroît : construire une première autoroute apporte un grand gain de PTF, la dixième parallèle beaucoup moins. Il y a donc des rendements d'échelle d'infrastructure et un optimum d'investissement. Mais dans le cas du corridor SLGL, il reste des investissements à haute valeur causale potentielle, notamment pour moderniser/optimiser l'existant (on parle plus d'intelligence des infrastructures que de leur simple quantité). Par exemple, mettre en réseau numérique tous les feux de circulation d'une métropole et les connecter aux données de trafic en temps réel peut fluidifier la circulation sans construire une seule route de plus – c'est un gain de PTF urbain par infrastructure intelligente. On voit donc que la manière dont sont gérées les infrastructures (gestion agile, numérique) peut elle-même devenir un facteur causal sur la productivité.

Investir dans les capacités de transport intermodales

Adopter une approche systémique et intermodale

Dans un contexte où plus de 80 % du commerce international transite par voie maritime (UN Trade and Development, 2025), les ports jouent un rôle stratégique dans la fluidité des échanges et la maîtrise des coûts commerciaux, mais restent vulnérables aux perturbations. Face à la croissance soutenue des volumes et à la pression croissante sur les capacités existantes, il apparaît essentiel d'investir dans l'expansion et la modernisation des infrastructures physiques – quais, terminaux intermodaux, entrepôts intelligents – afin d'éviter ou réduire les goulots d'étranglement et renforcer la résilience des systèmes portuaires.

Les infrastructures, qu'elles soient physiques (transport, énergie) ou numériques (télécommunications, internet haut débit),



constituent la base matérielle de la productivité. Sans infrastructure fiable, les coûts de transaction explosent et les facteurs de production ne peuvent interagir efficacement. Dans la région SLGL, cela se traduit par l'importance critique de maintenir et moderniser les réseaux de transport : routes et ponts transfrontaliers pour le camionnage, corridors ferroviaires, installations portuaires, canaux et écluses du Saint-Laurent, aéroports de fret, etc. Des infrastructures de transport performantes réduisent les temps de transit et les coûts logistiques, ce qui permet aux entreprises d'adopter des modes de production plus efficaces (juste-à-temps, centralisation des stocks, élargissement des marchés accessibles) et donc d'augmenter leur productivité. De même, l'infrastructure énergétique (réseaux électriques fiables, pipelines sécurisés) assure un approvisionnement stable en énergie indispensable au fonctionnement continu et optimal des usines et centres de données.

Le caractère intermodal et intégré des infrastructures est un facteur déterminant dans une région transfrontalière comme le SLGL. Une approche coordonnée des investissements infrastructurels, plutôt que des décisions isolées par juridiction, est nécessaire pour éviter les goulots d'étranglement dans le réseau global. Par exemple, si les ports du Saint-Laurent augmentent leur capacité d'accueil de navires post-Panamax mais que le réseau ferroviaire d'évacuation intérieur reste vétuste, les gains potentiels en productivité portuaire seront perdus dans la congestion terrestre. Des études montrent qu'investir dans un nœud

du réseau peut avoir des retombées positives sur la congestion d'autres nœuds connectés, d'où l'importance d'une vision d'ensemble. Le succès historique du corridor SLGL doit beaucoup à des projets comme la voie maritime du Saint-Laurent qui, en son temps, a été un investissement massif et concerté entre pays pour doter la région d'une infrastructure logistique de premier ordre. Aujourd'hui, ce genre d'effort doit se poursuivre : entretien des ponts transfrontaliers clés (Ambassador, Blue Water, etc.), ajout de voies ferrées ou de routes là où la demande dépasse la capacité, développement de zones intermodales (plateformes logistiques connectant rail-route-bateau), etc.

Le Visuel 21 est une carte illustrant l'intermodalité de la région est présentée ci-dessous. Pour des raisons de clarté, le réseau routier, quasi omniprésent dans la région, n'y est pas représenté. On peut voir que la capacité intermodale actuelle demeure fortement concentrée dans les pôles de Montréal et Hamilton. Or, dans le cadre d'une stratégie de diversification, l'acheminement de vrac, notamment de minéraux critiques, vers de nouveaux marchés pourrait accroître de manière significative le trafic transitant par les voies navigables.

Le développement coordonné des autres ports de la région, envisagé dans une perspective systémique de transport, permettrait d'atténuer la congestion observée dans ces principaux pôles intermodaux. La comparaison des investissements au niveau des gouvernement fédéraux respectifs révèle d'ailleurs un différentiel significatif : en 2023, le gouvernement américain a investi en moyenne 0,68 \$ par tonne de marchandise transportée dans l'ensemble de ses ports, contre 0,48 \$ par tonne pour les administrations portuaires canadiennes (APC), soit un écart de 40 %. (CPCS, 2025). Bien que ce ratio ne distingue pas entre les dépenses consacrées à l'entretien des infrastructures existantes et celles allouées à de nouveaux projets, il témoigne néanmoins d'un engagement public plus marqué aux États-Unis. Par ailleurs, les 17 APC au Canada projettent d'ici 2040 des investissements totaux de l'ordre de 10 milliards

de dollars, dont 4 milliards destinés au maintien des infrastructures actuelles et 6 milliards à la création de nouvelles installations. (CPCS, 2025).

Infrastructures et potentiel d'exportation

Si l'on considère le secteur des minéraux critiques des États-Unis, on constate que le Canada fait sans surprise partie des sources majeurs de leurs importations pour de multiples minéraux non combustibles et que l'approvisionnement, la transformation et la distribution s'organisent en réseaux binationalisés autour des Grands Lacs et du Saint-Laurent. Le rapport 2025 Mineral Commodity Summaries de l'USGS confirme à la fois la dépendance structurelle américaine à l'égard d'importations pour de nombreux

minéraux (cobalt, nickel, graphite, terres rares, aluminium, titane, etc.) et la centralité du Canada comme fournisseur ou partenaire de transformation pour plusieurs d'entre eux, ce qui situe le SLGL au cœur des itinéraires logistiques nord-américains (production, transbordement, métallurgie, export). Les États-Unis positionnent **les matériaux de batteries** (graphite, nickel, cobalt, lithium/manganèse) **au sommet des priorités**, devant les métaux d'alliage (niobium/titane) et les intrants critiques pour l'agro-industrie (potasse). Le Canada est mis en avant dans les échanges officiels États-Unis–Canada sur la sécurisation des minéraux, et apparaît de façon récurrente **parmi les sources d'importation majeures**.

Les flux de vrac miniers et d'intrants industriels empruntent dans la région un bouquet modal

Tableau 3 Modes de transport des minéraux critiques dans la région SLGL

Minéral critique	Présence dans la région SLGL (production/traitement ou transit)	Mode de transport principal vers les États-Unis	Sources
Nickel	Production au Québec (Voisey's Bay raffiné à Sudbury, transit par SLGL)	Maritime (vrac) + ferroviaire	NRCan (2023) Critical Minerals List; USGS (2024) Mineral Commodity Summaries
Cobalt	Sous-produit de nickel/cuivre au Québec et Ontario, traitement à Sudbury	Maritime (vrac) + ferroviaire	NRCan (2023); USGS (2024)
Graphite	Projet minier au Québec (Lac Knife), transit possible par SLGL	Maritime (vrac)	NRCan (2023); Investissement Québec (2023)
Lithium	Projets au Québec (Nemaska, North American Lithium), transit par SLGL	Maritime (conteneurs et vrac)	NRCan (2023); Nemaska Lithium (2024)
Cuivre	Production en Ontario (Sudbury), transit via ports SLGL	Maritime (vrac) + ferroviaire	NRCan (2023); USGS (2024)
Aluminium (bauxite/oxyde d'aluminium)	Production et transformation au Québec (Alma, Sept-Îles), expédition via SLGL	Maritime (vrac)	NRCan (2023); Alcoa Canada (2024)
Terres rares légères	Potentiel exploration Québec, importations transitant par SLGL	Maritime (vrac ou conteneur)	NRCan (2023); USGS (2024)
Terres rares lourdes	Exploration limitée, importations transitant par SLGL	Maritime (vrac ou conteneur)	NRCan (2023); USGS (2024)
Zinc	Production en Ontario (Kidd Creek), transit par SLGL	Maritime (vrac)	NRCan (2023); Glencore Canada (2024)
Titane	Production au Québec (Sorel-Tracy), export via SLGL	Maritime (vrac)	NRCan (2023); Rio Tinto Fer et Titane (2024)

Source : Ressources naturelles (2024)

maritime fluvial–rail–route dont l’efficience conditionne directement les coûts unitaires et la fiabilité d’approvisionnement. En amont canadien, le rail (et en complément le routier) est majoritairement utilisé depuis les bassins miniers (Sudbury (ON), Saguenay & Laurentides (QC), Prairies pour la potasse) vers les **terminaux portuaires** du corridor SLGL.

Le Government Accountability Office souligne que la performance de la voie maritime et des connexions intermodales influence les volumes et les coûts de la région, et que l’entretien, autant que la modernisation des actifs de navigation ou d’accès terrestre sont déterminants en matière de compétitivité régionale. Autrement dit, les goulots d’étranglement ne se résolvent pas pays par pays, mais au niveau du **corridor intégré** (United States Government Accountability Office, 2018)

Grands projets d’expansion actuels et financement

Transports Canada consacre des financements principalement dans la gérance et les opérations des infrastructures sous son mandat. Dans son Analyse des programmes et des sous-programmes par résultat stratégique daté de 2017, Transports Canada mentionnait des dépenses réelles totales de 231 M\$ allouées à au sous-programme « Infrastructure de transport maritime », et environ 100 M\$ au sous-programme « Infrastructure de transport terrestre et intermodale » (Transports Canada, 2017).

Aussi, à travers le programme du Fonds national des corridors commerciaux (FNCC) visant à améliorer la fluidité des échanges intérieurs et internationaux, 4,1 milliards de dollars de soutien dans des projets d’infrastructure stratégique à l’échelle canadienne ont été investis depuis 2017, incluant les ports, aéroports, réseaux ferroviaires, installations logistiques et routes d’accès. Par ailleurs, dans le cadre d’un virage vers la numérisation des chaînes d’approvisionnement, un appel de propositions lancé en février 2023 cible les projets d’infrastructure numérique. À ce titre, un financement de 51,2 millions de dollars a été

annoncé en mai 2024 pour soutenir 19 projets visant à accroître l’efficacité et la fiabilité du système de transport canadien (Transports Canada, 2024b).

Du côté américain, le financement dans la région des Grands Lacs a connu une intensification au cours de la dernière décennie. Parmi les initiatives notables figurent les apports financiers supplémentaires issus du Water Resources Development Act (WRDA) ainsi que de la Great Lakes Restoration Initiative (GLRI). Le WRDA est révisé environ tous les deux ans et, depuis 2020, inclut une disposition garantissant que la région des Grands Lacs bénéficie d’investissements accrus. Plus précisément, la loi stipule qu’au moins 13 % des dépenses annuelles du Harbor Maintenance Trust Fund doivent être consacrées à des projets d’entretien dans le système de navigation des Grands Lacs (American Great Lakes Ports Association, 2023). Le second programme, exclusivement dédié aux ports des Grands Lacs, a quant à lui fourni plus de 300 millions \$US de financement annuel depuis 2010 (Great Lakes Restoration, 2025).

Par ailleurs, 17 milliards \$US ont aussi été investis aux États-Unis dans les ports et les voies navigables par le biais de l’Infrastructure Investment and Jobs Act de 2021. Cette loi a presque doublé le financement du Port Infrastructure Development Program (PIDP), qui est passé d’une moyenne annuelle de 245 millions \$US à 450 millions \$US. Cependant, les ports des Grands Lacs n’ont représenté que 8 % des fonds attribués entre 2019 et 2023. De même, les ports ont bénéficié de 3 milliards \$US de financement pour l’acquisition d’équipements et de technologies portuaires à zéro émission grâce à l’Inflation Reduction Act de 2022 (American Great Lakes Ports Association, 2025).

La rentabilité de ces investissements massifs devient dès lors centrale, en particulier dans un environnement économique marqué par l’instabilité et l’incertitude. Sur cette question, Brancaccio et al. (2024) proposent un cadre empirique combinant théorie des files d’attente et estimation de la demande pour évaluer la rentabilité des investissements portuaires dans

Tableau 4 Principaux projets d'expansion portuaires dans la région SLGL

Projets en cours	Description	Investissements	Sources
Expansion du Port de Montréal à Contrecoeur	Le terminal de Contrecoeur aura une capacité annuelle de 1,15 million de conteneurs, soit 60 % de celle du Port de Montréal. Il sera stratégiquement relié au réseau ferroviaire du CN et à l'autoroute 30. Sa mise en service, prévue en 2029, générera des retombées économiques importantes, avec près de 6 500 emplois durant la construction et 1 100 emplois permanents par la suite.	130 M\$	Port de Montréal (2025a) Ville de Contrecoeur (2025)
Amélioration de la fiabilité et augmentation des exportations au port de Thunder Bay	Dans le cadre du Fonds national des corridors commerciaux, un investissement pouvant atteindre 6,7 millions de dollars destinés au port de Thunder Bay afin de réaménager la gare de triage et d'accroître la capacité du terminal Keefer.	6,7 M\$	Transports Canada (2024a)
Construction de la raffinerie SucroCan à Hamilton	Construction de la plus grande raffinerie de sucre au Canada au port de Hamilton, en collaboration avec HOPA	135 M\$	Hamilton Oshawa Port Authority (2024)
Construction et reconstruction de terminaux à Trois-Rivières	La construction du nouveau quai 16 et la reconstruction du quai 17 permettront d'avoir une meilleure circulation des marchandises, de réduire la congestion portuaire et d'accroître l'efficacité globale du port	87,1 M\$	Transports Canada (2025) Port de Trois-Rivières (2025)
Construction d'un convoyeur électrique multiusager, aménagement d'une nouvelle aire d'entreposage de marchandises et amélioration du quai Marcel-Dionne à Saguenay	Le Port de Saguenay financera la construction d'un convoyeur électrique multiusager et la modernisation des accès et infrastructures industrielles. Il aménagera aussi une nouvelle aire d'entreposage extérieure pavée et optimisera le quai Marcel-Dionne pour les marchandises hors normes.	250 M\$	Administration portuaire du Saguenay (2024)
Construction d'une seconde écluse à Sault-Sainte-Marie	Les écluses de Sault-Sainte-Marie permettent aux navires de franchir la dénivellation de 21 pieds du canal des chutes de Sainte-Marie. Plus de 88 % du tonnage de marchandises transitant par ces écluses est restreint à l'écluse Poe en raison de la taille des navires. Le projet New Lock at the Soo prévoit la construction d'une seconde écluse de gabarit Poe	2 G\$	U.S. Army Corps of Engineers, Detroit District (2025) Taylor (2024)
Projet d'approfondissement des principaux chenaux fédéraux du port de New York à -55 pieds	Une nouvelle étude de faisabilité visant à approfondir de cinq pieds supplémentaires (jusqu'à -55 ft MLLW) les principaux chenaux fédéraux a été finalisée en décembre 2024, et l'examen environnemental ainsi que les travaux de conception sont toujours en cours	8.660 G\$	New York District (2024)
Réhabilitation des ponts du fleuve Calumet	Elle porte sur la restauration de quatre ouvrages historiques (les ponts 92nd Street/Ewing Avenue, 95th Street, 100th Street et 106th Street), essentiels aux opérations du port et au transport de marchandises le long de la voie navigable de l'Illinois entre le lac Michigan et le golfe du Mexique.	200 M\$	City of Chicago (2023)

un contexte économique volatil. De leur analyse basée sur la fonction de production portuaire, la demande portuaire et le coût des infrastructures portuaires avec une application aux ports américains, trois résultats principaux peuvent être retenus. Premièrement, le bénéfice des investissements dépend de particulièrement de la manière dont ils sont ciblés. Parmi les 51 ports américains analysés par les auteurs, seuls 15 génèrent un retour net positif. Lorsqu'ils sont bien ciblés, les investissements permettent en moyenne de réduire la congestion de 4.1 % et d'accroître le commerce de 42 %. Deuxièmement, un investissement réalisé dans un port donné entraîne en moyenne une réduction de 0,6 % de la congestion dans d'autres ports, soulignant l'intérêt d'une prise de décision coordonnée afin d'optimiser l'efficacité globale des choix d'investissement. Troisièmement, la volatilité macroéconomique a un effet positif sur la rentabilité des investissements dans le cas de certains ports, et modifie également leur distribution géographique.

Infrastructures de données pour une logistique intelligente et des décisions éclairées

Numérisation des chaînes logistiques

Les avancées technologiques progressent à un rythme soutenu à travers la planète et poussent les nations à repenser leurs modèles socioéconomiques et à promouvoir le développement des infrastructures de données et d'intelligence artificielle (IA). Le leadership en IA et en gestion des données est devenu crucial dans un contexte où les pays les plus avancés sont ceux qui en tireront le maximum d'avantages économiques. Comme l'a démontré l'implantation de certaines technologies par le passé (comme la 4G), les pionniers sont aussi ceux qui fixent les règles du jeu et qui assurent leur compétitivité dans un futur plus que jamais numérique. Pourtant, selon un sondage mené par Deloitte en 2019, seules

31 % des entreprises ayant adopté l'IA estiment leur démarche réussie. Cette réalité souligne l'importance de développer une stratégie cohérente qui arrime l'intégration de nouvelles technologies, au renforcement des compétences (Cayrat et al., 2021b). Les progrès rapides des technologies numériques et de l'IA obligent les États et les acteurs à repenser leurs modèles socioéconomiques et à investir massivement dans les infrastructures de données, tant le leadership technologique représente un levier stratégique où les pionniers fixent les normes et consolident leur compétitivité dans l'économie numérique (Cayrat et al., 2021a; De Marcellis-Warin, 2022).

Au niveau des chaînes d'approvisionnement, il devient essentiel pour les planificateurs de bien comprendre les flux logistiques intermodaux (camion, train, navire) grâce aux données disponibles. Les Systèmes de Transport Intelligents (ITS) offrent de nouveaux outils permettant de collecter des données variées et en temps réel, comme dans le cas du système FRATIS qui optimise les déplacements de camions dans les ports. Toutefois, ces données sont souvent hétérogènes et complexes à traiter. La maîtrise des sciences des données devient donc cruciale pour exploiter pleinement le potentiel des ITS. L'analyse avancée des données permet d'améliorer la planification, de réduire les coûts, d'optimiser les itinéraires de livraison et d'évaluer l'effet des politiques publiques (Huynh et al., 2017).

Au Canada, le Rapport final du Groupe de travail national sur la chaîne d'approvisionnement 2022 parmi ses huit recommandations la nécessité de « numériser et créer une visibilité de bout en bout de la chaîne d'approvisionnement des transports pour l'efficacité, l'imputabilité, la planification, l'investissement et la sécurité ». Cette recommandation reconnaissait un retard du Canada en matière de numérisation des chaînes d'approvisionnement, nuisant à sa compétitivité. Pour y remédier, elle préconisait la mise en place d'une stratégie nationale de données, appuyée par une collaboration étroite entre le gouvernement et l'industrie, afin d'améliorer la visibilité, la résilience et la réactivité du système, tout en facilitant

des interventions mieux informées en cas de perturbations (Gattuso et al., 2022)⁶.

Bâtir une architecture de science des données

Les développements technologiques liés à la science des données nous invitent à repenser notre conception même de la productivité et à dépasser les conceptions classiques. Il est également important de faire la distinction entre la culture des données et l'implantation de nouvelles méthodologies impliquant l'IA, l'apprentissage machine, l'apprentissage profond, etc., et l'automatisation robotique qui, premièrement, dépend nettement des données collectées et qui représente un coût considérable pour des technologies « matérielles » potentiellement être vite dépassées.

La convergence vers une architecture régionale fondée sur la science des données permettrait non seulement d'améliorer l'efficacité et la visibilité des flux, mais aussi d'accroître la souveraineté numérique nord-américaine. Cela exige une volonté politique de mettre en commun les compétences, d'harmoniser les normes techniques et de créer des zones logistiques interconnectées où les technologies sont au service de la compétitivité, de la sécurité et de la durabilité. Afin de réduire la vulnérabilité des chaînes logistiques, les gouvernements nord-américains devraient viser à consolider les politiques de soutien à l'interopérabilité des données et à la mutualisation des infrastructures numériques (Dudoit, 2023b). En outre, une stratégie axée sur les données permet d'optimiser l'allocation des ressources humaines et de rationaliser les coûts associés à l'intégration de technologies avancées dans le secteur logistique, qui soulève des défis en matière de main-d'œuvre. La transition vers des systèmes numériques nécessite une adaptation des compétences et une requalification des travailleurs. Les technologies perturbatrices peuvent entraîner des changements de profession, suscitant des inquiétudes parmi les employés et les organisations syndicales.

Autant de facteurs pouvant ralentir l'adoption de nouvelles technologies et leur mise en œuvre, affectant ainsi la compétitivité du secteur. Dans ce contexte, il est essentiel de développer des stratégies de gestion du changement et de formation continue pour accompagner les travailleurs dans cette transition technologique. Une collaboration étroite entre les acteurs publics et privés, incluant les syndicats, est nécessaire pour assurer une adoption harmonieuse des technologies, minimiser les perturbations sociales et maximiser les bénéfices économiques.

Comme le souligne (Dudoit, 2023a), les plateformes de données collaboratives offrent un cadre commun pour partager, gouverner et valoriser l'information logistique; à l'image du Digital Transport and Logistics Forum (DTLF) en Europe⁷, elles constituent un modèle d'interopérabilité multi-acteurs. Elles visent à accroître l'efficacité et la visibilité des flux tout en renforçant la souveraineté numérique, en orientant les investissements par la donnée et en soutenant la montée en compétences via une coordination public-privé. Pour en concrétiser le potentiel, restent à préciser les choix de gouvernance, les standards techniques d'interopérabilité et les dispositifs d'accompagnement des compétences.

6 Voir: https://tc.canada.ca/sites/default/files/2022-10/rapport-groupe-travail-chaîne-approvisionnement_2022.pdf

7 https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/digital-transport-and-logistics-forum-dtlf_en

Pilier 3 | Résilience et durabilité

Faire du corridor SLGL un vecteur de résilience

Renforcer les compétences et former la prochaine génération

La durabilité ne saurait se réduire à la seule décarbonation, mais dépend aussi de la main-d'œuvre. Elle suppose également une acquisition continue de compétences par la main-d'œuvre, afin de favoriser l'adoption de nouvelles technologies, à l'image des grues télécommandées évoquées précédemment. La modernisation exigera la formation et le perfectionnement des travailleurs portuaires, routiers et ferroviaires aux nouvelles technologies (grues automatisées, gestion numérique des inventaires, logistique synchromodale). Des programmes de formation technique et d'apprentissage, en partenariat avec collègues et syndicats, devraient accompagner le déploiement des nouvelles infrastructures. Promouvoir les carrières maritimes et logistiques auprès des jeunes générations et diversifier le bassin de talents seront également cruciaux.

Renforcer les infrastructures contre les risques climatiques

Le corridor maritime SLGL constitue une infrastructure stratégique pour le commerce nord-américain, mais est particulièrement vulnérable aux effets du changement climatique. Comme le souligne un rapport soumis au Sénat du Canada, en novembre 2024, la diminution de la couverture de glace dans les Grands Lacs et sur la Voie maritime du Saint-Laurent augmente l'érosion des berges, constituant une menace pour les infrastructures riveraines, telles que les routes 132 et 138, et les coûts d'entretien des installations portuaires. Par ailleurs, la fréquence et l'intensité croissantes des phénomènes météorologiques extrêmes réduisent la durabilité des ouvrages, les précipitations

autrefois centennales survenant désormais tous les 25 ans. Dans l'ensemble, les auteurs concluent « que le Canada n'est pas prêt à affronter et à surmonter l'effet des changements climatiques sur ses moyens de transport, et donc sur ses chaînes d'approvisionnement. Les efforts actuels sont éparpillés; il n'y a pas de coordination nationale, ni de plan concret et ni de financement prévisible, et pourtant, il y a urgence d'agir ». (Comité sénatorial permanent des transports et des communications, 2024)⁸.

Les infrastructures doivent être construites ou adaptées pour faire face à une plus grande variabilité des niveaux d'eau et à des événements météorologiques extrêmes, qui devraient s'intensifier avec le changement climatique. Par exemple, il pourrait être nécessaire de surélever ou de renforcer quais et brise-lames, ainsi que d'adapter les plans opérationnels face à des tempêtes plus fréquentes.

Améliorer l'échange de données

Les données de transport et particulièrement de transport maritime recèlent d'informations macroéconomiques précieuses quoique souvent ignorées par les décideurs publics. Shackman & Ward (2023) ont par exemple démontré que les taux de fret, tant intérieurs que maritimes, constituent de solides indicateurs macroéconomiques à court terme, le fret maritime offrant même un pouvoir prédictif supérieur à long terme. Cette conclusion rejoint l'analyse de Daniel Dagenais⁹, ancien vice-président à la performance portuaire et au développement durable du Port de Montréal, qui mettait de l'avant que durant la crise mondiale de la COVID-19, les chaînes logistiques étaient devenues un facteur déterminant du taux d'inflation au Canada. Pour la première fois, à l'ère de l'efficacité logistique, les coûts de transport dépassaient ceux de l'énergie et des ressources, donnant alors un indicateur en temps réel de l'inflation à venir au pays. Le transport commercial apparaît ainsi comme

8 Pour consulter le rapport : https://sencanada.ca/content/sen/committee/441/TRCM/Reports/TRCM_Climate-Infrastructure-Report_F.pdf

un proxy économique stratégique, capable de fournir, grâce aux données géolocalisées en temps réel, des indications macroéconomiques précieuses pour la décision publique.

Les données représentent donc une ressource nettement plus cruciale que l'intégration de nouveaux équipements technologiques qui d'ailleurs dépendent eux-mêmes des données récoltées. La construction d'une véritable culture de la donnée, capable d'alimenter l'élaboration de nouveaux indicateurs adaptés à la réalité locale s'impose comme un levier bien plus puissant pour la compétitivité régionale. En développant des outils d'analyse avancés et en valorisant les informations issues des données opérationnelles, les acteurs du Corridor peuvent non seulement mieux comprendre les apports réels des nouvelles technologies, mais aussi anticiper les évolutions du marché et ajuster leurs pratiques en continu. Ainsi, investir dans la capacité à collecter, structurer et interpréter les données devient un choix stratégique, bien plus pérenne et porteur de valeur que la simple acquisition de matériel, aussi innovant soit-il.

9 Entrevue complète : https://youtu.be/1CvxW_W_Lsk?si=QulE2jcZs2LEy3DB

Impliquer les communautés locales et les Premières Nations

L'intensification des flux de marchandises peut générer des retombées positives en termes d'emplois, y compris pour les communautés riveraines et autochtones. Toutefois, elle engendre également des externalités négatives, telles que la pollution sonore ou l'érosion, susceptibles d'affecter ces mêmes communautés. L'inclusion des populations directement concernées dans les discussions relatives à l'accroissement de ces flux constitue donc une condition indispensable pour garantir que le renforcement de la résilience des chaînes d'approvisionnement bénéficie au plus grand nombre.

Enjeux environnementaux du transport maritime dans la région SLGL

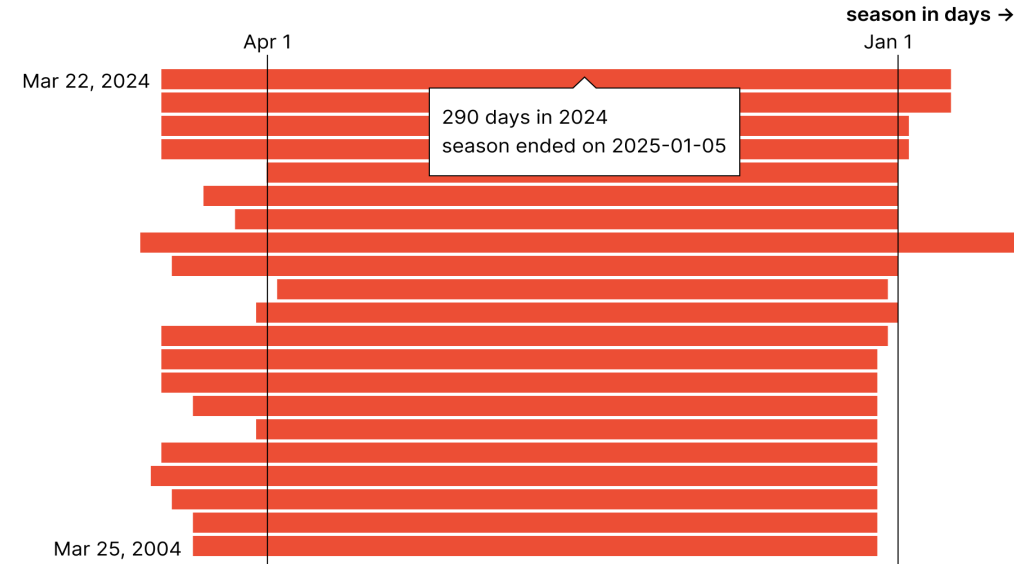
Enjeux climatiques sur la compétitivité des corridors maritimes

Les changements climatiques entraînent d'importantes fluctuations des niveaux d'eau des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent.

Ces changements dans la dynamique fluviale créent plusieurs défis pour le trafic maritime, notamment l'incapacité des navires à passer sous les ponts et une difficulté accrue à naviguer contre des courants plus forts, sans compter les périodes d'étiage, où les navires doivent être allégés pour éviter de toucher le fond du chenal. Une étude régionale, conduite en 2016 pour évaluer les

Visuel 22 Période de navigation dans la section Montréal-lac Ontario

The trend from 2004 to 2024 shows an average increase of 6.5 days in season length, adding about 8 hours of navigation time each year.



Source : Analyse GVCdtLab à partir de données du Great Lakes-St. Lawrence Seaway System

aspects économiques de l'adaptation à la baisse des niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent due aux changements climatiques, a permis d'approfondir les connaissances sur la sensibilité d'activités socioéconomiques aux bas niveaux d'eau (Larrivée et al., 2016). De telles perturbations risquent d'entraver le flux des marchandises, ralentir le commerce international et affecter négativement l'activité de ses principaux ports et l'économie québécoise (Dudoit et al., 2021).

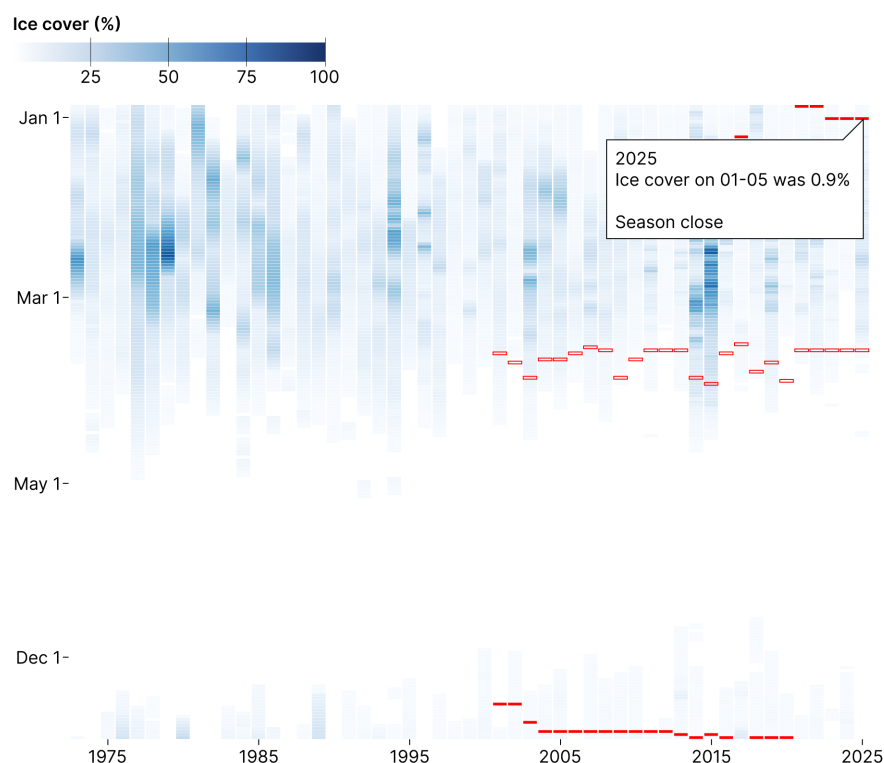
Dans les prochaines décennies, la région SLGL connaîtra des températures plus chaudes, des précipitations plus extrêmes et une réduction de la couverture de glace. D'ici 2063, la température annuelle moyenne dans le bassin devrait augmenter de 1 à 3°C et les événements de précipitations intenses devraient s'intensifier (Bartolai et al., 2015). De plus, les niveaux d'eau du bassin SLGL sont aussi vulnérables aux conditions climatiques extrêmes (Mortsch et al., 2000), accentuant les impacts. Cette

préoccupation quant aux conséquences des changements climatiques sur les conditions hydrologiques dans le système de voies navigables du SLGL (Boyer et al., 2010; MacKay & Seglenieks, 2013; Mailhot et al., 2019), et sur les coûts de navigation qui en résultent (Millerd, 1996, 2005, 2006) n'est pas nouvelle, et a fait l'objet d'études basées sur des simulations depuis de nombreuses années. À ce titre, il est utile de se référer à l'étude de (Comtois & Slack, 2016) qui ont réalisé une analyse coûts-avantages visant à quantifier les impacts économiques potentiels consécutifs aux baisses de niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent, pour six secteurs d'activités ciblées, à savoir le transport maritime, le nautisme et le tourisme, l'approvisionnement en eau potable, la production hydroélectrique, les services écologiques et la valeur des propriétés riveraines.

Périodes de navigation

Depuis quelques années, le réchauffement climatique affecte sensiblement la saison de navigation sur les Grands Lacs, notamment sur le tronçon reliant Montréal au lac Ontario et le canal Welland. Alors qu'elle débutait traditionnellement au printemps par un passage cérémonial marquant la reprise du commerce maritime après l'hiver, la saison tend désormais à s'allonger. Cette extension est attribuée à des hivers plus doux et à une diminution de la couverture de glace sur le lac Ontario, permettant une circulation des navires plus précoce au printemps et plus tardive en automne. Comme l'indique le Visuel 21, l'analyse des données historiques entre 2004 et aujourd'hui révèle un allongement moyen de la saison de navigation d'environ 6,5 jours. Bien que ce gain puisse paraître limité à court

Visuel 23 **Ontario**
Évolution de la période de couverture de glace maximale du Lac



Source : Analyse GVCdtLab à partir de données du Great Lakes-St. Lawrence Seaway System et du Great Lakes Environmental Research Laboratory

terme, son effet cumulé est potentiellement significatif sur le fonctionnement des chaînes logistiques. Une saison prolongée permettrait, en effet, d'accroître la flexibilité des chaînes d'approvisionnement, de limiter les congestions aux périodes de pointe et de favoriser une réorganisation des modes de transport pour certaines marchandises. Par ailleurs, les données sur la couverture maximale annuelle de glace depuis 1973 confirment cette tendance. Une baisse marquée de plus de 17 points de pourcentage dans l'étendue de la glace sur le lac Ontario a été observée, réduisant les contraintes naturelles qui limitaient autrefois la navigation. Ainsi, les hivers plus doux ne sont pas de simples anomalies climatiques passagères mais constituent un facteur structurel qui transforme déjà les dynamiques commerciales le long de ce corridor maritime (GVCdtLab, 2025d).

Le Visuel 22 indique une raréfaction des hivers rigoureux depuis les années 1990, entraînant une réduction notable de la couverture de glace sur le lac Ontario. Malgré cela, la date d'ouverture de la saison de navigation n'a pas été avancée, et les prolongations observées résultent surtout de fermetures plus tardives, laissant inexploitée une partie du début de saison. Une gestion plus souple du calendrier pourrait permettre de mieux tirer parti de cette évolution, notamment pour le Canada, qui permettrait notamment de faciliter les exportations maritimes depuis des ports comme Hamilton ou Toronto. Dans un contexte géopolitique tendu, et face à des hivers plus cléments, repenser l'organisation de cette voie commerciale stratégique devient d'autant plus pertinent (GVCdtLab, 2025e).

Émissions de gaz à effet de serre dans la voie maritime du Saint-Laurent

La quantification des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur maritime constitue un enjeu méthodologique, **compte tenu de la diversité des types de navires, des carburants utilisés et des segments d'opérations** (manœuvres portuaires, navigation fluviale, navigation hauturière). Pour la voie maritime du Saint-Laurent, plusieurs études ont cherché à fournir une estimation de ces émissions, tout en soulignant l'existence d'une marge

d'incertitude importante (Comtois et al., 2024; Yaya & Lasserre, 2024). Dans une large mesure, ces émissions proviennent de **la combustion de combustibles fossiles, principalement le mazout lourd (heavy fuel oil), le diesel marin et, dans certains cas, des carburants alternatifs encore marginaux (gaz naturel liquéfié, méthanol, etc.)**. Aux émissions de CO₂ s'ajoutent celles de méthane (CH₄) et d'oxydes d'azote (NO_x), ainsi que des émissions de soufre (SO_x), lesquelles font l'objet d'une réglementation de plus en plus stricte, même si elles ne sont pas des gaz à effet de serre à proprement parler (Comtois et al., 2024).

Les navires de commerce qui transitent par le Saint-Laurent se répartissent en plusieurs catégories : vraquiers secs, pétroliers, chimiquiers, porte-conteneurs, navires rouliers, cargos polyvalents et bateaux de croisière. Les vraquiers secs et les pétroliers représentent historiquement la plus grande partie du trafic, transportant respectivement des céréales, du minerai de fer, du charbon et des produits pétroliers raffinés (Landry, 2024). Les porte-conteneurs, bien que moins nombreux, jouent un rôle croissant dans l'économie régionale, notamment pour les flux internationaux de marchandises à plus forte valeur ajoutée. De plus, la venue des navires de croisière dans le Saint-Laurent, quoique saisonnière, contribue aussi aux émissions, surtout durant la haute saison touristique de l'été et de l'automne. L'éventail des motorisations et des standards techniques est donc large, ce qui complique la définition d'un profil d'émissions unifié.

Une particularité de la navigation sur le Saint-Laurent concerne les périodes de glaces hivernales, durant lesquelles la Garde côtière canadienne procède à des opérations de brise-glace pour maintenir la voie navigable. Ces opérations supplémentaires entraînent une consommation accrue de carburant, tant pour les brise-glaces que pour les navires qui naviguent dans des conditions moins optimales (Comtois et al., 2024; Marchand, 2024; Scalabrini, 2022). Les moteurs fonctionnent souvent à des régimes plus élevés et les temps de transit peuvent s'allonger, augmentant la consommation énergétique globale et, par conséquent, les émissions de GES. Parallèlement, la régulation

stricte de la vitesse dans certaines zones pour des raisons de sécurité ou de protection de la faune (notamment les baleines dans l'estuaire du Saint-Laurent) peut parfois augmenter la durée de navigation et modifier les profils d'émissions, selon le type de navire et sa consommation de carburant à faible vitesse.

Sur le plan global, il est estimé que le transport maritime international est responsable de 2 à 3 % des émissions mondiales de CO₂ (International Maritime Organisation, 2020). La part spécifique de la voie maritime du Saint-Laurent reste difficile à établir précisément, on sait toutefois qu'au Canada, les émissions du secteur maritime canadien ont été estimées à 4,6 Mt de CO₂, soit 3,0 % des émissions nationales liées aux transports, marquant une hausse de 9,7 % par rapport à 2005 (Transport Canada 2023, p.52). En prenant en compte les différents segments de la chaîne logistique (transport maritime, manutention portuaire, transport routier ou ferroviaire de redistribution), l'empreinte carbone totale liée à la voie maritime est plus importante encore. Toutefois, il convient de noter que **le transport maritime demeure moins émetteur par tonne-kilomètre que le transport routier ou aérien, ce qui en fait un mode de transport relativement efficace en termes de consommation énergétique** (Morandi et al., 2021; Transport Canada, 2023).

Les émissions de GES associées à la voie maritime du Saint-Laurent ne sont pas réparties uniformément tout au long du corridor. Les grandes zones portuaires, comme Montréal, Québec, Trois-Rivières, Sept-Îles ou encore les ports de l'Ontario sur les Grands Lacs, concentrent une part importante des opérations et, de ce fait, des émissions liées à l'accostage, à l'appareillage et aux manœuvres (Morandi et al., 2021). Les activités de chargement et de déchargement, impliquant souvent des équipements fonctionnant au diesel, constituent également des sources d'émissions. Au niveau des opérations en mer ou en fleuve, les émissions dépendent de la vitesse, des caractéristiques hydrodynamiques du navire et de la distance parcourue.

Il importe de souligner que les inventaires d'émissions utilisés pour la planification des politiques et la fixation d'objectifs de réduction se fondent parfois sur des critères qui ne tiennent pas toujours compte de la frontière internationale. Par exemple, si un navire transitant par le Saint-Laurent navigue sous pavillon étranger, ses émissions peuvent être comptabilisées différemment dans les inventaires nationaux. Cette complexité statistique et méthodologique rend la conception et la mise en œuvre d'actions coordonnées plus délicates. De plus, la question du partage des émissions entre les acteurs (armateurs, affréteurs, autorités portuaires, gouvernements) demeure un enjeu sensible. Certains estiment que la responsabilité devrait incomber principalement aux compagnies maritimes, tandis que d'autres plaident pour une responsabilité partagée, tenant compte du rôle des chargeurs et des infrastructures portuaires. **Ces éléments mettent en évidence la nécessité d'une meilleure harmonisation des méthodologies de calcul des émissions, ainsi que d'une collaboration accrue entre les différentes juridictions pour recueillir, analyser et partager les données.** Les autorités portuaires du Saint-Laurent ont déjà entrepris des initiatives en ce sens, telles que l'élaboration d'inventaires d'émissions à l'échelle portuaire et la mise en place de programmes de réduction des émissions de polluants atmosphériques.

Décarbonation du transport maritime

Réglementations et initiatives actuelles

La décarbonation du transport maritime est progressivement devenue un axe prioritaire dans les politiques nationales et internationales de lutte contre les changements climatiques. À l'échelle internationale, l'Organisation maritime internationale a joué un rôle catalyseur en adoptant une stratégie initiale visant à réduire d'au moins 50 % les émissions de GES du transport maritime mondial d'ici 2050, par rapport aux niveaux de 2008 (Comer & Sathiamoorthy, 2022; International Maritime Organisation, 2020). En 2021, l'OMI a adopté la

proposition d'amendement ajoutant au chapitre VI de l'annexe MARPOL l'obligation d'utiliser l'indice d'efficacité énergétique, impliquant alors l'introduction de normes techniques, évaluées via l'Energy Efficiency Design Index¹⁰ (EEDI), et la mise en place de mesures opérationnelles telles que le Ship Energy Efficiency Management Plan¹¹ (SEEMP) (Joung et al., 2020).

Pour la voie maritime du Saint-Laurent plus spécifiquement, le Canada, en tant qu'État signataire de la Convention MARPOL, applique l'Annexe VI relative à la prévention de la pollution de l'air par les navires. Depuis 2015, les navires circulant dans les zones de contrôle des émissions (ECAs) doivent utiliser des carburants dont la teneur en soufre est limitée à 0,1 %. Même si le Saint-Laurent n'est pas classé comme ECA pour le soufre à l'instar des zones côtières américaines ou de la mer du Nord, le Canada a harmonisé certaines normes pour réduire les émissions de soufre et d'oxydes d'azote (Morandi et al., 2021). Cette évolution réglementaire a incité plusieurs armateurs à passer à des carburants à plus faible teneur en soufre, bien que l'impact sur la réduction des émissions de CO₂ demeure partiel.

Sur le plan national, Transports Canada mène des programmes d'incitation et de financement pour encourager l'innovation en faveur d'une transition verte du secteur maritime. C'est le cas du *Programme de recherche et de développement d'un réseau de transport respectueux de l'environnement*¹² qui vise à soutenir la recherche et le partage de connaissances sur les énergies propres, développer des méthodes de mesure des émissions liées au transport ou encore à déployer des technologies propres. Le *Programme de soutien à l'innovation des transports*, lié au *Programme écoTechnologie*¹³ pour les véhicules, le *Plan de protection des océans*¹⁴, l'*Initiative pour les navires silencieux*¹⁵ ou encore le *Programme de commiologie zéro*

*émissions*¹⁶ sont d'autres exemples de mesures gouvernementales soutenant des projets de recherche et de démonstration de technologies visant à réduire l'empreinte environnementale des navires, qu'il s'agisse des émissions liées au transport, des déchets ou encore du bruit sous-marin des bâtiments.

Cette volonté de créer des synergies entre les programmes et autres initiatives gouvernementales devrait permettre de répondre en partie aux besoins d'adopter une approche plus englobante et ainsi d'adresser partiellement aux enjeux des émissions liées à l'intermodalité. Comme mentionné précédemment, l'évaluation des émissions ne peut se limiter à la seule performance énergétique des carburants utilisés par les navires. Elle doit également tenir compte des émissions associées aux infrastructures portuaires, aux modes de transport terrestre connectés aux ports (l'intermodalité), et plus largement à l'ensemble de la chaîne logistique. Une telle approche, davantage systémique, est essentielle pour mesurer l'efficacité énergétique du secteur maritime et orienter les politiques de réduction ou de compensation des émissions de manière pertinente.

Les gouvernements provinciaux, comme celui du Québec, ont également mis en place des mesures visant la transition énergétique dans les transports. En 2018, le gouvernement du Québec avait, sous l'égide du ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, mis en place la *Politique de mobilité durable 2030*, incluant des volets spécifiques au transport maritime (Gouvernement du Québec, 2018). En 2023, le même ministère publiait une mise à jour des mesures gouvernementales provinciales en faveur de la décarbonation

10 <https://www.imo.org/fr/MediaCentre/HotTopics/Pages/EEDI.aspx>

11 <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Improving%20the%20energy%20efficiency%20of%20ships.aspx>

12 <https://tc.canada.ca/fr/programmes/programme-recherche-developpement-reseau-transport-respectueux-environnement>

13 <https://tc.canada.ca/fr/programmes/programme-eco-technologie-vehicules>

14 <https://tc.canada.ca/fr/campagnes/plan-protection-océans>

15 <https://tc.canada.ca/fr/programmes/initiative-navires-silencieux>

16 <https://tc.canada.ca/fr/transport-routier/technologies-novatrices/vehicules-zero-emission/programme-camiologie-zero-emission>

de l'industrie maritime, comptant une vingtaine de programmes pour le soutien au branchement à quai, aux carburants alternatifs ou à la recherche¹⁷. Dans le cadre de la stratégie maritime du Québec, *Avantage Saint-Laurent*, le gouvernement provincial a prévu un plan d'action favorisant l'établissement d'un corridor économique intelligent destiné notamment à réduire l'empreinte environnementale. D'autres programmes, davantage ciblés sur les corridors commerciaux existent, tant au niveau fédéral que provincial. C'est le cas du *Programme de corridors maritimes verts*¹⁸ (Transports Canada), qui offre des financements aux projets favorisant la décarbonation du réseau des Grands Lacs, du Saint-Laurent et des côtes Ouest canadiennes, avec un volet ciblant les ports et un autres les navires.

Plusieurs ports le long du Saint-Laurent ont aussi lancé des initiatives destinées à réduire leur empreinte carbone et à inciter les navires à opter pour des technologies plus propres. L'administration portuaire de Montréal¹⁹, par exemple, a mis en place un programme de tarification verte qui offre des rabais sur les droits de mouillage pour les navires répondant à certains critères de performance environnementale, tels qu'une certification EEDI avancée ou l'utilisation de carburants faiblement soufrés. De même, des installations pour le branchement électrique à quai (*cold ironing*) ont été développées dans certains ports, permettant aux navires d'éteindre leurs moteurs auxiliaires et de se raccorder au réseau électrique terrestre durant les opérations à quai, réduisant ainsi les émissions de GES et de polluants atmosphériques. Toutefois, l'implantation de l'électrification à quai exige des investissements importants dans les infrastructures portuaires et suppose que les navires soient équipés pour recevoir l'alimentation électrique.

17 https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/ministere/role_ministere/colloques-congres-conferences/forum-concertation-transport-maritime/Documents/decarbonation-industrie-maritime-mesures.pdf

18 <https://tc.canada.ca/fr/programmes/programme-corridors-maritimes-verts>

19 <https://www.port-montreal.com/fr/le-port-de-montreal/nouvelles-et-evenements/nouvelles/carnet-de-bord/balise-electricite>

Électrification et carburants alternatifs

La réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) place la décarbonation du transport maritime au cœur des enjeux environnementaux, économiques et technologiques. Cette transition implique l'adoption de nouvelles technologies de propulsion, l'utilisation de carburants à plus faible empreinte carbone, l'amélioration de l'efficacité énergétique et l'optimisation des opérations portuaires.

Plusieurs solutions technologiques sont en cours de déploiement ou d'expérimentation. Parmi elles, l'électrification à quai constitue un levier immédiat pour réduire les émissions lors des opérations portuaires. L'électrification à quai, définie comme l'utilisation de systèmes permettant d'alimenter en électricité les navires pendant leurs escales, représente une solution technologique prometteuse pour réduire les émissions de GES dans le secteur maritime. Bien que ces installations exigent des investissements importants, leur potentiel de réduction des émissions locales et de nuisances atmosphériques est reconnu. En plus des bénéfices environnementaux, cette technologie présente des avantages économiques pour les armateurs, notamment par la réduction des coûts liés au carburant et à l'entretien des génératrices, lorsque son utilisation est régulière. À l'échelle internationale, les principaux terminaux électrifiés se trouvent dans les secteurs des croisières et des grands navires porte-conteneurs, soit ceux de plus de 140 mètres de long, en raison de leur forte demande énergétique à quai. En revanche, peu d'initiatives ont été déployées pour les navires transportant du vrac solide ou liquide, du cargo général, ou pour les plus petits porte-conteneurs, malgré leur potentiel environnemental significatif (Innovation maritime, 2022).

Au Québec, cette approche est particulièrement pertinente compte tenu du caractère renouvelable, propre et économique de l'électricité majoritairement hydroélectrique produite localement. Toutefois, malgré ces avantages, l'adoption de l'électrification à quai demeure limitée dans les infrastructures

portuaires québécoises. Le port de Montréal se distingue comme pionnier en matière d'électrification à quai, étant le seul port québécois à offrir ce service aux navires de croisière, au terminal des croisières. Ce système a été mis en place en 2017 dans le cadre de la réhabilitation de la jetée Alexandra, aujourd'hui le Grand Quai, ainsi que du terminal de croisières. (Innovation maritime, 2022). Le port de Montréal a aussi mis en place une tarification incitative pour les navires utilisant l'électricité à quai, réduisant ainsi leur dépendance aux moteurs auxiliaires au diesel (Morandi et al., 2021).

Le projet d'expansion à Contrecoeur prévoit également l'intégration de cette technologie. Il est estimé qu'en phase initiale, environ 25 % des navires porte-conteneurs qui y accosteront disposeront des équipements nécessaires pour se connecter au réseau électrique local. Dans le reste du Québec, l'électrification à quai demeure marginale. Hormis le port de Matane, les autres principaux ports comme Sept-Îles, Port-Cartier, Baie-Comeau, Saguenay, Rimouski, Bécancour, Sorel, Gaspé et Port-Daniel ne possède d'infrastructures de connexion électrique basse ou haute tension. Bien que certains offrent une alimentation électrique pour l'hivernation des navires, cela ne constitue pas une solution intégrée d'électrification à quai pour les opérations régulières (Innovation maritime, 2022). Un défi technique se pose avec l'utilisation de fréquences électriques différentes selon les régions dans le monde. Tandis que l'Amérique du Nord et certaines régions d'Asie et du Moyen-Orient utilisent une fréquence de 60 Hz, la majorité des autres ports internationaux fonctionnent à 50 Hz. Pour assurer la compatibilité, des convertisseurs de fréquence doivent être installés, ce qui entraîne des coûts supplémentaires importants pour les ports qui souhaitent offrir une alimentation adaptée aux navires internationaux. Cette absence de standardisation constitue un frein supplémentaire à un déploiement généralisé (Innovation maritime, 2022).

Par ailleurs, le recours à des **carburants alternatifs** est en forte progression. Le gaz naturel liquéfié (GNL) est la solution

actuellement la plus répandue au Canada pour des applications à court terme, notamment chez la Société des traversiers du Québec (Comtois et al., 2024). Toutefois, les émissions fugitives de méthane suscitent un débat quant au réel bénéfice climatique du GNL à long terme (Yaya & Lasserre, 2024). Des alternatives plus durables, comme le méthanol, l'hydrogène vert ou l'ammoniac, font l'objet de projets pilotes, mais demeurent à un stade de développement pré-commercial, avec des contraintes techniques, économiques et réglementaires importantes (Landry, 2024). Dans la voie maritime du Saint-Laurent, le GNL a retenu une attention particulière, car il permet de réduire considérablement les émissions de soufre et de particules, tout en réduisant partiellement les émissions de CO₂ par rapport au mazout lourd (Comtois et al., 2024; Yaya & Lasserre, 2024). Certains navires de desserte locale ou de traversiers ont déjà franchi le pas. Par exemple, la Société des traversiers du Québec a mis en service des navires fonctionnant au GNL pour desservir la région du Bas-Saint-Laurent (Comtois et al., 2024; Morandi et al., 2021). Cependant, l'adoption à grande échelle du GNL demeure freinée par le coût des infrastructures de distribution, la disponibilité du carburant le long du corridor et la performance encore limitée en matière de réduction des GES au regard des émissions fugitives de méthane. D'autres solutions, comme les piles à combustible à l'hydrogène ou l'ammoniac, suscitent un intérêt marqué, mais restent à un stade de développement ou de démonstration, ne permettant pas encore un déploiement commercial massif (Landry, 2024).

Sur le plan de la recherche et de l'innovation, des collaborations entre universités, instituts de recherche et acteurs industriels visent à concevoir des navires plus efficaces, allégés et mieux adaptés aux conditions de navigation sur le Saint-Laurent. Des études portent sur l'optimisation hydrodynamique des coques pour réduire la résistance dans l'eau (Y. Feng et al., 2025), sur la propulsion assistée par voile ou rotor (Kolodziejski & Sosnowski, 2025), ou encore sur l'utilisation d'intelligence artificielle pour une navigation optimisée en temps réel (Durlik et al., 2024). Les économies de carburant

obtenues grâce à de telles optimisations, même modestes en pourcentage, peuvent se révéler significatives lorsque reportées à l'ensemble d'une flotte (O'Brien et al., 2016). Toutefois, la complexité du Saint-Laurent, avec ses courants, marées et passages à risque, exige une modélisation fine et des systèmes de navigation sophistiqués (Le Mouel et al., 2025; Matte et al., 2017). De plus, les projets de recherche doivent s'inscrire dans un cadre réglementaire en constante évolution, ce qui peut retarder la mise en service de solutions novatrices.

Enjeux relatifs à la décarbonation

La décarbonation de la voie maritime du Saint-Laurent se heurte à une série de défis complexes, reflétant la diversité des acteurs impliqués, les contraintes techniques et financières ainsi que l'évolution des marchés et du cadre réglementaire. **En dépit des avancées déjà mises en œuvre, de nombreuses questions demeurent ouvertes quant aux trajectoires technologiques à privilégier, aux modes de financement à mobiliser et à la gouvernance de la transition.** Ce constat impose d'envisager la décarbonation sous un angle systémique, tenant compte à la fois des aspects maritimes, portuaires, logistiques, économiques et sociaux.

- Un premier défi réside dans **la complexité technologique et logistique**. Plusieurs carburants alternatifs suscitent l'intérêt des armateurs : GNL, méthanol, hydrogène, ammoniac et biocarburants. Le GNL réduit partiellement les émissions de GES mais nécessite des infrastructures coûteuses et comporte un risque d'émissions fugitives de méthane (Xing et al., 2021). L'hydrogène et l'ammoniac offrent une combustion sans CO₂, mais posent des défis de stockage, de transport et de sécurité, tout en nécessitant une production décarbonée pour être efficaces (Atiodjia Njamen, 2025). **Cette pluralité de voies technologiques rend les décisions d'investissement incertaines et risque de fragmenter le marché, d'autant que la flotte doit répondre à des besoins opérationnels différents (navires de courte distance, cabotage, traversiers, gros pétroliers de haute mer).**
- Un deuxième défi tient **aux coûts financiers élevés associés à la transition énergétique dans le secteur maritime**. La modernisation de la flotte, la conversion des navires existants ou la construction de nouveaux navires à propulsion alternative requièrent des sommes considérables que tous les acteurs ne peuvent assumer sans soutien public. Les retours sur investissement sont également difficiles à prévoir, dans la mesure où ils dépendent fortement de l'évolution du prix des carburants et du cadre réglementaire. Les programmes de financement gouvernementaux, s'ils existent, sont souvent limités dans le temps ou ciblent des projets pilotes et de recherche, laissant en suspens la question du déploiement à grande échelle. Les entreprises de transport maritime sont confrontées à la nécessité de maintenir leur compétitivité face à d'autres corridors ou d'autres modes de transport, et craignent de répercuter les coûts supplémentaires sur les chargeurs, qui pourraient alors opter pour des routes alternatives ou d'autres solutions logistiques.
- Un troisième défi concerne **la gouvernance multi-niveau et la coordination des politiques publiques**. Le fleuve Saint-Laurent est placé sous la juridiction de multiples entités, tant du côté canadien qu'américain, et son statut d'autoroute commerciale internationale complique l'harmonisation réglementaire. Les provinces du Québec et de l'Ontario, tout comme certains États américains, peuvent adopter des mesures incitatives ou contraignantes, mais ces initiatives restent parfois fragmentées et se heurtent à des divergences d'intérêts. La question du partage des coûts et des bénéfices de la décarbonation se pose également, tant du point de vue géographique (quel port ou quelle région finance les infrastructures nécessaires?) que du point de vue sectoriel (quels segments de la chaîne logistique assument la transition?). L'absence de mécanismes de gouvernance transfrontalière suffisamment intégrés, associée à la diversité des régulations nationales et infranationales, freine parfois la mise en œuvre de politiques cohérentes et

efficaces.

- Un quatrième défi réside **dans l'acceptation sociale de la décarbonation et la mobilisation des parties prenantes**. Les communautés riveraines du Saint-Laurent, les travailleurs du secteur maritime, les groupes environnementalistes et les Premières Nations ont des intérêts et des attentes variées, allant de la préservation de l'emploi et du développement économique local à la protection de l'environnement et de la biodiversité. La transition énergétique, bien qu'elle présente des opportunités en termes d'innovation et de croissance verte, peut susciter des résistances si elle est perçue comme mettant en péril des activités traditionnelles ou entraînant des surcoûts. Les processus de consultation et de concertation deviennent alors cruciaux pour définir des orientations partagées, évaluer les impacts et identifier des compromis acceptables.

Dans ce contexte, plusieurs perspectives se dégagent pour renforcer la dynamique de décarbonation. D'abord, l'innovation technologique doit être soutenue par la recherche universitaire et partenariale, de manière à **améliorer l'efficacité énergétique des navires, à lever les verrous techniques liés à l'utilisation de carburants alternatifs et à développer des systèmes intelligents de gestion du trafic et de la consommation de carburant**. Les navires autonomes ou semi-autonomes, bien que controversés sur le plan de la sécurité, pourraient à terme optimiser les routes et réduire la consommation énergétique, sous réserve d'un encadrement réglementaire adapté. De même, la propulsion assistée par le vent (voiles rigides, rotors Flettner) ou l'énergie solaire peuvent compléter le mix énergétique de certains navires.

Innovations numériques au service de l'efficacité énergétique de la chaîne logistique

La planification et la gestion intégrée de la chaîne logistique peuvent contribuer à la décarbonation en optimisant l'utilisation des navires et en réduisant les trajets à vide, les temps d'attente au port et les congestions. Les solutions

numériques, basées sur les données massives ou l'IA, permettent une meilleure synchronisation entre l'amont et l'aval de la chaîne, favorisant une plus grande efficacité. Les ports intelligents (smart ports) s'inscrivent dans cette tendance : ils recourent à des plateformes numériques de gestion des flux de marchandises, de la manutention, du stationnement des navires et de l'approvisionnement énergétique, de manière à limiter les temps morts et les consommations inutiles.

La compétitivité environnementale ne peut se limiter au seul remplacement des carburants. L'efficacité énergétique globale de la chaîne logistique maritime constitue un levier majeur de réduction des GES. Dans cette optique, **la modernisation des équipements portuaires, l'automatisation des processus et l'optimisation des opérations** sont des priorités identifiées tant au niveau canadien que québécois. Le déploiement de capteurs IoT pour la maintenance prédictive, la gestion dynamique des actifs ou la régulation énergétique des terminaux permet de réduire les pertes d'énergie et d'améliorer la performance globale (Morandi et al., 2021). Maintenant, l'intégration de **jumeaux numériques** constitue une autre innovation structurante. Ces outils, en simulant en temps réel les opérations maritimes, offrent une meilleure visibilité sur les flux et permettent des prises de décision plus rapides et plus précises. Inspirés des expériences menées au port de Busan (Eom et al., 2023) ou à Singapour, les ports du Saint-Laurent commencent à explorer leur potentiel.

Il convient enfin de rappeler que l'efficacité énergétique ne peut être isolée de la chaîne intermodale dans son ensemble. Une **approche systémique**, prenant en compte les interactions entre le maritime, le ferroviaire, le routier et les opérations de stockage, est essentielle pour assurer une cohérence environnementale à l'échelle du corridor. C'est pourquoi plusieurs programmes publics encouragent l'interconnexion logistique et la conversion énergétique des équipements associés à l'ensemble des maillons de la chaîne (Gouvernement du Québec, 2023).

Étude de cas : conversion partielle au GNL et électrification à quai dans le corridor maritime

Pour mieux saisir la réalité de la décarbonation dans la voie maritime du Saint-Laurent, il est pertinent d'examiner un exemple concret de projet mené par un consortium d'acteurs publics et privés. L'étude de cas se fonde sur des éléments recueillis auprès de différentes sources gouvernementales et industrielles. **Il s'agit d'un projet combinant la conversion de plusieurs navires de type vraquier au gaz naturel liquéfié (GNL) et l'implantation d'infrastructures d'électrification à quai dans deux ports majeurs : Montréal et Québec.** Bien que ce projet ne représente pas l'ensemble des initiatives menées dans la région, il illustre certaines dynamiques, contraintes et opportunités propres à la transition énergétique maritime.

Contexte et objectifs

Face à la réglementation de plus en plus contraignante en matière d'émissions de soufre et aux perspectives de taxation du carbone, un groupe d'armateurs spécialisés dans le transport de vrac sec et liquide a décidé, en collaboration avec les autorités portuaires de Montréal et de Québec, d'investir dans la conversion de six navires existants vers une propulsion dual fuel, c'est-à-dire pouvant fonctionner à la fois au GNL et au diesel marin. Le choix du GNL répondait à un souci de conformité aux normes sur le soufre et de réduction partielle des émissions de CO₂, tout en bénéficiant du soutien financier de programmes fédéraux et provinciaux dédiés à l'innovation. En parallèle, les deux ports ont lancé des travaux pour construire ou adapter des installations de stockage de GNL et mettre en place des bornes d'alimentation électrique à quai, permettant aux navires de couper leurs moteurs auxiliaires lors des opérations de chargement et de déchargement.

Les objectifs suivis consistent d'abord, à

réduire de façon substantielle les émissions de polluants atmosphériques (SO_x, NO_x, particules fines) et diminuer d'environ 20 % les émissions de CO₂ par rapport à l'utilisation de mazout lourd, selon les estimations des armateurs et des études préliminaires. Ensuite, à répondre aux exigences réglementaires et éviter d'éventuelles sanctions financières à l'avenir, notamment si une taxe carbone ou des mesures plus contraignantes étaient adoptées au niveau fédéral ou international. Enfin, à améliorer l'image environnementale du corridor maritime, dans un contexte où les clients et les collectivités locales exigent davantage d'engagements responsables de la part du secteur.

Mise en œuvre et difficultés rencontrées

La conversion en cours des navires nécessite une planification minutieuse, car elle implique d'importantes modifications des réservoirs de carburant, des systèmes de propulsion et de sécurité à bord. Les chantiers navals engagés dans l'opération ont dû mobiliser une main-d'œuvre spécialisée et passer par un processus de certification auprès des autorités de classification maritime. Le calendrier serré et les surcoûts liés à la montée en compétence technique ont retardé la livraison des navires convertis. D'autre part, l'installation d'infrastructures de stockage et de distribution de GNL dans les ports a également rencontré des obstacles, notamment en termes d'obtention de permis environnementaux et d'approvisionnement régulier en GNL. Les autorités portuaires ont dû négocier avec des fournisseurs régionaux de gaz et s'assurer de la sécurité des opérations de soutage (bunkering), une activité encore peu répandue sur le Saint-Laurent.

Concernant l'électrification à quai, l'enjeu

principal résidait dans la disponibilité de l'énergie électrique et la capacité du réseau à supporter la demande supplémentaire. Des investissements ont été consentis pour renforcer les réseaux de distribution internes des ports et pour négocier avec Hydro-Québec un approvisionnement à tarif préférentiel, au motif que l'électricité produite au Québec est majoritairement renouvelable (hydroélectricité). Les armateurs, de leur côté, ont dû équiper leurs navires de dispositifs de connexion électrique compatibles avec les normes portuaires, ce qui a engendré des coûts additionnels. Enfin, l'acceptabilité sociale a globalement été favorable, car la réduction des nuisances sonores et de la pollution atmosphérique dans les zones portuaires est perçue positivement par les riverains. Toutefois, certains syndicats de travailleurs craignaient que l'automatisation croissante des opérations liée à la modernisation portuaire ne se traduise par des pertes d'emplois.

Résultats préliminaires et enseignements

Bien qu'il soit encore trop tôt pour dresser un bilan complet, les résultats préliminaires indiquent une baisse notable des émissions de SOx et NOx pour les navires convertis, ainsi qu'une diminution d'environ 15 à 20 % des émissions de CO2, selon les relevés effectués par les armateurs et validés par des organismes tiers. L'utilisation du branchement électrique à quai a également permis d'éliminer presque entièrement les émissions liées aux moteurs auxiliaires durant les escales, ce qui représente un gain substantiel en zone urbaine. Cependant, les coûts globaux du projet se sont avérés supérieurs aux estimations initiales, en raison d'aléas techniques et de retards dans la chaîne d'approvisionnement. Certains armateurs ont d'ailleurs exprimé leur intention d'évaluer des options alternatives, comme le biométhanol ou le méthanol vert, pour de futurs projets, estimant que la solution GNL pourrait s'avérer insuffisante à moyen terme pour répondre aux objectifs de décarbonation plus ambitieux.

Sur le plan de la gouvernance, le projet a mis en évidence la **nécessité d'une coopération étroite entre les différentes autorités portuaires, Transports Canada, les gouvernements provinciaux et les entreprises privées**. La mise en place d'un comité de pilotage, réunissant régulièrement les parties prenantes, a facilité la résolution de problèmes pratiques et la diffusion de l'information. Elle a également permis d'impliquer les acteurs locaux dans le processus de décision, notamment par le biais de comités consultatifs. Cette approche pourrait servir de modèle pour d'autres initiatives de décarbonation sur le Saint-Laurent, à condition d'adapter la composition et les modalités de fonctionnement des comités en fonction des spécificités de chaque projet.

Cette étude de cas montre que la décarbonation du transport maritime n'est pas un processus linéaire, exempt de difficultés. Les acteurs doivent composer **avec l'incertitude technologique, la complexité réglementaire, les contraintes financières et l'exigence d'une coordination multi-niveau**. Néanmoins, l'expérience acquise et les avancées réalisées signalent la faisabilité, certes partielle, d'une transition vers des modes de transport moins émetteurs de carbone. Les solutions mises en œuvre, qu'il s'agisse de la conversion au GNL ou de l'électrification à quai, ne sauraient toutefois constituer l'unique réponse à la problématique des émissions de GES à long terme. Elles doivent être combinées à d'autres mesures, voire remplacées à terme par des solutions plus radicales si l'on vise la neutralité carbone d'ici la moitié du siècle. Cette réflexion nous amène à la conclusion générale de notre article, qui souligne l'importance d'une approche globale et adaptée aux spécificités du Saint-Laurent.

IV. S'inspirer des corridors et hubs européens

Le renforcement de l'attractivité et de la compétitivité du corridor SLGL repose avant tout sur des systèmes de transport multimodaux performants et innovants, soutenus par une collaboration étroite entre l'ensemble des acteurs du commerce et du transport. Il est essentiel que les réseaux soient considérés comme un système intégré, où chaque maillon compte, pour identifier les points forts de chacun et créer des opportunités de collaboration au-delà des silos institutionnels ou sectoriels. Dans cette perspective, le développement du corridor nécessite une vision multimodale cohérente et globale, reposant sur des infrastructures modernes et planifiées de manière coordonnée. L'intégration numérique et un modèle de gouvernance inclusif constituent également des éléments clés pour optimiser le fonctionnement du corridor et renforcer sa compétitivité.

L'Europe offre des enseignements utiles pour la région SLGL, notamment à travers sa Politique des réseaux transeuropéens de transport, qui favorise l'intégration de réseaux multimodaux à l'échelle de corridors transfrontaliers, ainsi que par la mise en œuvre du concept de synchromodalité dans ses grands hubs logistiques, à l'image du port de Rotterdam aux Pays-Bas. Bien plus que de simples points de transbordement où s'échangent des cargaisons, ces hubs constituent de véritables écosystèmes multimodaux intégrés, structurés autour d'une collaboration étroite entre acteurs publics et privés et d'une gouvernance orientée vers l'innovation.

Corridors de commerce et de transport intégrés

Politique de réseaux transeuropéen de transport RTE-T

En Europe, la politique de réseau transeuropéen de transport (RTE-T) est un programme de développement des infrastructures mis en place par l'Union européenne et institué par le règlement (UE) 2024/1679²⁰. Elle vise à établir un réseau de transport cohérent et efficace à l'échelle du continent, donnant la priorité à l'intégration multimodale et à l'élimination des goulets d'étranglement transfrontaliers grâce à des plans de travail unifiés et à des coordinateurs dédiés.

Cette politique englobe les réseaux ferroviaires, routiers, fluviaux et maritimes à courte distance, reliant ports, aéroports, terminaux et centres urbains, avec pour objectifs de renforcer la mobilité des personnes et des marchandises, de soutenir le commerce et la croissance économique, et de favoriser la cohésion sociale et territoriale. En particulier, elle prévoit que :

- D'ici 2040, les lignes ferroviaires à passagers du réseau central et étendu permettent des trains à 160 km/h ou plus, tandis que le système européen de signalisation (ERTMS) soit déployé sur tout le réseau, remplaçant les systèmes nationaux afin d'améliorer

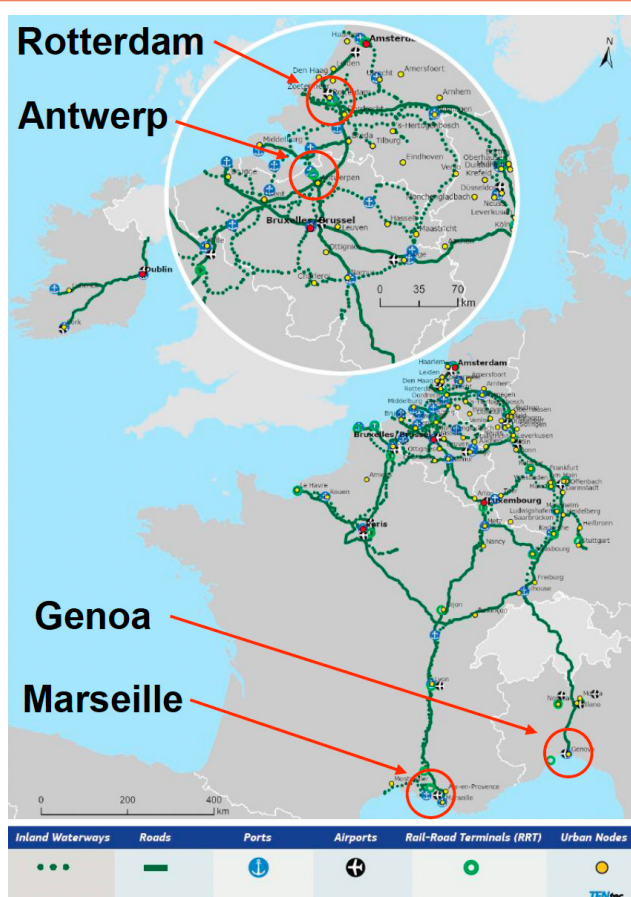
²⁰ Pour consulter le Règlement (UE) 2024/1679 du Parlement européen et du Conseil : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1679>

sécurité et efficacité.

- Les grands aéroports accueillant plus de 12 millions de passagers par an soient connectés au rail longue distance, offrant une alternative compétitive aux vols intérieurs. Les terminaux de fret verront leur nombre et leur capacité augmentés pour accueillir des trains de 740 mètres et favoriser le transport combiné durable.
- Toutes les grandes villes situées le long du réseau développent des plans de mobilité urbaine durable pour promouvoir les déplacements à faible ou zéro émission. Le réseau TEN-T servira également de base pour les points de recharge et de ravitaillement pour carburants alternatifs, comme l'hydrogène, en complément du règlement sur les infrastructures de carburants alternatifs (European Commission, 2024b).
- Neuf corridors de transport prioritaires ont été identifiés dans le cadre de cette

politique : Atlantique, Baltique-Adriatique, Méditerranéen, Mer du Nord-Baltique, Mer du Nord-Rhin-Méditerranée (développé dans la section suivante), Orient-Méditerranée orientale, Rhin-Alpes, Rhin-Danube, Scandinavie-Méditerranée. Chacun dispose d'un coordinateur qui facilite la mise en place d'un plan de travail unifié, garantissant que les investissements nationaux s'alignent sur les objectifs généraux et éliminent les goulets d'étranglement transfrontaliers. La Commission européenne supervise l'ensemble de la politique, fixe les orientations stratégiques et veille à l'alignement des projets sur les objectifs européens, relayée par les autorités nationales et régionales, ainsi que les opérateurs d'infrastructures pour la réalisation des projets (European Commission, 2024b).

Visuel 24 Corridor Mer du Nord – Rhin – Méditerranée



Corridor de transport Mer du Nord – Rhin – Méditerranée (NSRM)

Le corridor NSRM se déploie à travers huit pays (Irlande, Pays-Bas, Belgique, Luxembourg, France, l'Allemagne, Suisse et Italie), sur environ 12 150 kilomètres de voies ferrées, 5 000 kilomètres de routes et 5 030 kilomètres de voies navigables intérieures. Sa configuration s'articule autour de trois grands axes interconnectés, qui desservent à la fois des capitales, des pôles urbains majeurs et des régions industrielles stratégiques. L'axe oriental relie Amsterdam aux régions allemandes du Rhin, poursuit par la Suisse et rejoint le nord de l'Italie jusqu'au port de Gênes sur la Méditerranée. L'axe occidental part du Havre, traverse Paris, Dijon et Lyon, et atteint ensuite les ports méditerranéens de Marseille et Fos-sur-Mer. L'axe central, quant à lui, connecte Lille, Bruxelles et Luxembourg, avant de rejoindre les deux autres itinéraires à Strasbourg et Dijon. Ces axes forment un maillage dense, complété par la desserte de nombreux ports maritimes situés le long de l'Atlantique, de la Manche, de la mer du Nord et de la Méditerranée. Le NSRM intègre également

des infrastructures stratégiques, telles que le fleuve Rhin, voie navigable majeure en Europe, ainsi que des projets d'ampleur comme le tunnel de base du Saint-Gothard en Suisse ou le projet fluvial Seine–Escaut reliant la France et la Belgique (European Commission, 2024a).

Plusieurs projets structurants sont en cours, notamment la construction des canaux Seine–Nord Europe, Saône–Rhône et Saône–Moselle en France, ainsi qu'un canal de contournement de Bruges en Belgique. Sur le plan routier, et afin de réduire la pression dans les zones urbaines, les principaux projets concernent l'extension de l'A15 reliant Arnhem à la frontière allemande et la rocade A16–A13 autour de Rotterdam aux Pays-Bas, la finalisation du ring R1 à Anvers et le contournement autoroutier de Nancy en France (European Commission, 2024a)

L'orientation stratégique du corridor NSRM met l'accent sur les investissements dans les modes de transport durables, en particulier le ferroviaire et le fluvial, tout en intégrant des projets liés à la numérisation et à la décarbonation des infrastructures. Quelques réalisations qui ont amélioré la fluidité intermodale peuvent être mentionnées, telles que la mise en service en 2007 de la ligne ferroviaire de la Betuwe améliorant la desserte terrestre du port de Rotterdam, l'ouverture à la circulation en 2016 du tunnel de base du Saint-Gothard qui renforce la continuité entre l'Europe du Nord et l'Italie, la construction en 2022 de la nouvelle écluse maritime d'Ijmuiden qui garantit l'accès du port d'Amsterdam à la mer du Nord, ou encore l'aménagement du tronçon ferroviaire de Theemsweg destiné à fluidifier l'accès au port de Rotterdam (European Commission, 2024a)

Synchromodalité : le cas du Port de Rotterdam

« La synchromodalité consiste à coordonner la planification des opérations sur différents réseaux modaux afin de minimiser les retards aux points d'échange et, par conséquent, de faciliter

l'utilisation de plusieurs modes pour un même mouvement de marchandises. » (McKinnon, 2019). Elle vise à améliorer l'efficacité du transport de marchandises en synchronisant les différents modes grâce à un échange d'informations précis et en temps réel. Dans ce contexte, les espaces de données fédérés offrent une solution en créant des écosystèmes décentralisés permettant un partage sécurisé des données critiques (Pulido et al., 2025). Cependant, plusieurs défis limitent la mise en œuvre effective de la synchromodalité : le cloisonnement des données dû à un manque de confiance (Pulido et al., 2025), l'absence de standards communs, l'interopérabilité imparfaite des systèmes, la transmission incomplète des données en temps quasi réel et l'hétérogénéité des outils de planification (Song et al., 2023). Ces limites trouvent souvent leur origine dans une gouvernance des données insuffisante et un déficit de confiance entre organisations partenaires. Le succès de la synchromodalité repose donc sur l'instauration de règles claires de gouvernance et de conditions d'échange bien définies (Pulido et al., 2025).

En Europe, Rotterdam et d'Anvers constituent les ports les plus avancés dans le déploiement de la synchromodalité (Brümmerstedt et al., 2017). En particulier, l'expérience de Rotterdam illustre que ce concept ne se limite pas à la simple coexistence de plusieurs modes de transport, mais repose sur la flexibilité de leur usage, rendue possible par un partage efficace de l'information. Le système communautaire portuaire (PCS) *Portbase*²¹ fédère des compagnies maritimes, terminaux, opérateurs fluviaux et ferroviaires, transitaires et autorités, en standardisant les messages relatifs aux escales, créneaux et documents. Des services applicatifs dédiés comme la planification des connexions hinterland, optimisation des convois fluviaux, coordination des correspondances, visent à améliorer l'utilisation des capacités et à soutenir, lorsque pertinent, le report vers les modes massifiés (Port of Rotterdam,

21 Voir : <https://www.portbase.com/en/about-us/#:~:text=Portbase%20is%20the%20executive%20organisation,sustainably%20and%20safely%20as%20possible>

2019). L'objectif n'est pas seulement l'échange d'informations, mais la coordination opérationnelle au quotidien, afin de réduire les temps morts et d'augmenter la prévisibilité.

Le port de Rotterdam ne prospère donc pas seulement grâce à sa position géographique privilégiée en Europe, mais réussit aussi par sa capacité à aligner ses acteurs, modes de transport et flux d'information. Les principaux enseignements à retenir pour les ports de la région SLGL de l'exemple de Rotterdam sont les suivantes :

- **Une gouvernance portuaire unifiée avec une large implication des parties prenantes** : L'Autorité portuaire de Rotterdam coordonne la stratégie à long terme et les infrastructures multimodales, en travaillant étroitement avec les compagnies maritimes, les exploitants de terminaux, les opérateurs ferroviaires et fluviaux, les transporteurs routiers ainsi que les autorités locales afin d'aligner les investissements et les opérations.
- **Des opérations multimodales intégrées** : Le port intègre la connectivité terrestre à ses missions en développant des liaisons ferroviaires, fluviales et des pipelines vers l'arrière-pays. Il applique une stratégie de synchronicité, offrant aux chargeurs des choix flexibles entre différents modes de transport grâce à des systèmes numériques coordonnant barges, trains et camions en temps réel. Ce niveau d'intégration exige une forte confiance et un partage de données entre acteurs, mais il se traduit par une efficacité et une fiabilité accrues. Il suppose aussi une culture de coopération : armateurs, exploitants de terminaux et transporteurs terrestres travaillant ensemble plutôt qu'isolément. Par ailleurs, une étude récente sur les ports de Rotterdam et d'Anvers a montré que leur envergure combinée et leurs réseaux d'arrière-pays chevauchants créent des synergies; « l'ensemble est supérieur à la somme des parties » (Van der Lugt et al., 2025). Cela suggère que si les ports de la région collaborent au lieu de se concurrencer dans une logique de somme nulle, ils peuvent eux aussi générer des gains collectifs en part de

marché et en création de valeur.

- **Technologies et plateformes numériques** : Les hubs logistiques performants utilisent la technologie pour gagner en efficacité. Les systèmes portuaires partagés, les portails de données et l'automatisation réduisent les temps d'attente et la paperasserie. À Rotterdam, les innovations numériques ont permis de créer un « port intelligent » offrant un suivi en temps réel des conteneurs et une optimisation de l'accostage des navires. Ces outils numériques agissent comme un véritable système nerveux de la plateforme multimodale, permettant à tous les acteurs (transporteurs maritimes, chargeurs, douanes, entreprises de camionnage) de partager l'information et de coordonner leurs actions.

Conclusion

Une vision commune pour 2025 - Vers une plateforme intégrée de transport multimodal pour la région SLGL

Le corridor SLGL est à un tournant de son histoire économique. Forte d'un héritage industriel et d'une intégration binationale profonde, elle possède les atouts pour demeurer l'un des moteurs de la prospérité en Amérique du Nord et dans le monde. Toutefois, les défis du XXI^e siècle – révolution numérique, concurrence mondiale accrue, exigences environnementales – l'obligent à réinventer son modèle de croissance. Le fil conducteur de cette réinvention doit être la productivité, entendue au sens large comme la capacité à créer plus de valeur de façon efficiente, soutenable et innovante.

Au cours de ce rapport, nous avons commencé par rappeler le contexte actuel du corridor SLGL : une économie d'échelle mondiale, tirée par un commerce transfrontalier intense, mais confrontée à des tensions géopolitiques et à des enjeux structurels de transport. Dans ce contexte, améliorer la productivité n'est pas une option mais une nécessité pour maintenir le niveau de vie et le poids économique de la région. Nous avons ensuite défini ce qu'est la productivité, en distinguant les approches classiques (mise en évidence du rôle du capital, du travail, du progrès technique exogène) et contemporaines (rôle endogène de l'innovation, du capital humain, des infrastructures, institutions, etc.). Ces concepts forment la

base théorique sur laquelle bâtir l'action. La productivité ne se résume pas à une formule, mais est un phénomène multidimensionnel qui implique l'optimisation de tous les intrants et l'amélioration de l'ensemble du système productif. Une idée forte qui en ressort est la notion de hiérarchie des leviers : on ne peut récolter les fruits de l'IA et de la haute technologie que si l'on a d'abord un socle solide d'infrastructures et de compétences : infrastructures robustes et interopérables, capital humain qualifié, culture de l'innovation, et enfin déploiement des outils d'IA. La transformation numérique en cours a été présentée comme un changement de fonction de production, comparable aux grandes ruptures historiques. L'IA, la donnée, l'automatisation redéfinissent la manière de produire et offrent un potentiel d'efficacité inédit, mais encore faut-il s'organiser pour l'exploiter pleinement.

Par la suite, notre analyse s'est articulée autour de trois piliers stratégiques interdépendants identifiés comme leviers pour augmenter la compétitivité : la productivité, les infrastructures physiques et numériques, et la résilience et la durabilité. La productivité implique l'optimisation des chaînes logistiques, l'intégration technologique et la fluidité des échanges commerciaux. La modernisation des infrastructures physiques et numériques nécessite des investissements soutenus afin de prévenir les ruptures de service et de s'adapter aux aléas climatiques et géopolitiques. Enfin, la durabilité repose sur un meilleur partage des données pour éviter les inefficacités, sur la formation continue de la main-d'œuvre à de nouvelles technologies et sur l'implication des communautés locales et autochtones afin de maximiser les retombées positives des chaînes d'approvisionnement, et ce afin que les retombées positives des chaînes

d'approvisionnement profitent au plus grand nombre.

Dès lors, plusieurs priorités stratégiques pour l'attractivité, la compétitivité et la productivité du corridor SLGL peuvent être tirées de l'analyse et des constats faits dans le présent rapport :

1/ Moderniser les infrastructures physiques et numériques pour un corridor logistique performant

- Physiques : investir dans la modernisation des ports (capacité, automatisation), améliorer et électrifier les corridors ferroviaires (ponts, tunnels et gares de triage), renforcer le réseau routier transfrontalier et ponts internationaux pour éliminer les goulots logistiques et renforcer la résilience. Aussi, un port n'a de valeur que s'il est bien relié à son hinterland. La plateforme doit donc inclure l'amélioration des accès routiers et ferroviaires. Cela peut signifier la construction ou l'optimisation d'échangeurs autoroutiers proches des terminaux pour fluidifier le trafic poids lourds, ou encore le prolongement de raccordements ferroviaires jusque dans les terminaux portuaires.
- Numériques : Développer les infrastructures numériques pour optimiser la circulation des biens et services, développer une plateforme de données logistiques intégrée (douanes, flux ferroviaires et maritimes, disponibilité des entrepôts). Un jumeau numérique du corridor permettrait une gestion en temps réel par les acteurs publics et privés.

2/ Accélérer l'adoption du numérique et de l'IA dans les secteurs privé et public

- Favoriser la transformation numérique dans les entreprises incluant les PME grâce à des incitations, des vitrines technologiques et des ressources partagées.
- Exploiter l'IA dans le secteur public (gestion du trafic, maintenance prédictive, services numériques) pour accroître la productivité globale.

3/ Développer le capital humain et la recherche

- Miser sur l'éducation en STEM, soutenir la formation continue et la requalification des

travailleurs impactés par l'automatisation, notamment dans l'industrie et la logistique.

- Soutenir la recherche appliquée aux enjeux régionaux (mobilité durable, gestion de l'eau, IA manufacturière), via des partenariats universitaires et industriels transfrontaliers.

4/ Renforcer l'innovation et l'entrepreneuriat régional

- Développer des incubateurs, accélérateurs et fonds conjoints pour soutenir les start-ups et PME innovantes.
- Attirer des investissements étrangers stratégiques dans des filières clés (IA, semi-conducteurs, mobilité propre) en mettant en avant le potentiel intégré de ce marché binational.

5/ Renforcer la gouvernance et la coopération transfrontalière

- Coordonner les politiques à travers une gouvernance macro-régionale renforcée et un agenda commun
- Harmoniser les réglementations et simplifier les procédures douanières et administratives.
- Associer entreprises, collectivités et citoyens pour garantir acceptabilité sociale et retombées partagées.

6/ Accélérer la transition écologique et la décarbonation des transports et des industries

- Accompagner les ports vers des modèles durables et décarboner le transport (véhicules électriques, fret ferroviaire, carburants alternatifs pour le maritime)
- Améliorer la collecte et le partage des données sur les émissions de GES et l'efficacité énergétique des navires, afin de cibler plus précisément les leviers de réduction et d'évaluer l'impact réel des mesures adoptées
- Renforcer la coopération binationale avec les États-Unis pour réduire la fragmentation réglementaire et faciliter les échanges de bonnes pratiques.
- Impliquer les communautés riveraines et des travailleurs du secteur maritime dans la planification et la gouvernance des projets de décarbonation s'avère essentielle pour

assurer leur acceptation et leur succès à long terme.

Le renforcement de la compétitivité du corridor SLGL repose avant tout sur une coordination optimale de ces acteurs. Il est essentiel d'identifier les piliers les plus prometteurs pour chaque partie prenante et de créer des opportunités de collaboration dépassant les silos institutionnels et sectoriels. Une approche coordonnée au niveau canadien permettrait de mieux arrimer des intérêts divergents et de favoriser une coopération stratégique, en maximisant les synergies entre les différents partenaires et en soutenant une dynamique régionale intégrée et compétitive.

Le corridor SLGL possède toutes les cartes en main pour inaugurer une nouvelle phase de croissance fondée sur la productivité et devenir un modèle réel de compétitivité inclusive pour les régions du XXI^{ème} siècle. Son destin économique ne sera pas la répétition du passé industriel, mais la construction d'un corridor intelligent et intégré, où infrastructures, usines et centres logistiques fonctionnent en synergie et à leur plein potentiel. Atteindre cet objectif demandera de la vision, de la coordination et des investissements soutenus, mais les bénéfices en termes de prospérité partagée et durable justifient amplement ces efforts.

Bibliographie

- Abu-Aisha, T., Audy, J.-F., & Ouhimmou, M. (2024a). Preliminary investigation of the sea-rail intermodal system's efficiency using a simulation approach: Case of the Port of Trois-Rivières. *Journal of Shipping and Trade*, 9(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s41072-024-00176-x>
- Abu-Aisha, T., Audy, J.-F., & Ouhimmou, M. (2024b). Toward an efficient sea-rail intermodal transportation system: A systematic literature review. *Journal of Shipping and Trade*, 9(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s41072-024-00182-z>
- Adam, V., Comtois, C., & Slack, B. (2021). *Innovations et transformation de la main-d'œuvre maritime et portuaire: Occasions et défis d'adaptation au Québec* (No. CIRRELT-2021-50; p. 86). CIRRELT. https://www.csmoim.qc.ca/app/webroot/public_upload/files/documents/CIRRELT-2021-50.pdf
- Administration portuaire du Saguenay. (2024, June 4). *Une ère de chantiers sans précédent au Port de Saguenay*. Société de développement économique du Saint-Laurent. <https://st-laurent.org/une-ere-de-chantiers-sans-precedent-au-port-de-saguenay/>
- Agence des services frontaliers du Canada. (2023, January 20). *Mémoire D3-5-1—Exigences relatives à la transmission des données préalable au chargement à l'arrivée et à la déclaration dans le mode maritime*. Gouvernement du Canada. <https://www.cbsa-asfc.gc.ca/publications/dm-md/d3/d3-5-1-fra.html>
- Agence des services frontaliers du Canada. (2025). *Navires commerciaux (NAV/C)*. Gouvernement Du Canada. <https://www.cbsa-asfc.gc.ca/do-rb/services/cvess-navc-fra.html>
- American Great Lakes Ports Association. (2023). *2023 Position paper—Eliminate the corps of engineers' \$1.26 billion Great Lakes navigation maintenance backlog*. <https://www.greatlakesports.org/wp-content/uploads/2023/04/AGLPA-2023-USACE-Backlog.pdf?utm>
- American Great Lakes Ports Association. (2025). *Equitable Distribution of Port Infrastructure Grants*. American Great Lakes Ports Association (AGLPA). <https://www.greatlakesports.org/policy-positions/equitable-distribution-of-port-infrastructure-grants/>
- Aschauer, D. A. (1990). Why is infrastructure. *Industry Week*, 21–50.
- Association de l'aluminium du Canada. (2025). *Plus de 100 ans d'histoire au Canada*. aluminium.ca. <https://aluminium.ca/lindustrie/plus-de-100-ans-dhistoire/>
- Atiodjia Njamen, F. (2025). *Analyse des facteurs de risque et de la réglementation liés à l'utilisation d'un mélange de biodiesel et d'e-methanol comme carburant maritime sur le fleuve Saint-Laurent* [Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, génie industriel (publication à venir)]. Polytechnique Montréal.
- Bakhsh, W., Fiori, C., & de Luca, S. (2024). *Literature Review on the Smart Port: Evolution, Technological Development, Performance Indicators of Smart Ports*. 340–357.
- Bartolai, A. M., He, L., Hurst, A. E., Mortsch, L., Paehlke, R., & Scavia, D. (2015). Climate change as a driver of change in the Great Lakes St. Lawrence River Basin. *The Great Lakes Futures Project: Using Scenario Analysis to Develop a Sustainable Socio-Ecologic Vision for the Great Lakes-St. Lawrence River Basin*, 41, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.11.012>
- Boyer, C., Chaumont, D., Chartier, I., & Roy, A. G. (2010). Impact of climate change on the hydrology of St. Lawrence tributaries. *Journal of Hydrology*, 384(1), 65–83. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.011>
- Brancaccio, G., Kalouptsidi, M., & Papageorgiou, T. (2024). *Investment in Infrastructure and Trade: The Case of Ports* (Working Paper No. 32503). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w32503>
- Brümmerstedt, K., Meyer-Van Beek, H., & Münsterberg, T. (2017). *Comparative analysis of synchromodality in major European seaports*. Hamburg International Conference of Logistics. <https://tore.tuhh.de/handle/11420/1480>
- Bureau du vérificateur général du Canada. (2015). *Rapports du vérificateur général du Canada—Rapport 2: Le contrôle des exportations à la frontière*. Gouvernement du Canada. https://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl_oag_201602_02_f_41059.html
- Bureau of Labor Statistics. (2025, May 29). *Productivity by State—2024*. Bureau of Labor Statistics. <https://www.bls.gov/news.release/prin4.nr0.htm>
- Cahyono, R. T., Kenaka, S. P., & Jayawardhana, B. (2022). Simultaneous Allocation and Scheduling of Quay Cranes, Yard Cranes, and Trucks in Dynamical Integrated Container Terminal Operations. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(7), 8564–8578. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3083598>
- Campbell, M., Cooper, M. J., Friedman, K., & Anderson, W. P. (2015). The economy as a driver of change in the Great Lakes–St. Lawrence River basin. *The Great Lakes Futures Project: Using Scenario Analysis to Develop a Sustainable Socio-Ecologic Vision for the Great Lakes-St. Lawrence River Basin*, 41, 69–83. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.11.016>
- Cayrat, C., Sigouin-Lebel, A., & Poirier St-Pierre, G. (2021a). *Profil de la main-d'œuvre en intelligence artificielle, science des données et mégadonnées au Québec*. (p. 113). TECHNOCCompétences. https://www.technocompetences.qc.ca/wp-content/uploads/2021/05/TC_Profil-Main-Doeuvre_Page_18052021.pdf
- Cayrat, C., Sigouin-Lebel, A., & Poirier St-Pierre, G. (2021b). *Profil de la main-d'œuvre en intelligence artificielle, science des données et mégadonnées au Québec*. (p. 113). TECHNOCCompétences. https://www.technocompetences.qc.ca/wp-content/uploads/2021/05/TC_Profil-Main-Doeuvre_Page_18052021.pdf

- Chamber of Marine Commerce. (2025). *2024 Great Lakes – St. Lawrence Seaway Waterway Tonnage Activity*. Chamber of Marine Commerce. <https://marinedelivers.com/wp-content/uploads/2025/07/2024-Tonnage-Report-FINAL.pdf>
- City of Chicago. (2023, January 4). *Chicago awarded \$144 million through the new bridge investment program to rehabilitate Illinois International Port Calumet river bridges*. https://cdn.prod.website-files.com/625ea1f59be5ef9db2ea4449/63b751a56f6d0174783ce355_Chicago_Awarded.pdf
- Comer, B., & Sathiamoorthy, B. (2022). How updating IMO regulations can promote lower greenhouse gas emissions from ships. *International Council on Clean Transportation*.
- Comité permanent des transports, de l'infrastructure et des collectivités. (2023). *L'expansion des infrastructures portuaires au Canada* (No. 44e législature, 1re session). Chambre des Communes du Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2023/parl/x27-1/XC27-1-1-441-14-fra.pdf
- Comité sénatorial permanent des transports et des communications. (2024). *Urgence: Renforcer la résilience climatique des infrastructures essentielles du Canada*. Sénat du Canada. https://sencanada.ca/content/sen/committee/441/TRCM/Reports/TRCM_Climate-Infrastructure-Report_F.pdf
- Commission mixte internationale. (2023). *Le rôle de la CMI*. Commission mixte internationale. <https://ijc.org/fr/qui/role>
- Comtois, C., Cloutier, J., Novikov, S., Renaud-Moyneur, S., & Slack, B. (2024). *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*. Bureau de Montreal, Université de Montreal.
- Comtois, C., & Slack, B. (2016). *Étude économique régionale des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques sur le fleuve Saint-Laurent: Le transport maritime* (p. 64). CIRRELT, Université de Montréal. <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-07/proj-201419-ge-desjarlais-rapportsectoriel03.pdf>
- Conexus Indiana. (2025a). *Conexus 2031: Empowering Bold Industry Transformation*. Conexus Communications. <https://www.conexusindiana.com/2025/02/conexus-launches-strategic-plan-to-grow-indianas-advanced-manufacturing-and-logistics-industries/>
- Conexus Indiana. (2025b). *Future Ready: Advancing Indiana's Productivity Through Critical Manufacturing Subsectors*. Conexus Communications. <https://www.conexusindiana.com/2025/08/future-ready-advancing-indianas-productivity-through-critical-manufacturing-subsectors/>
- Conexus Indiana, L. (2023). *2023 Benchmarking Indiana's Advanced Manufacturing and Logistics Industries Report: Identifying Opportunities for Workforce Development and Transformation* (p. 20). <https://www.conexusindiana.com/wp-content/uploads/2023/08/2023-Benchmarking-Indianas-Advanced-Manufacturing-and-Logistics-Industries-Report-1.pdf>
- Connolly, A. (2020, April 7). *Coronavirus: Ford says millions of medical masks from 3M blocked at border, 500K released so far* | Globalnews.ca. Global News. <https://globalnews.ca/news/6783216/justin-trudeau-us-blocking-medical-supplies-coronavirus-covid-19/>
- Council of the Great Lakes region. (2017, August 22). *The Great Lakes Economy: The Growth Engine of North America*. *Council of the Great Lakes Region*. <https://councilgreatlakesregion.org/the-great-lakes-economy-the-growth-engine-of-north-america/>
- Council of the Great Lakes Region. (2025). *The Great Lakes Mega-Region's Vital Signs*. Council of the Great Lakes Region. <https://councilgreatlakesregion.org/>
- CPCS. (2025). *Port Infrastructure Needs Assessment* (No. CPCS Ref: 24114). CPCS. https://acpa-aapc.ca/wp-content/uploads/2025/01/STUDY_Port-Infrastructure-Needs-Assessment_EN.pdf
- De Marcellis-Warin, N. (2022). Point de vue. Rehausser le niveau de connaissances et de compétences en IA : des conditions de succès pour son adoption et pour combler les besoins de talents. In *Le Québec économique 10. Compétences et transformation du marché du travail* (CIRANO, Vol. 10, pp. 301–320). <https://doi.org/10.54932/CVAD7132>
- De Marcellis-Warin, N., Trépanier, M., & Warin, T. (2024). *Measuring Competitiveness in the Great Lakes-St. Lawrence Region Using a Digital Twin: A Geospatial Data Science Approach* (Nos. 2024PR-04). CIRANO-GVCdtLab. <https://doi.org/10.54932/dkbc6587>
- Deslaunier, J., Gagné, R., & Paré, J. (2025). *La productivité: La clé pour un marché intérieur fort et résilient* (Centre Sur La Productivité et La Prospérité). HEC Montréal. <http://cpp.hec.ca/wp-content/uploads/2025/05/PP-2025-02.pdf>
- DiCapua, A. (2025, March 27). Which American Cities Are the Most Export-Dependent on Canada? [Canadian Chamber of Commerce]. *Business Data Lab*. <https://businessdatalab.ca/publications/which-american-cities-are-the-most-export-dependent-on-canada/>
- Dudoit, A. (2023a). *Les espaces européens communs de données: Une initiative structurante nécessaire et adaptable au Canada* (Nos. 2023RB-05). CIRANO-GVCdtLab. <https://doi.org/10.54932/RVHT5065>
- Dudoit, A. (2023b). *L'urgence du premier lien?: La chaîne d'approvisionnement du Canada au point de rupture, un enjeu de sécurité nationale*. CIRANO.
- Dudoit, A., Panot, M., & Warin, T. (2021). *Towards a multi-stakeholder Intermodal Trade-Transportation Data-Sharing and Knowledge Exchange Network* (Nos. 2021RP-28). CIRANO. <https://doi.org/10.54932/MVNE7282>
- Durlik, I., Miller, T., Kostecka, E., & Tuński, T. (2024). Artificial Intelligence in Maritime Transportation: A Comprehensive Review of Safety and Risk Management Applications. *Applied Sciences*, 14(18: 8420). <https://doi.org/10.3390/app14188420>
- Eom, J.-O., Yoon, J.-H., Yeon, J.-H., & Kim, S.-W. (2023). Port digital twin development for decarbonization: A case study using the Pusan Newport International Terminal. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(9), 1777.

- European Commission. (2024a). *North Sea – Rhine – Mediterranean corridor*. European Commission - Mobility and Transport. https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t/north-sea-rhine-mediterranean-corridor_en
- European Commission. (2024b). *Trans-European Transport Network (TEN-T)*. European Commission - Mobility and Transport. https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t_en
- Federal Register. (2025). Federal Register. <https://www.federalregister.gov/>
- Feng, X., He, Y., & Kim, K.-H. (2022). Space planning considering congestion in container terminal yards. *Transportation Research Part B: Methodological*, 158, 52–77. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2022.02.012>
- Feng, Y., el Moctar, O., & Jiang, C. (2025). Hydrodynamic optimization of containership design to minimize wave-making and wave-added resistance using a weak-scatterer approach. *Physics of Fluids*, 18(4:897), 027146. <https://doi.org/10.3390/en18040897>
- Gattuso, J., Armstrong, R., Eng, H., Pohlkamp, G., Yako, L., Bruch, K., McMillan, S., & Roche, S. (2022). Action. Collaboration. Transformation. *Rapport final du Groupe de travail national sur la chaîne d’approvisionnement 2022*. Gouvernement du Canada. <https://tc.canada.ca/fr/chaîne-appvisionnement-transport-canada/action-collaboration-transformation>
- Gautié, J., & Perez, C. (2024, September 12). *Le Taylorisme à l’âge du numérique. L’exemple des entrepôts logistiques*. SciencePo - Laboratoire interdisciplinaire d’évaluation des politiques publiques. <https://www.sciencespo.fr/liepp/fr/actualites/jerome-gautie-coralie-perez-le-taylorisme-l-age-du-numerique-l-exemple-des-entrepots-logisti/>
- Gouvernement du Québec. (2018). *Transporter le Québec vers la modernité: Politique de mobilité durable - 2030* (No. ISBN 978-2-550-81101-5; p. 54). Ministère des transports, de la mobilité durable et de l’électrification des transports. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/transports/ministere-des-transports/publications-amd/Plan_de_mobilite_durable/PO_politique-mobilite-durable_MTMDDET.pdf
- Great Lakes Restoration. (2025). *Funding*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.glri.us/funding>
- Grievies, M. W. (2023). Digital twins: Past, present, and future. In *The digital twin* (pp. 97–121). Springer.
- GVCdtLab. (2025a, June 3). Canada’s intermodal chokepoints need attention. *GVCdtLab*. <https://gvcdtlab.com/fr/dv-34/>
- GVCdtLab. (2025b, June 10). The domestic core of the Great Lakes ports. *GVCdtLab*. <https://gvcdtlab.com/fr/dv-35/>
- GVCdtLab. (2025c, June 17). Commodity flows at the Great Lakes ports. *GVCdtLab*. <https://gvcdtlab.com/fr/dv-36/>
- GVCdtLab. (2025d, July 15). Thinning ice cover is changing Great Lakes shipping. *GVCdtLab*. <https://gvcdtlab.com/fr/dv-39/>
- GVCdtLab. (2025e, July 22). Icing on the lake: The case for a longer shipping season. *GVCdtLab*. <https://gvcdtlab.com/fr/dv-40/>
- GVCdtLab. (2025f, August 12). Improving Canada’s trade clearance processes. *GVCdtLab*. <https://gvcdtlab.com/fr/dv-41/>
- Hamilton Oshawa Port Authority. (2024, January 16). SucroCan Sourcing and HOPA Ports announce plan to build Canada’s largest sugar refinery. *HOPA Ports*. <https://www.hopaports.ca/sucrocan-sourcing-and-hopa-ports-announce-plan-to-build-canadas-largest-sugar-refinery/>
- Hu, H., Chen, X., Wang, T., & Zhang, Y. (2019). A three-stage decomposition method for the joint vehicle dispatching and storage allocation problem in automated container terminals. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 90–101. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.023>
- Hulten, C. R. (2001). Total factor productivity: A short biography. In *New developments in productivity analysis* (pp. 1–54). University of Chicago Press.
- Huynh, N., Uddin, M., & Minh, C. C. (2017). *Data Analytics for Intermodal Freight Transportation Applications* (pp. 241–262). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809715-1.00010-9>
- ICI.Radio-Canada.ca, Z. É.-. (2025, February 14). *Le port de Bécancour est prêt à exporter de l’aluminium vers l’Europe*. Radio-Canada; Radio-Canada.ca. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2140669/port-becancour-aluminerie-tarifs-trump>
- Innovation maritime. (2022). *L’électrification des quais au Québec*. Innovation maritime. <https://www.innovationmaritime.ca/wp-content/uploads/sites/288/2024/07/Electrification-des-quais-au-Quebec-MeRLIN-IMAR.pdf>
- Innovation maritime. (2025). *État du transport maritime au Québec en 2024*. IMAR. <https://allianceverte.org/s-informer/nouvelles/etat-du-transport-maritime-au-quebec-en-2024/>
- International Maritime Organisation. (2020). *Fourth Greenhouse Gas Study 2020*. <https://www.imo.org/en/ourwork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>
- International Transport Forum. (2021). *Container Port Automation: Impacts and Implications* (No. 96; International Transport Forum Policy Papers). OECD Publishing. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/container-port-automation.pdf>
- Ivy Tech Community College, & TEConomy Partners. (2025). *Indiana’s workforce transformation: Understanding the Need for Upskilling and Reskilling in a Changing Economy*. <https://www.ivytech.edu/media/gl0p4xgx/white-paper-indiana-s-workforce-transformation.pdf>
- Jin, J. G., Lee, D.-H., & Cao, J. X. (2016). *Storage Yard Management in Maritime Container Terminals*. *Transportation Science*, 50, 1300–1313. <https://doi.org/10.1287/trsc.2014.0527>
- Joung, T.-H., Kang, S.-G., Lee, J.-K., & Ahn, J. (2020). The IMO initial strategy for reducing Greenhouse Gas (GHG) emissions, and its follow-

- up actions towards 2050. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 4(1), 1–7.
- Kizilay, D., Eliyi, D. T., & Hentenryck, P. V. (2017). *Constraint and Mathematical Programming Models for Integrated Port Container Terminal Operations* (No. arXiv:1712.05302). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1712.05302>
- Klar, R., Fredriksson, A., & Angelakis, V. (2023). Digital Twins for Ports: Derived From Smart City and Supply Chain Twinning Experience. *IEEE Access*, 11, 71777–71799. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3295495>
- Klier, T. H., Mattoon, R., & Testa, W. (2005, March). *Challenges and Prospects for Midwest Manufacturing*. Federal Reserve Bank of Chicago. <https://www.chicagofed.org/publications/chicago-fed-letter/2005/march-212b>
- Kolodziejski, M., & Sosnowski, M. (2025). Review of Wind-Assisted Propulsion Systems in Maritime Transport. *Energies*, 18(4)(897). <https://doi.org/10.3390/en18040897>
- Kuehne Nagel, & Lloyd's. (2025, May 16). 'Robots don't pay taxes': Automation will force port worker evolution. <https://mykn.kuehne-nagel.com/news/article/robots-dont-pay-taxes-automation-will-force-p-16-May-2025>
- Landry, J. (2024). *Plan de décarbonation de l'industrie maritime du Québec* (No. 3272; p. 78). Société de développement économique du Saint-Laurent (Sodes). <https://st-laurent.org/wp-content/uploads/2024/12/Rapport-final-Plan-de-decarbonation.pdf>
- Larivée, C., Desjarlais, C., Roy, R., & Audet, N. (2016). *Étude économique régionale des impacts potentiels des bas niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent dus aux changements climatiques et des options d'adaptation* (p. 49). Ouranos. <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-07/proj-201419-ge-desjarlais-rapportsynthese.pdf>
- Le Mouel, M., Matte, P., Hammouti, A., & Van Bang, D. P. (2025). Investigation of 3D circulation and secondary flows in the St. Lawrence fluvial estuary at a tidal junction. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 313, 109058.
- Li, C., Ng, M. K., Tang, Y., & Fung, T. (2022). From a 'world factory' to China's Bay Area: A review of the outline of the development plan for the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Planning Theory & Practice*, 23(2), 310–314.
- MacKay, M., & Seglenieks, F. (2013). On the simulation of Laurentian Great Lakes water levels under projections of global climate change. *Climatic Change*, 117(1), 55–67. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0560-z>
- Mailhot, E., Music, B., Nadeau, D. F., Frigon, A., & Turcotte, R. (2019). Assessment of the Laurentian Great Lakes' hydrological conditions in a changing climate. *Climatic Change*, 157(2), 243–259. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02530-6>
- Majoral, G., Reyes, A., & Saurí, S. (2024). Lessons from reality on automated container terminals: What can be expected from future technological developments? *Transportation Research Record*, 2678(2), 401–415.
- Marchand, S. (2024, January 1). *Savoirs et savoir-faire des pilotes du Saint-Laurent*. | EBSCOhost. <https://doi.org/10.7202/1114165ar>
- Martin Associates. (2023a). *Economic Impacts of Maritime Shipping in the Great Lakes-St. Lawrence Region*. Martin Associates. https://greatlakes-seaway.com/wp-content/uploads/2023/07/eeco_impact_full_2023_en.pdf
- Martin Associates. (2023b). *Infrastructure Investment Survey of the Great Lakes and St. Lawrence Seaway System*. Martin Associates. https://greatlakes-seaway.com/wp-content/uploads/2019/10/infra_invest.pdf
- Martin, J., & Mayneris, F. (2020). *La dépendance du Canada à l'égard des États-Unis pour ses importations est pire que vous ne le pensez* (Nos. 2020PE-35). CIRANO. <https://cirano.qc.ca/fr/sommaires/2020PE-35>
- Matte, P., Secretan, Y., & Morin, J. (2017). Hydrodynamic modeling of the St. Lawrence fluvial estuary. I: Model setup, calibration, and validation. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 143(5), 04017010.
- McKinnon, A. (2019, May 22). *Dossier Transition énergétique - Le transport de marchandises: Une réduction des émissions de carbone est-elle possible ?* Gestion HEC Montréal. <https://www.revuegestion.ca/le-transport-de-marchandises-une-reduction-des-emissions-de-carbone-est-elle-possible>
- Millerd, F. (1996). The impact of water level changes on commercial navigation in the Great Lakes and St. Lawrence River. *Canadian Journal of Regional Science*, 19(1), 119–130.
- Millerd, F. (2005). The Economic Impact of Climate Change on Canadian Commercial Navigation on the Great Lake. *Canadian Water Resources Journal*, 30(4), 269–280. <https://doi.org/10.4296/cwrj3004269>
- Millerd, F. (2006). Possible Locations for Adaptation to Climate Change by Canadian Commercial Navigation on the Great Lakes. *2006 IEEE EIC Climate Change Conference*, 1–10. <https://doi.org/10.1109/EICCCC.2006.277252>
- Moosavi, J., Fathollahi-Fard, A. M., & Dulebenets, M. A. (2022). Supply chain disruption during the COVID-19 pandemic: Recognizing potential disruption management strategies. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 75, 102983. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102983>
- Morandi, D., Doussin, C., & Young, G. (Jerry). (2021). *État du transport maritime au Québec*. Innovation Maritime.
- Mortsch, L., Hengeveld, H., Lister, M., Wenger, L., Lofgren, B., Quinn, F., & Slivitzky, M. (2000). Climate Change Impacts on the Hydrology of the Great Lakes-St. Lawrence System. *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 25(2), 153–179. <https://doi.org/10.4296/cwrj2502153>
- National Research Council Canada. (2025). *National Research Council Canada Departmental Plan 2025–26* (Nos. NR1-9E-PDF). National Research Council Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2025/cnrc-nrc/NR1-9-2025-eng.pdf
- NCFRP. (2012). *Multimodal Freight Transportation within the Great Lakes—St Lawrence Basin* (NCFRP-35 No. 17; p. 95). National Cooperative

- Freight Research Program. <https://nap.nationalacademies.org/catalog/22742/multimodal-freight-transportation-within-the-great-lakes-saint-lawrence-basin>
- New York District. (2024, December 23). *Fact sheet—New York and New Jersey Harbor Deepening and Channel Improvements Preconstruction, Engineering and Design*. US Army Corps of Engineers. <https://www.nan.usace.army.mil/Media/Fact-Sheets/Fact-Sheet-Article-View/Article/2275281/fact-sheet-new-york-and-new-jersey-harbor-deepening-and-channel-improvements-pr/>
- O'Brien, C. D., Lefebvre, L., Aubry-Morin, J., & Fadaie, K. (2016). The Development Of A Draught Information System For The St. Lawrence Seaway. *Geomatica*, 70(2), 137–142. <https://doi.org/10.5623/cig2016-207>
- OECD - ITF. (2021). *Container Port Automation: Impacts and Implications* (International Transport Forum Policy Papers No. 96; Case-Specific Policy Analysis Reports, p. 47). OECD. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/container-port-automation.pdf>
- Ogawa, A., & Tsuchiya, T. (2024). China's Smart Port Initiative in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area. *MPRA*, 121687, 20.
- Ohio Department of Development. (2023). *Ohio Export Report*. US Census Bureau. https://dam.assets.ohio.gov/image/upload/development.ohio.gov/research/economy/Ohio_Export_Report.pdf
- Olson, K. R., & Suski, C. D. (2020). St. Lawrence Seaway: Navigation on Gulf of Saint Lawrence Estuary and the St. Lawrence River. *Journal of Water Resource and Protection*, 12(8), Article 8. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2020.128041>
- Port de Montréal. (2025a). *Expansion du Port de Montréal à Contrecoeur*. Administration Portuaire de Montréal. <https://www.port-montreal.com/fr/le-port-de-montreal/projets/terminal-contrecoeur>
- Port de Montréal. (2025b, May 7). *Bilan des activités 2024: Au cœur d'une économie résiliente*. Port de Montréal. <https://www.port-montreal.com/fr/le-port-de-montreal/nouvelles-et-evenements/nouvelles/communiqués-de-presse/reunion-annuelle-2025-fr>
- Port de Trois-Rivières. (2025, February 24). Le gouvernement du Canada investit 87,1 M\$ dans le projet des terminaux 16 et 17. *Port de Trois-Rivières*. <https://porttr.com/le-gouvernement-du-canada-investit-87-1-m-dans-le-projet-des-terminaux-16-et-17/>
- Port of Rotterdam. (2019). *Improving the port of Rotterdam interland accesibility and transport supply chains*. https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2019/07/Port-of-Rotterdam-Improving-the-port-of-Rotterdam-inland-accessibility-and-transport-supply-chains-2019_07.pdf
- Pulido, J. M., Cardenas, I., Carlan, V., Bergmans, T., & Vanelslander, T. (2025). Contributing to synchromodality through the implementation of a federated data space in Inland Waterway Transport. *Transportation Engineering*, 21, 100351. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2025.100351>
- Raji, I. O., Shevtshenko, E., Rossi, T., & Strozzi, F. (2021). Industry 4.0 technologies as enablers of lean and agile supply chain strategies: An exploratory investigation. *The International Journal of Logistics Management*, 32(4), 1150–1189.
- Rao, A. R., Wang, H., & Gupta, C. (2024, January 25). *Predictive Analysis for Optimizing Port Operations*. arXiv.Org. <https://arxiv.org/abs/2401.14498v2>
- Ressources naturelles. (2024, June 10). *Le gouvernement du Canada publie une mise à jour de la liste des minéraux critiques* [Communiqués de presse]. Gouvernement du Canada. <https://www.canada.ca/fr/ressources-naturelles-canada/nouvelles/2024/06/le-gouvernement-du-canada-publie-une-mise-a-jour-de-la-liste-des-mineraux-critiques.html>
- Ressources naturelles Canada. (2025, February 24). *Faits sur l'aluminium*. Gouvernement du Canada. <https://ressources-naturelles.canada.ca/mineraux-exploitation-miniére/donnees-statistiques-analyses-exploitation-miniére/faits-mineraux-métaux/faits-l-aluminium>
- Said, G. A. E.-N. A., Mahmoud, A. M., & El-Horbaty, E.-S. M. (2014). *Simulation and optimization of container terminal operations: A case study* (No. arXiv:1407.6257). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1407.6257>
- Saini, M., & Lehrer, T. (2024). Assessing the factors impacting shipping container dwell time: A multi-port optimization study. *Business: Theory and Practice*, 25(1), 51–60. <https://doi.org/10.3846/btp.2024.19205>
- Saxon, S., & Stone, M. (2017). *Container shipping: The next 50 years* (Travel, Transport & Logistics, p. 36). McKinsey.
- Scalabrini, P. (2022). *Analyse des embâcles de glace sur le fleuve Saint-Laurent lors de l'hiver 2018-2019 et développement d'un outil d'évaluation des risques d'embâcles*.
- Scherer, S., & Martell, A. (2020, April 3). *Canada blasts U.S. block on 3M exports of masks as coronavirus cases set to soar* | Reuters. The Guardian. <https://www.reuters.com/article/world/us/canada-blasts-us-block-on-3m-exports-of-masks-as-coronavirus-cases-set-to-soar-idUSKBN21L2DC/>
- Shackman, J., & Ward, M. (2023). The interrelationship between coastal, Great Lakes, Inland, and deep-sea freight rates: A longitudinal approach. *Maritime Transport Research*, 5, 100097. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2023.100097>
- Shipping federation of Canada. (2024, February 5). *Comments on supply chain regulatory review—Submitted to the Treasury Board of Canada*. <https://shipfed.ca/wp-content/uploads/Briefs-Submissions/2024-02-05-Supply-Chain-Regulatory-Review.pdf>
- Slack, B., & Comtois, C. (2022). *Contemporary Challenges of United States Great Lakes Ports* (p. 20). CIRRELT. <https://www.cirrelt.ca/documentstravail/cirrelt-2022-15.pdf>
- Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Song, D.-W., Chen, G., Sahoo, S., Deshmukh, A., & Urfels, M. (2023). *Synchromodality as a prospective digitalization scheme for freight*

- logistics. World Maritime University. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1902405/FULLTEXT01.pdf>
- Statistique Canada. (2024a). *Canadian International Merchandise Trade Web Application*. Statistique Canada. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/71-607-x/2021004/imp-eng.htm>
- Statistique Canada. (2024b, November 7). *Table: 12-10-0088-01—Interprovincial and international trade flows, basic prices, summary level*. Statistique Canada. <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/tv.action?pid=1210008801>
- Statistique Canada. (2025a). *L'application Web sur le commerce international de marchandises du Canada*. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/71-607-x/71-607-x2021004-fra.htm>
- Statistique Canada. (2025b, May 20). *Productivité du travail et mesures connexes par industrie du secteur des entreprises et par activité non-commerciale, conformes aux comptes des industries*. StatCan. <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/cv!recreate-nonTraduit.action?pid=3610048001>
- Statistique Canada. (2025c, May 20). *Table 36-10-0480-01—Labour productivity and related measures by business sector industry and by non-commercial activity consistent with the industry accounts*. Statistique Canada. <https://doi.org/10.25318/3610048001-eng>
- Statistique Canada. (2025d, June 13). *Tableau: 36-10-0608-01—Compte économique d'infrastructure, investissement et stock net par actif, par industrie et par fonction de l'actif*. Statistique Canada. <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3610060801>
- Statistique Canada. (2025e, August 15). *Table: 33-10-1014-01—Canadian Business Counts, with employees, June 2025*. Statistique Canada. <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/tv.action?pid=3310101401>
- Statistique Canada. (2025f, September 4). *Canadian International Merchandise Trade Web Application*. Statistique Canada. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/71-607-x/71-607-x2021004-eng.htm>
- Tapp, S. (2025, February 11). *Which Canadian Cities Are Most Exposed to Trump's Tariffs?* [Canadian Chamber of Commerce]. <https://businessdatalab.ca/publications/which-canadian-cities-are-most-exposed-to-trumps-tariffs/>
- Taylor, D. (2024, July 24). *New Soo Lock project on schedule for 2030 opening to commercial shipping*. Northern Ontario Business. <https://www.northernontariobusiness.com/industry-news/design-build/new-soo-lock-project-on-schedule-for-2030-opening-to-commercial-shipping-9259322>
- Transport Canada. (2022). *Departmental Plan 2022-2023* (Nos. T1-27E-PDF). Transport Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2022/tc/T1-27-2022-eng.pdf
- Transport Canada. (2023). *Les Transports au Canada, un survol* (Rapport annuel No. TP No. TP 15388E; Catalogue No. T1-21E-PDF, p. 59). Transports Canada. https://tc.canada.ca/sites/default/files/2024-06/TC_2023_Annual_Report_FR_2024-05-29.pdf
- Transport Canada. (2024). *Departmental results report 2023-2024* (Nos. T1-28E-PDF). Transport Canada. <https://tc.canada.ca/sites/default/files/2025-07/tc-2023-2024-departmental-results-report-icnp-en.pdf>
- Transports Canada. (2017, August 29). *Section II – Analyse des programmes et des sous-programmes par résultat stratégique*. Transports Canada. <https://tc.canada.ca/fr/section-ii-analyse-programmes-programmes-resultat-strategique>
- Transports Canada. (2023, January 31). *Document d'information sur le Fonds national des corridors commerciaux*. Gouvernement du Canada. <https://tc.canada.ca/fr/programmes/programmes-financement/fonds-national-corridors-commerciaux/document-information-fonds-national-corridors-commerciaux>
- Transports Canada. (2024a, March 15). *Transports Canada annonce un financement pour augmenter la capacité du port de Thunder Bay*. Gouvernement du Canada. <https://www.canada.ca/fr/transports-canada/nouvelles/2024/03/transports-canada-annonce-un-financement-pour-augmenter-la-capacite-du-port-de-thunder-bay.html>
- Transports Canada. (2024b, May 31). *Faire progresser la numérisation de la chaîne d'approvisionnement—Dix-neuf projets d'infrastructure numérique financés par le Fonds national des corridors commerciaux* [Documents d'information]. <https://www.canada.ca/fr/transports-canada/nouvelles/2024/05/faire-progresser-la-numerisation-de-la-chaine-dapprovisionnement-dix-neuf-projets-dinfrastructure-numerique-finances-par-le-fonds-national-des-corr.html>
- Transports Canada. (2025, February 24). *Le gouvernement du Canada investit dans des améliorations au port de Trois-Rivières*. Gouvernement du Canada. <https://www.canada.ca/fr/transports-canada/nouvelles/2025/02/le-gouvernement-du-canada-investit-dans-des-ameliorations-au-port-de-trois-rivieres.html>
- UN Comtrade. (2024, May 22). *Trade-and-Transport Dataset, annual, 2016 onward*. <https://unctadstat.unctad.org/datacentre/dataviewer/US.TransportCosts>
- UN Trade and Development. (2025, April 23). *Shipping data: UNCTAD releases new seaborne trade statistics*. <https://unctad.org/news/shipping-data-unctad-releases-new-seaborne-trade-statistics>
- United States Government Accountability Office. (2018). *Great Lakes-St. Lawrence Seaway: Assessing Risks and Measuring Performance Could Improve Maritime Transportation* (No. GAO-18-610). United States Government Accountability Office. <https://www.gao.gov/assets/gao-18-610.pdf>
- U.S. Army Corps of Engineers, Detroit District. (2025, June 16). *Remaining Phase 3 options awarded for New Lock at the Soo*. U.S. Army Corps of Engineers. <https://www.lrd.usace.army.mil/News/News-Releases/Display/Article/4218131/remaining-phase-3-options-awarded-for-new-lock-at-the-soo/>
- U.S. Bureau of Economic Analysis. (2025). *GDP by State*. U.S. Bureau of Economic Analysis. <https://www.bea.gov/data/gdp/gdp-state>

- U.S. Bureau of Labor Statistics. (2025, July 22). *State Labor Productivity: Regional Productivity Trends*. Bureau of Labor Statistics. <https://www.bls.gov/productivity/highlights/state-labor-productivity.htm>
- US Census Bureau. (2023). *International Trade (annual 2005—Present, monthly 2013-present)*. Census.Gov. <https://www.census.gov/data/developers/data-sets/international-trade.html>
- U.S. Department of Transportation. (2024, November 15). *Investing in America: Biden-Harris Administration Announces Nearly \$580 Million for Ports to Strengthen American Supply Chains and Lower Costs*. U.S. Department of Transportation. <https://www.maritime.dot.gov/newsroom/investing-america-biden-harris-administration-announces-nearly-580-million-ports>
- U.S. Department of Transportation. (2025a, July 25). *Port Infrastructure Development Program*. U.S. Department of Transportation. <https://www.maritime.dot.gov/PIDPgrants>
- U.S. Department of Transportation. (2025b, July 31). *Consolidated Rail Infrastructure and Safety Improvements (CRISI) Program*. U.S. Department of Transportation. <https://railroads.dot.gov/grants-loans/consolidated-rail-infrastructure-and-safety-improvements-crisi-program>
- U.S. Department of Transportation - Maritime Administration. (2024, November 15). *Investing in America: Biden-Harris Administration Announces Nearly \$580 Million for Ports to Strengthen American Supply Chains and Lower Costs*. MARAD. <https://www.maritime.dot.gov/newsroom/investing-america-biden-harris-administration-announces-nearly-580-million-ports>
- U.S. Department of Transportation - Maritime Administration. (2025). *Bipartisan Infrastructure Law: Maritime Administration*. MARAD. <https://www.maritime.dot.gov/about-us/bipartisan-infrastructure-law-maritime-administration>
- Van der Lugt, L., Streng, M., Kuipers, B., Haezendonck, E., Langenus, M., & Dooms, M. (2025). *Value creation for Europe—A first study on the value creation for Europe's sustainable and competitive position by the combined ports of Rotterdam and Antwerp-Bruges*. Erasmus Centre for Urban, Port and Transport Economics & Vrije Universiteit Brussel. <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2025-01/Value%20creation%20for%20Europe%20-%20a%20first%20study%20on%20the%20value%20creation%20for%20Europe%20s%20sustainable%20and%20competitive%20position%20by%20the%20combined%20ports%20of%20Rotterdam%20and%20Antwerp-Bruges.pdf>
- van der Valk, H., Strobel, G., Winkelmann, S., Hunker, J., & Tomczyk, M. (2022). Supply Chains in the Era of Digital Twins – A Review. *Procedia Computer Science*, 204, 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.08.019>
- Ville de Contrecoeur. (2025, February 18). *130 M\$ pour le développement du terminal de Contrecoeur*. Ville de Contrecoeur. <https://www.ville.contrecoeur.qc.ca/actualites/communiqués/130-m-pour-le-terminal-de-contrecoeur>
- Warin, T., Trépanier, M., & de Marcellis Warin, N. (2024). *Measuring Competitiveness in the Great Lakes-St. Lawrence Region Using a Digital Twin: A Geospatial Data Science Approach* (Nos. 2024PR-04; Pour Réflexion - For Reflection). CIRANO. <https://doi.org/10.54932/DKBC6587>
- Waugh, M. E. (2025). *Tariffs are here. By how much?* Trade War Tracker. <https://www.tradewartracker.com/>
- Xing, H., Stuart, C., Spence, S., & Chen, H. (2021). Alternative fuel options for low carbon maritime transportation: Pathways to 2050. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126651. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126651>
- Yaya, C., & Lasserre, F. (2024). Transition énergétique dans le transport maritime: Une enquête sur les choix des entreprises en matière de réduction des émissions de GES sur la Voie maritime du Saint-Laurent. *Revue Organisations & territoires*, 33(1), Article 1. <https://doi.org/10.1522/revueot.v33n1.1717>
- Yu, M., Liu, X., Ji, X., Ren, Y., & Guo, W. (2024). Integrated berth allocation and quay crane assignment and scheduling problem under the influence of various factors. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, 6(4), e70001. <https://doi.org/10.1049/cim2.70001>
- Zhai, D., Fu, X., Yin, X. F., Xu, H., & Zhang, W. (2022, April 8). Predicting Berth Stay for Tanker Terminals: A Systematic and Dynamic Approach. *arXiv.Org*. <https://arxiv.org/abs/2204.04085v2>
- Zhao, N., Hong, J., & Lau, K. H. (2023). Impact of supply chain digitalization on supply chain resilience and performance: A multi-mediation model. *International Journal of Production Economics*, 259, 108817