

# Transition énergétique

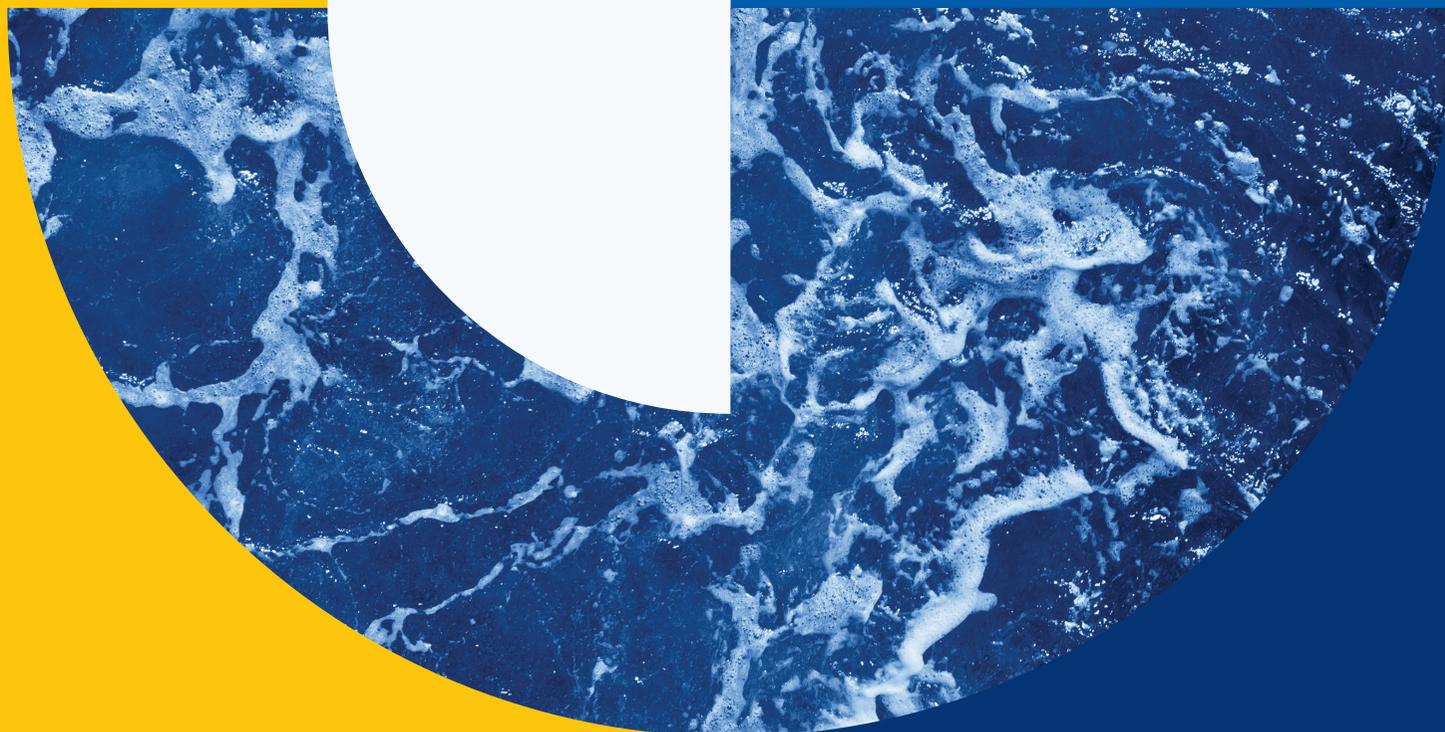
## Défis et possibilités

**Prof. Claude Comtois**

Conseiller académique

Centre interuniversitaire de recherche  
sur les réseaux d'entreprise,  
la logistique et le transport (CIRRELT)  
Université de Montréal  
Montréal (Québec) H3C 3J7 Canada

[claudio.comtois@umontreal.ca](mailto:claudio.comtois@umontreal.ca)





Considérant son poids dans la géographie économique mondiale, l'industrie maritime et portuaire est au cœur des enjeux liés à la transition énergétique. Pour rappel, le transport maritime à l'échelle mondiale compte pour 940 Mt d'émissions de CO<sub>2</sub> (3,7% des émissions globales de GES). Dans les zones portuaires, entre 55% et 77% des émissions de GES proviennent des navires, la balance provenant des installations et des opérations.

**En 2018, les États membres de l'Organisation maritime internationale (OMI) se sont engagés à réduire le volume total des émissions de GES générées par le transport maritime d'au moins 50% sous le niveau 2008 à l'horizon 2050.**

**L'atteinte de cet objectif, et plus généralement celui de la décarbonation de l'économie maritime et portuaire, repose sur un ensemble de pratiques, y compris, mais sans s'y limiter:**

- 1 La régulation des émissions des navires commerciaux en adéquation avec les normes de l'OMI;
- 2 L'augmentation de l'efficacité énergétique;
- 3 La réduction de la consommation énergétique;
- 4 L'électrification accrue des équipements et des véhicules;
- 5 L'application d'une tarification verte;
- 6 La réduction des émissions de GES;
- 7 L'introduction de systèmes d'alimentation électrique à quai;
- 8 Le développement d'indicateurs de performance en lien avec les réglementations en matière de décarbonation;
- 9 La mise en place d'énergies de substitution écoresponsables pour l'alimentation des bâtiments et infrastructures portuaires;
- 10 L'organisation des activités des transporteurs et des ports sur la base des principes de l'écologie industrielle, dont le captage de CO<sub>2</sub>;
- 11 La modernisation des actifs par les processus d'automatisation.

**Cette transformation structurelle des modes de production, d'opération et de consommation de l'énergie implique des investissements importants, l'introduction d'innovations et un portage politique fort.**

# Les défis

Pour atteindre cet objectif à l'horizon 2050, l'industrie maritime et portuaire fait face à quatre défis :

## LA CROISSANCE DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES

En 2020, la consommation d'énergie mondiale annuelle équivalait à 557,1 exajoules – un taux de croissance annuel moyen de 1,6% depuis 2000. Cette consommation est soutenue par la demande des pays d'Amérique du Nord et d'Europe et celle des économies émergentes de la Chine et de l'Inde. Le pétrole conserve sa place de premier combustible sur le plan mondial, représentant 31,3% de la consommation d'énergie globale, suivi du charbon (27,2%), du gaz naturel (24,7%) et du nucléaire (4,3%). La part de l'hydroélectricité et des énergies renouvelables représente 6,8% et 5,7% respectivement (BP, 2021). Assez paradoxalement, l'augmentation de la consommation d'hydrocarbures est alimentée par le fait que plusieurs pays envisagent la fermeture de centrales thermiques ou nucléaires sans pouvoir réellement compenser par la production d'énergies vertes.

## LES CONCENTRATIONS DE CO<sub>2</sub>

Bien qu'environ 70% des émissions mondiales de carbone soient assujetties à des engagements de réduction des émissions de gaz à effet de serre, le bilan net global de dioxyde de carbone a contribué à l'augmentation des concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub>, qui atteignent 414 ppm en 2020.

## LES PROBLÈMES D'EFFICACITÉ

Depuis les années 2000, plus de 5 000 milliards \$ ont été dépensés, à l'échelle mondiale, dans les énergies renouvelables, dont l'éolien et le solaire. Cependant, la croissance dans le secteur des énergies renouvelables génère des émissions de GES en raison des ressources utilisées pour l'édification d'ouvrages



hydroélectriques, la construction d'éoliennes, la fabrication de panneaux solaires et la transmission d'énergie. Par ailleurs, l'énergie solaire et l'énergie éolienne présentent des problèmes de fiabilité à produire de l'énergie de façon continue.

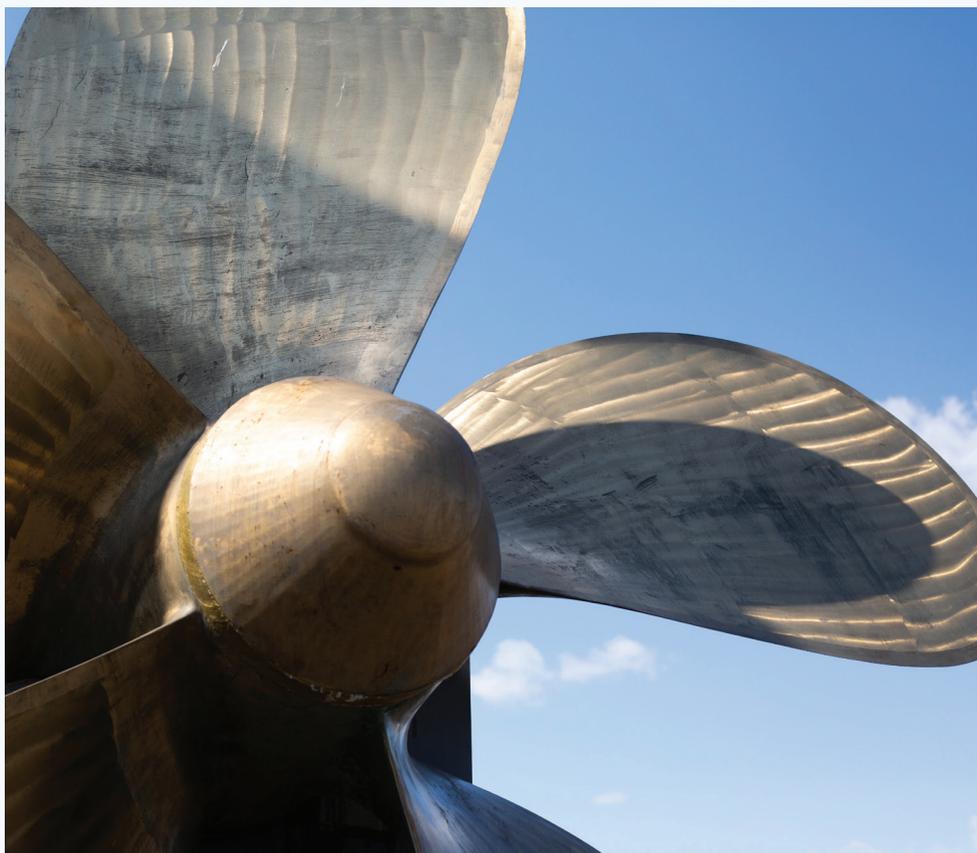
Pour les transporteurs maritimes, les gains en efficacité énergétique se traduisent par de plus gros navires et de plus grandes distances de parcours. Pour les ports, l'économie d'énergie est réinvestie avec profit dans de nouveaux vecteurs de croissance. Les gains obtenus grâce à une amélioration de l'efficacité énergétique peuvent être ainsi annulés par une hausse de son utilisation. Il en résulte que, pour réduire la consommation, l'efficacité ne suffit pas.

## LES LIMITES À L'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE

Les mesures pour une plus grande efficacité énergétique et de résilience aux changements climatiques apportent certes de multiples avantages économiques, mais elles ne suffisent pas à réduire la consommation. Pour être réellement efficace, il faudrait passer d'une économie de production à une économie circulaire.

Pour l'industrie maritime et portuaire, cela suppose la réalisation d'économies en minimisant les coûts d'approvisionnement en ressources et en valorisant les déchets et sous-produits. Le recyclage d'un navire serait prévu dès sa conception initiale. L'économie circulaire portuaire serait, elle, fondée sur le développement d'un système productif évolué, avec des déperditions très faibles afin de répondre aux objectifs de zéro déchet, gagner en synergies et en efficacité par l'utilisation de la chaleur résiduelle, l'optimisation du cycle de l'eau ou la réutilisation du CO<sub>2</sub>.

Mais l'économie circulaire a ses limites. Tous les matériaux ne sont pas recyclables ou utilisables par d'autres industries. En outre, le processus de recyclage consomme de l'énergie, mais rien ne garantit que les gains en économie se traduiront par une baisse substantielle des émissions de GES.



# Les mesures déployées

**Le déploiement maximum des meilleures technologies disponibles pourrait permettre d'atteindre les objectifs de décarbonation de l'industrie maritime et portuaire. Parmi les plus importantes, citons :**

**La suppression des émissions de dioxyde de carbone** par l'électrification des engins de levage et de manutention, des infrastructures et des véhicules au sein des terminaux. L'électrification à quai permet d'alimenter les navires avec une source d'énergie renouvelable en réduisant leur empreinte carbone.

**L'adoption de mesures techniques et opérationnelles.** Même s'il est peu probable que des navires soient propulsés par des moteurs entièrement électriques en raison de la taille des navires et des distances parcourues, les armateurs tendent plutôt à équiper leur flotte de moteurs hybrides qui combinent un mélange de carburants alternatifs, de systèmes de récupération de chaleur et de piles haute performance pour les moteurs auxiliaires.

Sur le plan technique, les transporteurs maritimes cherchent notamment une **efficacité optimale des moteurs de propulsion des navires**, une amélioration de la configuration de la coque des navires et des hélices plus efficaces. Pour leur part, les ports améliorent la performance des véhicules ou des équipements motorisés industriels et utilisent des systèmes de récupération de la chaleur.

**Les options offertes en matière de carburant.** Les changements dans les propriétés d'un carburant ou l'adoption de carburants propres peuvent être appliqués rapidement et engendrer une baisse immédiate des émissions polluantes.

Cependant, c'est loin d'être une formule magique, car plusieurs incertitudes persistent.

# Carburants de substitution

La régulation émise par l'OMI sur le contenu en soufre des carburants encourage l'utilisation de carburants de substitution pour le transport maritime.

## LES BIOCARBURANTS

Les biocarburants comprennent le méthanol, l'éthanol, le biodiesel et le gaz naturel renouvelable.

Ces carburants fonctionnent très bien avec les engins à bord des navires ou les moteurs diesel à combustion interne utilisés dans les équipements portuaires. Citons à titre d'exemple le transporteur maritime Maersk qui prévoit prendre livraison de 12 porte-conteneurs alimentés au méthanol vert en 2024. Ces carburants peuvent être utilisés à l'état pur ou être mélangés avec des carburants conventionnels à base de pétrole.

Cependant, l'utilisation de biocarburants soulève certains enjeux. D'abord la capacité de production reste limitée. L'industrie ne peut faire appel aux marchés internationaux pour s'approvisionner en ressources.

Il en résulterait une augmentation des distances de transport et une augmentation concomitante des émissions de GES. Ensuite, les biocarburants ont une faible valeur calorifique en comparaison aux combustibles traditionnels, ce qui suggère qu'il faut consommer davantage de carburant pour générer une unité de production ou parcourir une distance équivalente. Enfin, le coût des biocarburants est plus élevé que celui des combustibles fossiles, qui peut atteindre cinq fois celui du gaz naturel.

## LE GAZ NATUREL

Le gaz naturel présente plusieurs avantages. Les réserves mondiales sont suffisamment abondantes pour satisfaire la demande. Il renferme moins de carbone que les autres combustibles fossiles et brûle sans résidus. Son indice d'octane élevé permet d'atteindre des niveaux élevés d'efficacité. Le GNL est considéré comme un carburant du futur pour l'industrie maritime et portuaire, car son utilisation en substitut au mazout et à l'huile lourde est de nature à réduire de 5% à 30% les émissions de CO<sub>2</sub> des navires (ITF, 2018). En 2022, le transporteur CMA-CGM dispose de 22 porte-conteneurs alimentés au GNL.

Son utilisation soulève toutefois d'importantes inquiétudes. Le stockage à bord des navires utilise beaucoup d'espace. La combustion de GNL émet davantage de méthane que l'essence. Or, le méthane est un agent de réchauffement climatique plus puissant que le CO<sub>2</sub>. Il existe aussi une controverse en lien avec les besoins énergétiques requis pour la production, la pressurisation et la distribution du GNL. De plus, les émissions de GES durant la phase d'avitaillement des navires peuvent amenuiser le potentiel d'atténuation du GNL.

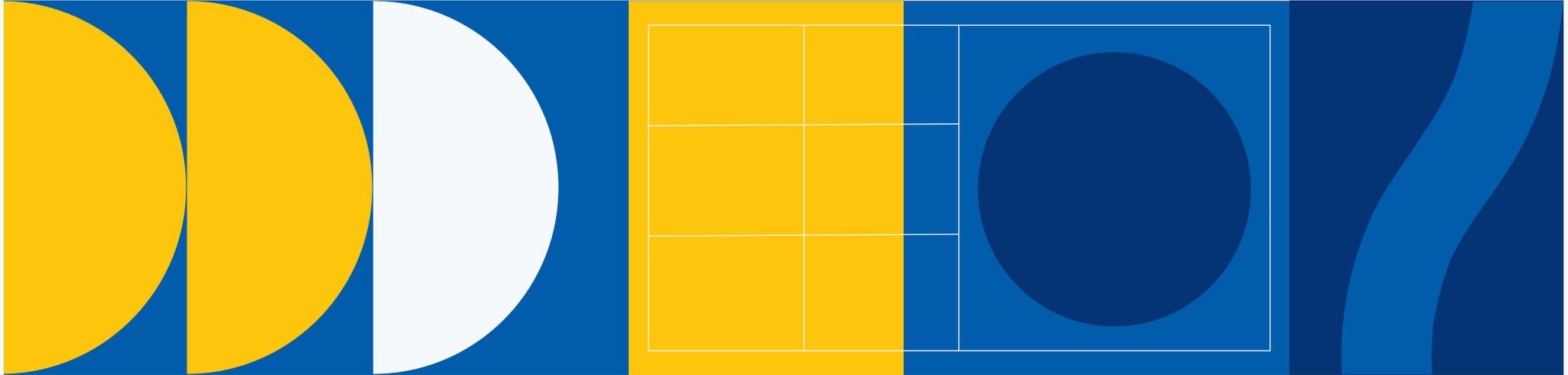
## L'HYDROGÈNE

L'hydrogène peut potentiellement être la source d'énergie la plus écologique. Sa combustion émet principalement de la vapeur d'eau et une quantité négligeable de polluants chimiques, mais ne libère aucune émission de  $\text{CO}_2$ . Son application à l'industrie maritime et portuaire est multiple. L'hydrogène peut alimenter des équipements portuaires ou des navires. Un moteur à l'hydrogène peut être de trois à six fois plus efficace qu'un moteur propulsé par des combustibles fossiles ou des biocarburants. L'utilisation comme carburant d'un mélange d'hydrogène et de fioul lourd peut réduire les émissions de  $\text{CO}_2$  de 43% par tonne-kilomètre parcourue par un navire (ITF, 2018). L'hydrogène permet également de stocker les surplus d'énergie électrique pouvant servir en cas d'urgence ou de répondre à la demande en électricité en période de pointe. L'hydrogène liquéfié peut être transporté par train, par camion et par navire.

Mais l'utilisation de l'hydrogène comme substitut de combustibles conventionnels présente quelques problèmes. L'hydrogène comme ressource ne crée pas d'énergie supplémentaire, car il doit être produit au moyen d'une réaction chimique à partir d'eau ou d'hydrocarbures. Or, environ 95% de l'hydrogène mondial est produit à partir d'hydrocarbures. Selon ce procédé, la production d'une tonne d'hydrogène entraîne le rejet de 8,9 tonnes de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). La production d'hydrogène par électrolyse est trois fois plus coûteuse que le reformatage du gaz naturel et entraîne des pertes d'énergie pouvant atteindre 40% (IFPEN, 2020; Whitmore & Pineau, 2022). Par ailleurs, en raison de sa densité, l'hydrogène doit être comprimé pour être stocké, ce qui consomme de l'énergie et soulève des coûts : l'hydrogène coûte deux fois le prix des carburants fossiles. Le stockage de l'hydrogène sous forme de pile à combustible offre certes une avenue prometteuse. Mais sa fabrication nécessite un approvisionnement en terres rares, ce qui peut générer des externalités environnementales négatives en lien avec l'extraction et le raffinage. En outre, les limites de production en amont, le coût des piles par unité d'énergie, la perte d'espace de chargement à bord des navires ou des véhicules ainsi que les enjeux de sécurité en raison des températures de fonctionnement élevées écartent présentement une prolifération à grande échelle de cette technologie au sein de l'industrie maritime et portuaire.



En résumé, les ports recherchent principalement une alimentation électrique directe générée par des sources d'énergie non fossiles renouvelables. Pour les transporteurs maritimes, les coûts de construction navale peuvent être de l'ordre de 25% supérieurs à celui de navires propulsés par des moteurs diesels. Par ailleurs, les faibles densités énergétiques de carburants alternatifs nécessitent une plus grande décentralisation des combustibles à faible teneur en carbone, ce qui entraîne un ravitaillement plus fréquent. Ainsi, les niveaux de priorité dans l'application de différents carburants maritimes vont progresser en ordre décroissant, d'abord domestique intérieur et côtier, suivi du transport maritime sur courte distance et enfin du transport océanique. Des mesures incitatives de la part des États augmenteraient l'adhésion de l'industrie maritime et portuaire aux combustibles de substitution.



# Les possibilités

Les ports jouent déjà un rôle déterminant pour faciliter un transport maritime vert. Non seulement un port décarboné suppose des investissements importants en infrastructures, en équipements et en installations dans le but de minimiser son empreinte environnementale, mais cela requiert également d'influencer son environnement opérationnel. En effet, le processus de décarbonation a d'importantes répercussions financières et opérationnelles pour l'industrie. L'industrie reconnaît qu'il faut remplacer les infrastructures et les équipements. Mais l'efficacité et la rentabilité doivent être mises en jeu pour déterminer quand les changements vers la décarbonation doivent être mis en œuvre. Cela impose que l'industrie maritime et portuaire entreprenne un inventaire de son empreinte carbone. Pour chaque activité, il faut déterminer le degré de difficulté pour atteindre le pourcentage de réduction des GES et son coût.

**Malgré les défis et les enjeux, la trajectoire pour une économie maritime et portuaire décarbonée offre de remarquables possibilités.**

## CONNEXIONS PORTUAIRES

Un port doit s'assurer de la carboneutralité du transport à l'entrée et à la sortie des marchandises par transport maritime et terrestre.

Sur le plan de l'offre, plus de 200 transporteurs maritimes se sont engagés à commercialiser et accélérer la production de navires carboneutres à l'horizon 2030. Sur le plan de la demande, plusieurs entreprises, dont Amazon, Ikea, Michelin, Unilever, Patagonia, Costco et Canadian Tire, ont annoncé qu'elles n'utiliseront que des transporteurs carboneutres pour le transport maritime de fret.

À l'occasion de la 26<sup>e</sup> Conférence des parties (COP26), tenue à Glasgow, 22 pays, dont le Canada, ont signé la « Clydebank Declaration For Green Shipping Corridors 2021 », s'engageant à créer, d'ici 2025, au moins six corridors maritimes internationaux à émissions nulles de carbone. En marge de l'événement, les administrations portuaires de Montréal et d'Anvers ont signé une entente de collaboration pour la création d'un premier corridor maritime vert transatlantique. Le partenariat vise à faciliter les échanges commerciaux de carburants verts, le développement d'infrastructures pour l'alimentation des navires aux carburants renouvelables et l'introduction de technologies innovantes de décarbonation.

Dans la foulée de cette entente, le Port de Montréal est devenu, en avril, 2022 membre de la Getting to Zero Coalition, rejoignant ainsi une alliance internationale regroupant plus de 150 compagnies des secteurs maritime, énergétique, des infrastructures et de la finance qui poursuivent un objectif commun, à savoir mettre en service, d'ici 2030, des navires à émission zéro, alimentés par des carburants à émission zéro.

## RÉAFFECTATION D'ESPACE INDUSTRIEL

La décarbonation se traduit par une plus grande diversité de combustibles alternatifs et la production de biocarburants liquides à partir de la biomasse, de déchets agricoles et de résidus forestiers. Cette transformation repose sur la notion de bioraffinerie et le développement d'une nouvelle filière énergétique. La biomasse peut compenser la perte du tonnage des hydrocarbures. La transformation de l'industrie du raffinage traditionnel s'effectue en lien avec la collecte et le traitement des déchets industriels, commerciaux et municipaux. L'usage industriel de la biomasse peut stimuler la dimension portuaire des échanges maritimes par l'importation des résidus et l'exportation des biocarburants. Le succès de ces nouvelles filières fait aussi appel aux transporteurs maritimes et à leur capacité d'approvisionnement et d'écoulement de cargaison en grande quantité. Déjà, par l'entremise de son plan d'action de développement durable, la Société du parc industriel et portuaire de Bécancour, au Québec, exploite le projet d'économie circulaire le plus avancé au Québec sur le plan de la gestion et de la mise en valeur des matières résiduelles des entreprises participantes du parc.

Une autre voie possible consiste à capter, purifier et compresser le dioxyde de carbone sous forme comprimée afin de créer un cycle de vie pour le carbone. La proximité des ports de grappes industrielles fortes émettrices de CO<sub>2</sub> et de sites potentiels de transformation du CO<sub>2</sub> à faible coût permet de 1) contribuer à réduire les émissions de GES; 2) créer des carburants carboneutres, dont le méthanol et l'hydrogène; et 3) produire des fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes d'absorption de la chaleur des installations portuaires et des navires. Plus important encore, cette valorisation du CO<sub>2</sub> permet de valider les crédits du marché du CO<sub>2</sub> et de contribuer à une hausse de la valeur productive de la colocalisation physique des espaces industriels et portuaires.

## CRÉATION DE NOUVEAUX PROFILS D'EMPLOI

Au-delà des investissements en capital physique (infrastructures, navires, équipements, technologies, etc.), la décarbonation repose sur les compétences professionnelles. Une transition énergétique réussie exige de nouveaux talents pour obtenir et interpréter l'information, pour améliorer et rehausser les technologies et pour créer de nouvelles connaissances. On aura besoin de spécialistes des sciences de nature « technologique » – génie industriel, génie civil, informatique, recherche opérationnelle, statistique – mais aussi des experts dans les sciences dites « humaines » – management, économie, géographie, écologie, science politique et droit.

La conclusion implicite est que les efforts collectifs vers la décarbonation ne seront couronnés de succès qu'en fonction de recherches interdisciplinaires et intégrées. Le processus de décarbonation est long et complexe et peut s'apparenter à un « sport de contact » : rencontrer les gens de l'industrie, faire circuler de nouvelles idées, établir des partenariats et construire des ponts entre disciplines.



# Conclusion

La décarbonation de l'industrie maritime et portuaire prend corps dans de nombreuses initiatives institutionnelles et corporatives. Cet enjeu est porteur d'un large éventail d'innovations et d'avancées technologiques permettant de réduire sensiblement l'empreinte environnementale de l'industrie. Plus important encore, la carboneutralité offre des occasions commerciales d'envergure en hissant le seuil de compétitivité du transport maritime de marchandises.

**En effet, le processus de décarbonation présentement en cours au Québec et au Canada permet à l'industrie maritime et portuaire d'exercer une forme de leadership en affichant des pratiques exemplaires à l'international.**

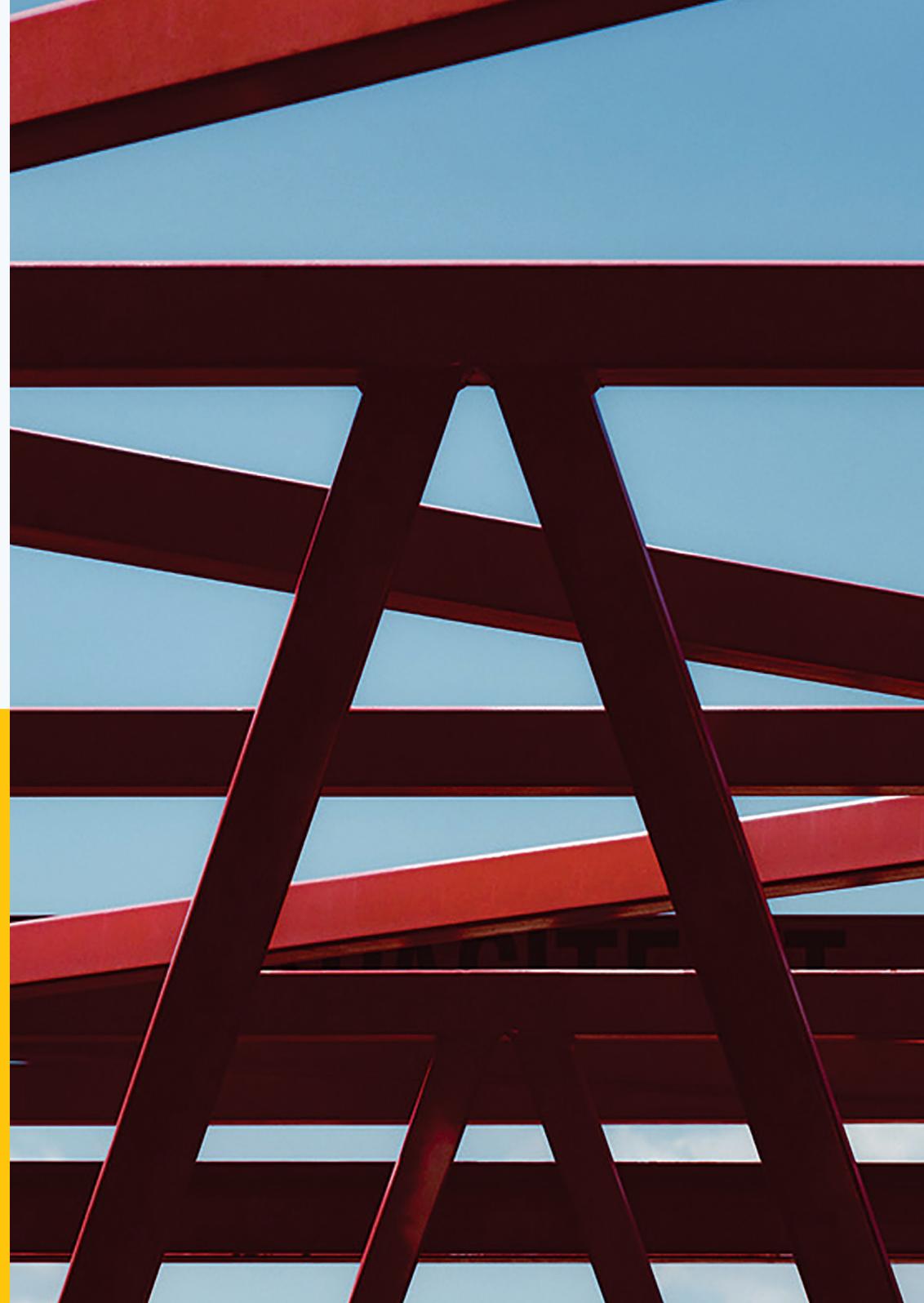
## RÉFÉRENCES

**BRITISH PETROLEUM (BP) (2021)** *Statistical Review of World Energy*, London: BP, 72 p.

**IFPEN (2020)** *L'hydrogène*, Paris: IFPN.

**INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM (ITF) (2018)** *Decarbonising Maritime Transport. Pathways to zero-carbon shipping by 2035. Case-Specific Policy Analysis Reports*, Paris, ITF, OECD, 86 p.

**WHITMORE, J. & PINEAU, P.O. (2022)** *État de l'énergie au Québec 2022*, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, préparé pour le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Montréal: HEC Montréal, 67 p.





**Guillaume Brossard**

Vice-président, développement,  
marketing et relations internationales

[brossardg@port-montreal.com](mailto:brossardg@port-montreal.com)

**Rosetta Iacono**

Directrice, croissance  
et relations commerciales

[iaconor@port-montreal.com](mailto:iaconor@port-montreal.com)

**Alain Berard**

Directeur, développement  
et relations internationales

[berarda@port-montreal.com](mailto:berarda@port-montreal.com)

**Numéro général:**

+1 514 283-7011