POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Analyse des facteurs de risque et de la réglementation liés à l'utilisation d'un mélange de biodiesel et d'e-méthanol comme carburant maritime sur le fleuve saint-laurent

ATIODJIA NJAMEN FAYELLE URSULE

Département de mathématiques et de génie industriel

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*

Génie industriel

Avril 2025

© Fayelle Ursule Atiodjia Njamen, 2025.

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

Analyse des facteurs de risque et de la réglementation liés à l'utilisation d'un mélange de biodiesel et d'e-méthanol comme carburant maritime sur le fleuve saint-laurent

présenté par **Fayelle Ursule ATIODJIA NJAMEN**

en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

Thomas STRINGER, président
Nathalie De MARCELLIS-WARIN, membre et directrice de recherche
Martin TRÉPANIER, membre et codirecteur de recherche
Mareen THIBOUTOT RIOUX, membre

DÉDICACE

À ma famille, pour son soutien indéfectible et son amour inconditionnel.

À mes parents, qui m'ont inculqué la persévérance et la passion du savoir.

À mes amis et proches, qui m'ont encouragée à chaque étape de ce parcours.

À tous ceux qui croient en un avenir maritime plus durable et qui œuvrent pour une transition énergétique réussie.

Ce travail est le fruit de nombreuses heures de recherche, d'échanges et de réflexions. Puisse-t-il contribuer, ne serait-ce qu'un peu, aux avancées vers un monde plus respectueux de notre environnement.

Comment vous dire merci ?...

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, je remercie chaleureusement ma directrice de recherche, professeure Nathalie De Marcellis-Warin, pour son encadrement rigoureux, sa patience et ses conseils avisés tout au long de ce travail. Son expertise et ses orientations précieuses ont été essentielles à l'aboutissement de cette recherche.

Je souhaite également exprimer ma reconnaissance à mon codirecteur, le Professeur Martin Trépanier, pour son accompagnement inestimable, sa disponibilité et son aide précieuse. Son soutien indéfectible et ses conseils éclairés ont grandement enrichi ma réflexion et m'ont permis d'approfondir mon analyse.

Un immense merci à Mareen Thiboutot, responsable du projet GREENMET, pour son implication et son soutien tout au long de cette recherche. Son engagement, son esprit collaboratif et sa précieuse aide ont été d'une grande importance pour mener à bien ce travail.

Je remercie également les membres du jury pour le temps consacré à l'évaluation de mon travail et pour leurs commentaires constructifs.

Toute ma gratitude va aux membres du projet GREENMET, ainsi qu'aux professionnels et experts du secteur maritime qui ont pris le temps d'échanger avec moi lors des entrevues et réunions. Leurs connaissances et leurs retours d'expérience ont été une source précieuse d'informations et de réflexion.

Je suis également reconnaissante envers le CIRANO et POLYTECHNIQUE MONTRÉAL pour le cadre de travail et les ressources mises à ma disposition afin de mener à bien cette recherche.

Un grand merci à ma famille et à mes amis pour leur soutien moral infaillible, leur patience et leurs encouragements constants. Leur présence et leurs paroles réconfortantes ont été une source de motivation précieuse dans les moments de doute et de fatigue.

Enfin, je tiens à remercier les outils d'intelligence artificielle Copilot et ChatGPT pour leur aide précieuse dans la correction et l'optimisation des textes de ce mémoire.

À toutes ces personnes, encore une fois, merci !

RÉSUMÉ

Le secteur maritime est confronté à des défis croissants en matière de décarbonation afin de réduire son impact environnemental et d'aligner ses pratiques avec les objectifs internationaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Actuellement responsable d'environ 3 % des émissions mondiales de dioxyde carbone, l'industrie du transport maritime doit impérativement adopter des solutions alternatives aux carburants fossiles traditionnels. Parmi ces alternatives, l'e-méthanol apparaît comme une option prometteuse, notamment pour le corridor maritime du fleuve Saint-Laurent, en raison de sa compatibilité avec les infrastructures existantes et de son potentiel de réduction des émissions polluantes. Cependant, son intégration à grande échelle nécessite une analyse approfondie des risques et des contraintes réglementaires, économiques et opérationnelles.

Ce travail de recherche vise à évaluer les implications de l'utilisation d'un mélange e-méthanol - biodiesel dans le secteur maritime à travers une approche multidimensionnelle combinant une revue réglementaire, une analyse des risques et une étude de terrain impliquant des entrevues avec des acteurs clés du domaine. L'étude repose sur trois axes principaux.

L'analyse des cadres réglementaires consiste en une revue détaillée des lois, normes et réglementations internationales, nationales et provinciales applicables a été réalisée, en mettant l'accent sur la convention MARPOL, le code IGF, le code IMDG, la réglementation canadienne sur la sécurité maritime, ainsi que le cadre européen FuelEU Maritime. Cette analyse permet de cerner les exigences en matière de sécurité, de manipulation des carburants alternatifs et de gestion des émissions. L'étude met en évidence les lacunes réglementaires et les ajustements nécessaires pour intégrer efficacement le mélange e-méthanol et biodiesel dans le cadre légal actuel.

L'évaluation des facteurs de risque se structure autour de trois grandes catégories, soient 1) les facteurs environnementaux, risques liés à la pollution de l'eau (déversements accidentels), de l'air (émissions résiduelles) et du sol (contamination lors des opérations de stockage et de soutien); 2) les facteurs de santé et de sécurité, exposition des travailleurs à un carburant inflammable et toxique, nécessité d'une formation spécifique et de protocoles de sécurité renforcés; et 3) les facteurs économiques et de coûts élevés des infrastructures, incertitudes financières, nécessité d'incitations économiques et de mécanismes d'assurance adaptés.

L'étude terrain et retours d'expérience permet de confronter l'analyse théorique aux réalités opérationnelles, des entrevues ont été menées auprès de divers acteurs du secteur maritime,

notamment des armateurs, des gestionnaires de ports, des producteurs de carburants et des représentants des autorités réglementaires. Ces échanges ont permis d'identifier les préoccupations des parties prenantes, notamment en ce qui concerne la compatibilité des moteurs marins, les défis liés à la distribution et aux infrastructures, ainsi que les mesures d'atténuation nécessaires pour assurer une adoption progressive et sécurisée.

Les résultats de cette recherche montrent que, bien que le mélange e-méthanol – biodiesel soit une solution viable pour la transition énergétique maritime, sa mise en œuvre dépend de plusieurs facteurs critiques, dont entre autres ses propriétés physico-chimiques que nous ne connaissons pas au moment d'écrire ce mémoire. Le seul élément saillant est que le point d'éclair de ce mélange est, pour le moment, significativement inférieur à celui du biodiesel. L'adoption du carburant nécessitera un cadre réglementaire harmonisé, des incitatifs financiers ciblés pour compenser les coûts de conversion des flottes et des infrastructures portuaires adaptées pour le stockage et la distribution. En outre, une formation spécifique devra être mise en place pour les travailleurs exposés à la manipulation de ce carburant alternatif.

Sur la base de ces constats, ce mémoire propose une série de recommandations stratégiques visant à accélérer l'intégration d'un mélange e-méthanol – biodiesel dans le secteur maritime. Celles-ci incluent la mise en place d'un cadre réglementaire évolutif aligné sur les normes internationales, le développement de corridors maritimes dédiés aux carburants alternatifs, ainsi que l'instauration de politiques incitatives pour attirer les investissements nécessaires.

Ce travail de recherche apporte une contribution significative à la compréhension des défis et opportunités liés à l'e-méthanol et le biodiesel dans le secteur maritime, en fournissant une analyse complète des enjeux réglementaires, techniques et économiques. Il constitue une base solide pour les décideurs, les opérateurs et les institutions souhaitant accélérer la transition énergétique du transport maritime et réduire l'empreinte carbone des activités maritimes.

ABSTRACT

The maritime sector is facing increasing challenges related to decarbonization to reduce its environmental impact and align its practices with international greenhouse gas emission reduction targets. Currently responsible for approximately 3% of global carbon dioxide emissions, the shipping industry must urgently adopt alternatives to traditional fossil fuels. Among these alternatives, e-methanol appears to be a promising option, particularly for the St. Lawrence River shipping corridor, due to its compatibility with existing infrastructure and its potential to reduce pollutant emissions. However, large-scale integration of this fuel requires a comprehensive analysis of the associated risks as well as regulatory, economic, and operational constraints.

This research project aims to assess the implications of using an e-methanol–biodiesel blend in the maritime sector through a multidimensional approach combining a regulatory review, risk analysis, and field study involving interviews with key industry stakeholders. The study is structured around three main areas.

The regulatory framework analysis involves a detailed review of applicable international, national, and provincial laws, standards, and regulations, with a focus on the MARPOL Convention, the IGF Code, the IMDG Code, Canadian maritime safety regulations, and the European FuelEU Maritime framework. This analysis helps to identify the safety requirements, handling protocols for alternative fuels, and emission management standards. The study highlights regulatory gaps, and the adjustments needed to effectively incorporate the e-methanol–biodiesel blend within the current legal framework.

The risk factor assessment is structured into three major categories: 1) Environmental factors, such as risks of water pollution (accidental spills), air pollution (residual emissions), and soil contamination (during storage and support operations); 2) Health and safety factors, including worker exposure to a flammable and toxic fuel, the need for specialized training, and reinforced safety protocols; 3) Economic factors, such as the high cost of infrastructure, financial uncertainties, and the need for appropriate economic incentives and insurance mechanisms.

The field study and stakeholder feedback component confront the theoretical analysis with operational realities. Interviews were conducted with various actors in the maritime sector, including shipowners, port managers, fuel producers, and regulatory authorities. These discussions helped identify stakeholder concerns, particularly regarding marine engine compatibility,

distribution and infrastructure challenges, and mitigation measures necessary to ensure a gradual and safe adoption process.

The findings of this research indicate that while the e-methanol–biodiesel blend represents a viable solution for the maritime energy transition, its implementation depends on several critical factors. Among these are its physico-chemical properties, which remain largely unknown at the time of writing. The only notable data point currently available is that the blend's flash point is significantly lower than that of biodiesel. Adoption of the fuel will require a harmonized regulatory framework, targeted financial incentives to offset fleet conversion costs, and port infrastructure adapted for storage and distribution. Moreover, specialized training must be provided to workers handling this alternative fuel.

Based on these findings, this thesis puts forward a series of strategic recommendations aimed at accelerating the integration of an e-methanol–biodiesel blend in the maritime sector. These include the establishment of a flexible regulatory framework aligned with international standards, the development of maritime corridors dedicated to alternative fuels, and the implementation of incentive policies to attract necessary investments.

This research makes a significant contribution to the understanding of the challenges and opportunities related to the use of e-methanol and biodiesel in the maritime sector by providing a comprehensive analysis of regulatory, technical, and economic issues. It serves as a solid foundation for policymakers, operators, and institutions seeking to accelerate the maritime transport sector's energy transition and reduce the carbon footprint of marine activities.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE III

REMERCIEMENTS IV

RÉSUMÉ V

ABSTRACT VII

LISTE DES TABLEAUX XIV

LISTE DES FIGURES XV

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS XVI

LISTE DES ANNEXES XIX

CHAPITRE 1 INTRODUCTION 1

CHAPITRE 2 CONTEXTE ET REVUE DE LITTÉRATURE 4

2.1 Décarbonation 7

2.1.1 Décarbonation via les carburants alternatifs 8

2.1.2 Décarbonation via l'optimisation opérationnelle 9

2.1.3 Décarbonation via le captage et le stockage du carbone 9

2.1.4 Les défis liés à la décarbonation 9

2.2 Carburants maritimes : état des lieux et alternatives 10

2.2.1 Carburants conventionnels 11

2.2.2 Gaz naturel liquéfié (GNL) 12

2.2.3 Biodiesel 13

2.2.4 Éthanol 14

2.2.5 Ammoniac 15

2.2.6 Hydrogène 17

2.2.7 Méthanol et e-méthanol 19

2.3 Enjeux liés à l'adoption des carburants alternatifs 23

2.3.1 Identification des besoins 23

2.3.2 Contraintes avant la mise en place 24

2.3.3 Stratégies pour une adoption réussie 25

2.3.4 Identification des risques associés à l'adoption d'un nouveau carburant maritime .26

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE 32

3.1 Analyse des lois et des réglementations 32

3.1.1 Identification et sélection des lois 33

3.1.2 Structuration des données et analyse réglementaire.....33

3.2 Entrevues et échanges avec les parties prenantes du projet.....37

3.2.1 Structure du questionnaire.....38

3.2.2 Déroulement des entrevues 40

3.3 Justification du choix méthodologique.....41

CHAPITRE 4 REVUE DES LOIS ET DE LA RÉGLEMENTATION RELATIVES À L'UTILISATION DES CARBURANTS MARITIMES 43

4.1 Accords et conventions internationales 45

4.1.1 Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (MARPOL) de l'OMI 45

4.1.2 Réglementation sur la gestion de l'efficacité énergétique des navires (SEEMP).....47

4.1.3 Réglementation sur l'obligation de taxe d'émissions sur les ports (OMI 2050).....49

4.1.4 Réglementation sur la limite du soufre inférieure à 0,5% dans le fioul des navires (OMI 2020) 51

4.1.5 Convention SOLAS et normes de sécurité en mer.....55

4.1.6 Code FTP - Procédures d'essais au feu pour les matériaux maritimes.....56

4.1.7 Réglementation sur la sécurité-incendie des navires (vessel fire safety regulations) 60

4.1.8 Code ISM - code international de gestion de la sécurité 61

4.1.9 Code IMDG - Transport des marchandises dangereuses 64

4.1.10 Convention internationale sur les normes de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille – Formation des équipages 67

4.2 Lois fédérales canadiennes 69

4.2.1 Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) - Partie 7 – Contrôle de la pollution et gestion des déchets 69

4.2.2 Loi sur la marine marchande du Canada (LMMC 2001) 77

4.2.3 Loi sur la responsabilité en matière maritime 83

4.2.4 Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (LCEE 2012) 84

4.2.5 Loi sur les eaux navigables canadiennes 88

4.3 Lois provinciales québécoises 90

4.3.1 Loi sur la qualité de l'environnement et réglementations associées 90

4.4 Synthèse de la revue des réglementations en fonction des catégories de risque 92

4.4.1 Qualification des catégories de risques traitées dans les lois et règlements 93

4.4.2 Complémentarité et lacunes identifiées 98

4.4.3 Conclusion 101

CHAPITRE 5 ANALYSE DES FACTEURS DE RISQUES ET DES MESURES D'ATTÉNUATION LIÉS À L'UTILISATION DU E-METHANOL COMME CARBURANT MARITIME 102

5.1 Aspects environnementaux 103

5.1.1 EEAU = Pollution de l'eau 103

5.1.2 EAIR = Pollution de l'air 104

5.1.3 ESOL = Pollution du sol 105

5.1.4 ECAR = Impact carbone et environnemental 107

5.2 Santé et Sécurité 108

5.2.1 SHUM = Risques sanitaires 108

5.2.2 SSÉC = Sécurité des opérations 109

5.2.3 SPREV = Gestion des risques et prévention 111

5.2.4 SFORM = Formation portuaire et maritime 112

5.3 Aspects économiques & responsabilité 114

5.3.1 $ECO = Impact économique 114

5.3.2 $INCIT = Incitatifs financiers et subventions 115

5.3.3 $INV = Investissements / infrastructure 117

5.3.4 $RESP = Responsabilités légales 118

5.4 Discussion sur les mitigations /atténuations 120

5.4.1 Rôle des « *Decision Numbers* » et leur impact sur l'adoption du mélange contenant de l'e-méthanol 120

5.4.2 Exigences techniques et adaptations réglementaires 121

5.4.3 Défis économiques et incitatifs financiers 121

5.4.4 Recommandations pour une transition efficace 122

CHAPITRE 6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS 123

6.1 Contributions et apports de l'étude 123

6.2 Limitations de l'étude et axes d'amélioration 124

6.2.1 Limites potentielles de la méthode 124

6.2.2 Limites liées à l'expérimentation et aux infrastructures 124

6.3 Perspectives et recommandations pour la transition énergétique 125

6.3.1 Actions à entreprendre à court terme 125

6.3.2 Évolution du cadre réglementaire 125

6.3.3 Implication des parties impliquées 126

6.3.4 Conclusion et perspectives 126

RÉFÉRENCES 127

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Types de carburants conventionnels 12

Tableau 2.2 : Risques associés à l'adoption d'un nouveau carburant maritime 27

Tableau 3.1 : Colonnes (catégories de risque) utilisées pour analyser les lois et la réglementation 34

Tableau 3.2 : Thèmes des questions utilisées..... 39

Tableau 4.1 : Lois et réglementations examinées en fonction des axes d'analyse..... 43

Tableau 4.2 : Mesures techniques de réduction des émissions 48

Tableau 4.3 : Tests d'évaluation des performances des matériaux en situation d'incendie selon le code FTP (source : (Flameretardants-Online, 2024))..... 58

Tableau 4.4 : Sécurité incendie et conformité au code FTP 2010 dans le cadre de l'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol 59

Tableau 4.5 : Exigences de transport et de sécurité de l'e-méthanol selon le Code IMDG 66

Tableau 4.6 : Synthèse des relations entre les lois, règlements et catégories de risque..... 94

Tableau 4.7 : Complémentarités et lacunes identifiés/angles morts 100

LISTE DES FIGURES

Figure 5.1 : Approche analytique 102

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ACV	Analyse de cycle de vie
BTU	British thermal unit (unité thermique britannique)
CII	Indicateur d'intensité carbone
CO	Monoxyde de carbone
CO_2	Dioxyde de carbone
CSC	Captage et le stockage du carbone
DPA	Personne désignée à terre
ECA	Zones de contrôle des émissions désignées
EEDI	Indice de conception d'efficacité énergétique
EEOI	Indicateur opérationnel d'efficacité énergétique
EEXI	Indice de rendement énergétique des navires existants
EGC	Épuration des gaz d'échappement
EMSA	European maritime safety agency
ETS	Système d’échange de quotas d’émissions
FONAR	Rapport de non-disponibilité de fuel-oil
FTP	International code for application of fire test procedures (code international pour l'application des procédures d'essais au feu)
GBL	Biogaz liquéfié
GES	Gaz à effet de serre
GISIS	Système mondial intégré de renseignements maritimes
GNL	Gaz naturel liquéfié
HFO	Heavy fuel oil (mazout lourd)
HVO	Huile végétale hydrotraitée

IGF	Code international de sécurité pour les navires utilisant des gaz ou d'autres combustibles à faible point d'éclair
IMDG	International maritime dangerous goods (code maritime international des marchandises dangereuses)
ISM	International safety management code (code international de gestion de la sécurité)
LENC	Loi sur les eaux navigables canadiennes
LQE	Loi sur la qualité de l'environnement
MARPOL	Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires
MDO	Diesel marin
MEPC	Comité de la protection du milieu marin
MGO	Marine gas oil (gasoil marin)
MSC	Comité de la sécurité maritime
N_2O	Protoxyde d'azote
NCP	Normes sur les carburants propres
NH3	Ammoniac
NO_x	Oxydes d'azote
OMI	Organisation maritime internationale
PCI	Pouvoir calorifique inférieur
PEMFC	Proton exchange membrane fuel cell (Pile à combustible à membrane échangeuse de protons)
PGPC	Plan de gestion des produits chimiques du Canada
PM	Particules fines
PMU	Plan de mesures d'urgence
PRG	Potentiel de réchauffement global

REAFIE	Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement
RREEIECP	Règlement relatif à l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement de certains projets
SCR	Réduction catalytique sélective
SECA	Zones de contrôle de émissions de soufre
SEEMP	Gestion de l'efficacité énergétique des navires
SMM	Manuel de Gestion de la Sécurité
SMS	Système de gestion de la sécurité
SOFC	Solid oxide fuel cell (Pile à combustible à oxyde solide)
SOLAS	Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer
SO_x	Oxydes de soufre
STCW	Convention internationale sur les normes de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille
UE	Union européenne
ZEE	Zones économiques exclusives

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A Support aux entrevues avec le potentiel producteur/fournisseur de carburant 147

ANNEXE B Support aux entrevues avec l'administration portuaire..... 150

ANNEXE C Support aux entrevues avec l'armateur/exploitant du navire..... 152

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, la lutte contre le changement climatique et la préservation de l'environnement sont devenus des priorités mondiales. Dans un contexte mondial marqué par une urgence climatique croissante, la décarbonisation des industries polluantes est devenue une priorité pour atteindre les objectifs de réduction des émissions de GES fixés par des accords tel que l'accord de Paris. (United Nations Climate Change, 2024). Le secteur maritime, responsable d'environ 3% des émissions mondiales de CO_2, est l'un des principaux contributeurs à ces émissions en raison de sa dépendance historique aux carburants fossiles. (Q. étude sur les gaz à effet de serre OMI, 2020). Avec la demande en transport maritime prévue pour augmenter, il devient crucial de mettre en œuvre des mesures visant à limiter l'impact environnemental de cette industrie. (E. Bouman et al., 2017).

Face à cette nécessité, la transition énergétique représente une des solutions clés pour atteindre ces objectifs de décarbonation; c'est ainsi que le transport maritime se tourne vers l'utilisation de carburants alternatifs, reconnus pour leur potentiel réduction des émissions de GES. Parmi les plus prometteuses figurent le GNL, le biodiesel, l'éthanol, l'ammoniac, l'hydrogène, le méthanol, l'e-méthanol et certains biocarburants avancés, qui offrent des perspectives intéressantes et d'amélioration de l'empreinte environnementale des navires. Ces alternatives sont envisagées comme solutions pour réduire les émissions non seulement de CO_2, mais également de SO_x, de NO_x et de PM. (T. Wang et al., 2023), (Y. Wang & Wright, 2021). Cependant chaque alternative représente des défis techniques et économiques, ainsi que des risques en termes de sécurité et de disponibilité, qui nécessitent des investissements conséquents et une infrastructure de soutien appropriée. En parallèle, l'intégration de ces nouveaux carburants exige une refonte des moteurs de navires, des systèmes de stockage et de distribution à bord des navires, ce qui entraîne des coûts significatifs pour les compagnies maritimes. (Christodoulou & Cullinane, 2023).

Dans ce contexte, les régulations internationales et nationales jouent un rôle fondamental pour guider et encadrer l'adoption de ces carburants alternatifs. L'OMI a fixé des objectifs ambitieux en matière de réduction des émissions de GES, tels que l'objectif de réduire 70% les émissions du secteur maritime d'ici 2050 par rapport aux niveaux de 2008, et de parvenir à une décarbonation complète d'ici la fin du siècle. (OMI, 2024d). De même, l'UE a mis en place des réglementations comme le FuelEU Maritime et l'intégration du secteur maritime dans l'ETS, qui impose des normes

strictes de réduction de l'émission et d'intensité carbone des navires opérationnels dans les eaux européennes. Ces mesures visent à encourager l'adoption de technologies propres et de carburants alternatifs dans une industrie largement dépendante des énergies fossiles. (Gasum, 2025), (European Commission, 2025).

Toutefois, peu de travaux de recherche se sont penchés de manière spécifique sur le mélange contenant de l'e-méthanol, ni sur l'analyse réglementaire et terrain contextualisée à un corridor maritime particulier. Ce mémoire se distingue donc par sa double spécificité : d'une part, il traite d'un mélange innovant et peu étudié à base d'e-méthanol ; d'autre part, il adopte une approche multidimensionnelle combinant une revue réglementaire approfondie et une étude de terrain menée auprès d'acteurs clés du secteur, le tout ancré dans le contexte du Saint-Laurent. Cette approche permet d'évaluer de manière réaliste les possibilités et les conditions d'adoption du mélange e-méthanol et biodiesel dans le cadre canadien et québécois.

Dans le cadre du projet GREENMET en général, une initiative visant à explorer l'intégration des carburants alternatifs dans le transport maritime, l'e-méthanol apparaît comme une solution prometteuse. Ce dernier est produit à partir de sources renouvelables comme l'hydrogène vert et le CO_2 capté, il constitue également une alternative viable pour réduire l'empreinte carbone des navires. Toutefois, son adoption à grande échelle nécessite d'analyser les implications réglementaires, techniques et économiques, ainsi que les risques liés à son utilisation. Dans ce contexte, il convient d'étudier son emploi dans des mélanges, et non pas comme substance pure en tant que carburant.

Ce mémoire s'attache donc à examiner l'influence des nouvelles régulations internationales et nationales sur l'adoption des carburants alternatifs, tout en identifiant les principaux freins et leviers associés à l'utilisation d'un mélange de carburant contenant de l'e-méthanol, notamment les défis technologiques, économiques et sécuritaires. Il s'agit également d'évaluer les impacts environnementaux et opérationnels liés à son intégration et de proposer des recommandations stratégiques pour soutenir la transition énergétique du secteur maritime.

Dans cette optique, ce travail est structuré de manière à couvrir progressivement les différentes dimensions du sujet. Une revue de littérature au chapitre 2 permet d'abord de contextualiser les efforts de décarbonation dans le transport maritime et de comparer les carburants alternatifs existants, en mettant en évidence leurs avantages et leurs contraintes. L'analyse méthodologique

du chapitre 3 expose l'approche adoptée pour étudier les cadres réglementaires et recueillir des données qualitatives auprès des acteurs clés de l'industrie maritime. Ensuite, une étude approfondie des lois et réglementations applicables permet d'évaluer la compatibilité du mélange e-méthanol – biodiesel avec les cadres législatifs en vigueur (chapitre 4), tandis qu'une analyse des risques identifie les principaux enjeux environnementaux, économiques et sécuritaires liés à son adoption (chapitre 5). Enfin, une discussion sur les mesures d'atténuation et les recommandations propose au chapitre 6 des solutions adaptées pour favoriser une transition réussie vers ce carburant alternatif.

Ce travail s'inscrit dans une volonté d'apporter une analyse rigoureuse et multidimensionnelle afin d'éclairer les acteurs du secteur maritime sur les défis et opportunités liés à l'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol. En mettant en avant les conditions nécessaires à son adoption, il vise à contribuer aux objectifs de décarbonation et à la transition énergétique du transport maritime.

CHAPITRE 2 CONTEXTE ET REVUE DE LITTÉRATURE

La décarbonation du secteur maritime est une priorité mondiale dans le cadre des efforts visant à limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C, conformément aux objectifs de l'accord de Paris. En 2020, le secteur maritime représentait environ 2 à 3 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES), avec une croissance prévue de 50 % d'ici 2050 si aucune action significative n'est entreprise. (*OMI - 2021 - Methodological issues under the Convention emissi.pdf*, s. d.). Les navires fonctionnent principalement avec des carburants fossiles tels que le HFO, caractérisés par des émissions de CO_2, NO_x, SO_x et de PM.

Des institutions internationales, comme l'OMI, ont pris des mesures pour limiter ces émissions. En 2018, l'OMI a adopté une stratégie initiale visant à réduire les émissions de GES du transport maritime d'au moins 50 % d'ici 2050 par rapport aux niveaux de 2008, tout en poursuivant des efforts vers une décarbonation complète du secteur. (OMI, 2024c).

L'un des piliers de la décarbonation est l'adoption de carburants alternatifs. Ces carburants comprennent le GNL, l'ammoniac, l'hydrogène, le biodiesel, l'éthanol, le e-méthanol, ainsi que des biocarburants de seconde génération. Chaque carburant offre des avantages environnementaux mais présente également des défis techniques et économiques. (Hansson et al., 2019). Le GNL est souvent perçu comme une solution de transition grâce à ses émissions réduites de SO_x et de NO_x par rapport au HFO. Toutefois, ses émissions fugitives de méthane, un GES puissant, remettent en question ses avantages environnementaux nets. (Jang et al., 2021). L'e-méthanol, produit via une combinaison de CO_2 capté et d'hydrogène vert, est présenté comme un carburant prometteur pour le transport maritime. Comparé au GNL, il offre une densité énergétique plus élevée et nécessite moins de modifications techniques pour les moteurs des navires existants. Toutefois, sa production nécessite des infrastructures complexes et un accès à des sources abondantes d'énergie renouvelable pour la production d'hydrogène vert. (Nemmour et al., 2023). L'hydrogène, particulièrement sous sa forme liquide ou sous pression, est une option zéro émission au point d'utilisation. Cependant, son faible rendement volumétrique et ses besoins en stockage cryogénique posent des défis. De plus, la production d'hydrogène vert reste énergivore et coûteuse, ce qui limite son adoption à grande échelle pour le moment. (Johnny, 2021). L'ammoniac, utilisé comme vecteur énergétique, ne produit pas de CO_2 lorsqu'il est brûlé. Cependant, ses émissions potentielles de NO_x

et ses implications en matière de sécurité nécessitent des technologies avancées de traitement des émissions et des protocoles de sécurité rigoureux. (Xing et al., 2021).

Le déploiement de carburants alternatifs nécessite des investissements massifs dans les infrastructures portuaires. Par exemple, le stockage du GNL exige des installations cryogéniques spécifiques, tandis que l'ammoniac et l'hydrogène éventuels des systèmes de manutention sécurisés en raison de leurs propriétés inflammables ou toxiques. (Deniz & Zincir, 2016). L'adoption de carburants alternatifs est freinée par les coûts élevés associés à la conversion des navires et au développement des infrastructures. Par exemple, un rapport de la société de classification Korean Register indique que l'ammoniac serait 32 % moins cher que l'hydrogène et 15 % moins cher que le méthanol. (Descamps, 2020).

Les carburants alternatifs présentent également des risques opérationnels. Les défis liés à la cryogénie, au potentiel d'explosivité ou aux réactions chimiques des carburants comme l'hydrogène et l'ammoniac ont nécessité des protocoles de sécurité renforcés. De plus, le manque d'uniformité dans les normes internationales complique les opérations interrégionales. (Geels et al., 2017). La réglementation internationale, en particulier la stratégie initiale de l'OMI sur les GES, joue un rôle clé dans l'accélération de la transition vers des carburants alternatifs. Des tels mécanismes que les EEDI et les systèmes de gestion de CII sont imposés pour réduire l'intensité carbone des navires. (IMO, 2021). (OMI, 2024d). Au Québec, des initiatives telles que la politique énergétique 2030 visent à encourager l'utilisation de carburants alternatifs, notamment via des subventions pour l'hydrogène vert et l'ammoniac. Ces efforts s'inscrivent dans un cadre plus large de réduction des émissions de GES de la province de 37,5 % d'ici 2030. (*Stratégie québécoise sur l'hydrogène vert et les bioénergies*, s. d.).

La transition vers des carburants alternatifs représente une opportunité majeure pour réduire l'empreinte carbone du secteur maritime, mais elle est entravée par des défis technologiques, économiques et réglementaires. Les synergies entre les acteurs publics et privés, combinées à des incitatifs financiers et des normes internationales harmonisées, seront essentielles pour surmonter ces obstacles et accélérer la décarbonation maritime. (Tvinnereim & Mehling, 2018).

Le secteur maritime joue un rôle crucial dans l'économie mondiale, assurant environ 90% du commerce internationale en volume. (OMI, 2024b). Cependant, il est également responsable de 2 à 3% des émissions mondiales de GES, une contribution significative aux changements

climatiques. (E. Bouman et al., 2017). La prise de conscience croissante des impacts environnementaux du transport maritime a conduit à la mise en place de politiques ambitieuses visant à réduire les émissions. L'OMI s'est fixé un objectif de réduction des émissions de GES de 50% d'ici 2050 par rapport aux niveaux de 2008 et vise une décarbonation complète du siècle. (OMI, 2024c). Dans ce contexte, le développement et l'adoption des carburants alternatifs sont considérés comme des leviers essentiels pour atteindre ces objectifs. Toutefois, cette transition s'accompagne de nombreux défis, notamment en termes de coûts, de sécurité, de réglementation et d'infrastructures. En parallèle, des stratégies complémentaires, telles que l'électrification des infrastructures portuaires et l'optimisation des opérations maritimes, contribuent également à réduire l'empreinte carbone de l'industrie. (Blomerus, 2022a).

Le choix du corridor maritime du fleuve Saint-Laurent comme contexte d'étude s'explique par son rôle stratégique en Amérique du Nord et sa forte sensibilité environnementale. (MTMD, 2021). En tant qu'axe logistique majeur soumis à des régulations avancées, il offre un cadre unique pour expérimenter des solutions énergétiques innovantes comme le mélange e-méthanol et biodiesel. Les résultats obtenus ici présentent un intérêt non seulement pour le contexte canadien, mais également comme modèle pour d'autres corridors maritimes internationaux engagés dans la transition énergétique.

Le fleuve Saint-Laurent joue un rôle clé dans le commerce maritime nord-américain, reliant les grands centres industriels du Canada et des États-Unis aux marchés internationaux. (MTMD, 2021). Sa configuration unique, marquée par une diversité de juridictions et des conditions climatiques exigeantes, en fait un terrain idéal pour analyser l'intégration des carburants alternatifs dans le transport maritime. Cette étude, en se concentrant sur l'utilisation d'un mélange de carburant contenant de l'e-méthanol, apporte une contribution originale à la littérature existante en évaluant les défis réglementaires et opérationnels spécifiques à ce corridor maritime.

L'approche adoptée ici vise à dépasser les simples comparaisons des alternatives énergétiques pour offrir une vision approfondie des implications légales, économiques et techniques liées à l'utilisation de ce carburant. En cela, le Saint-Laurent représente une étude de cas pertinente qui pourrait inspirer d'autres corridors de transport à l'échelle mondiale, tels que le Mississippi ou les voies maritimes européennes, où les enjeux d'infrastructures et de transition énergétique sont similaires.

Dans le cadre de cette revue, les références mobilisées proviennent à la fois de la littérature scientifique évaluée par les pairs et de la littérature dite « grise », incluant des rapports institutionnels, des documents gouvernementaux, ainsi que des analyses produites par des organismes spécialisés (*tels que Clear Seas, Révolution Énergétique, Transport Naval*). Si cette littérature grise constitue une source précieuse pour capter les dynamiques récentes du secteur maritime et les retours terrain, il convient néanmoins de noter qu'elle n'a pas toujours fait l'objet d'une révision par les pairs, et doit donc être interprétée avec le discernement nécessaire.

Cette section explore d'abord les principaux types de carburants alternatifs envisagés pour le transport maritime, puis examine les stratégies et cadres de décarbonation développés pour soutenir la transition énergétique. Enfin, elle analyse les risques et contraintes associés à cette transition, mettant en lumière les lacunes de la littérature existante et les opportunités d'amélioration. Parmi les solutions pour réduire les émissions de GES, les carburants alternatifs émergents comme des candidats majeurs, chacun offrant des avantages et des limitations spécifiques. La section suivante présente une revue des carburants alternatifs les plus prometteurs, en mettant l'accent sur leurs caractéristiques, leurs applications maritimes, et les défis à leur conception.

2.1 Décarbonation

La décarbonation maritime est devenue un impératif mondial face aux engagements climatiques pris dans le cadre de l'Accord de Paris. Le transport Le transport maritime est responsable d'environ 2 à 3 % des émissions mondiales de CO_2. La stratégie de l'OMI pour 2050, ainsi que des initiatives régionales comme le Green Deal européen, visent une décarbonation complète du secteur. Ces efforts sont soutenus par des mesures telles que le FuelEU Maritime Initiative et l'inclusion des émissions maritimes dans le ETS de l'UE. (Christodoulou & Cullinane, 2023). Cette contribution, bien que proportionnellement faible, est cruciale dans un secteur difficile à décarboner en raison de sa dépendance historique aux carburants traditionnels. Face à cet enjeu, plusieurs stratégies (technologiques, politiques et économiques pour réduire les émissions) ont été développés pour atteindre la neutralité carbone et en mettant en lumière les avancées, les défis et les lacunes existantes.

2.1.1 Décarbonation via les carburants alternatifs

Une des façons de décarboner est d'utiliser un carburant qui émet moins de GES. L'adoption de carburants dans le secteur maritime représente un pas essentiel vers la réduction des émissions de GES et des polluants atmosphériques. Contrairement aux carburants fossiles traditionnels, ces carburants offrent des avantages environnementaux significatifs, bien qu'ils présentent également des défis en termes de coûts, de disponibilité et d'infrastructure. Cette section examine les principaux types de carburants alternatifs disponibles, leurs caractéristiques, leurs avantages environnementaux, ainsi que leurs limites.

L'électrification des navires, combinée à des solutions comme l'électrification à quai, permet de réduire les émissions locales et d'améliorer la qualité de l'air dans les ports. (HAROPA PORT, 2023).

Les carburants renouvelables représentent une des solutions pour la décarbonation maritime. Plusieurs types de carburant sont étudiés à savoir : l'hydrogène et l'ammoniac, sont considérés comme des solutions zéro carbone à long terme, mais nécessitent des infrastructures et des technologies avancées pour leur adoption à grande échelle. Le GNL, qui permet une réduction de 5 à 30% des émissions de CO_2, contrairement au mazout lourd; il présente également des défis en matière de stockage et de rejets du méthane. Un GES beaucoup plus puissant. Le biodiesel, biocarburant de deuxième génération, issus de déchets agricoles ou forestiers, réduisent les émissions en quantité par rapport aux carburants fossiles. Cependant, leur disponibilité reste limitée, et leur impact environnemental varie selon leur origine. Et le méthanol (e-méthanol), facile à manipuler et compatible avec les navires existants, offrent un potentiel considérable pour réduire les émissions de GES, augmente la part des carburants renouvelables et à faibles émissions de carbone (LoZeC - Low and Zero-Carbon Fuels) dans le mix énergétique du transport maritime. (Malmborg, 2023). Ces carburants sont présentés dans la section 2.2 de ce mémoire.

La recherche technologique joue un rôle dans la décarbonation. Des innovations telles que les voiles rigides, les batteries marines et les piles à combustible qui ouvrent de nouvelles voies pour atteindre des objectifs zéro émission. (Zhang et al., 2021). Aussi, l'énergie éolienne et solaire, sont les technologies auxiliaires pour réduire la consommation de carburants fossiles.

2.1.2 Décarbonation via l'optimisation opérationnelle

L'amélioration des pratiques opérationnelles est une autre voie importante. La réduction de la vitesse (slow steaming) et l'optimisation des itinéraires permettent de réduire la consommation énergétique des navires. (E. Bouman et al., 2017). Cela inclut des mesures comme la réduction de la vitesse de navigation, la planification optimisée des trajets, la gestion du temps d'escale, des innovations techniques comme l'électrification à quai, l'énergie éolienne et l'électrification à quai des navires, qui demande de remplacer l'utilisation des générateurs diesel par une connexion aux réseaux électriques terrestres lorsque les navires sont amarrés. Les systèmes de gestion énergétique (Energy Management Systems – EMS), les carènes optimisées, et les systèmes de propulsion avancées réduisent considérablement, la consommation de carburant. (E. Bouman et al., 2017).

2.1.3 Décarbonation via le captage et le stockage du carbone

Bien que cette technologie soit encore émergente pour les applications maritimes, le captage et le stockage de carbone à bord des navires pourrait jouer un rôle clé. Les systèmes de CSC captent le CO_2, produit par la combustion et la stockent sous forme liquide ou solide pour un traitement ultérieur. (AFP, 2025).

2.1.4 Les défis liés à la décarbonation

La décarbonation ne pourra se faire sans incitatifs financiers ou réglementations. Des politiques internationales, telles que la stratégie initiale de l'OMI pour la réduction des émissions de GES, incitent à l'adoption de ces mesures. De plus, les mécanismes de marché comme les taxes carbone ou les systèmes d'échange de quotas de carbone pourraient accélérer la transition. (OMI, 2024a). La réglementation FuelEU Maritime favorise une transition vers des carburants (LoZeC) sans imposer de solution technologique spécifique, permettant ainsi aux exploitants des navires de choisir les technologies et carburants qui conviennent le mieux. (Malmborg, 2023). Les systèmes de taxation carbone ou système de plafonnement et d'échange (cap-and-trade) sont proposés pour inciter à la transition énergétique. Cependant leur adoption reste politiquement et économiquement complexe, avec des impacts variables selon les régions. (Tvinnereim & Mehling, 2018). Les mandats pour l'utilisation de carburants propres ou pour l'élimination progressive des combustibles peuvent accélérer la transition, mais nécessiter un soutien institutionnel fort. (Geels et al., 2017).

En ce qui concerne le Québec, nous avons constaté la production locale de carburants, ici on souligne la nécessité de développer des installations pour produire des carburants de remplacement. Ensuite des enjeux économiques et réglementaires, les prix élevés des carburants alternatifs et les incertitudes réglementaires qui freinent leur adoption. (Innovation Maritime, 2021).

Malgré ces progrès, plusieurs obstacles subsistent. Élevé des solutions bas carbones, les carburants alternatifs, coûts et technologie de pointe nécessitent des investissements importants. Manque d'infrastructures, les ports et les navires ne sont pas encore équipés pour manipuler des carburants comme l'hydrogène ou l'ammoniac. Coordination internationale, l'absence d'une réglementation uniforme freine l'adoption globale des technologies de décarbonation. (ONU commerce et développement, 2023), (Transport, 2024).

2.2 Carburants maritimes : état des lieux et alternatives

Le transport maritime joue un rôle crucial dans le commerce mondial, facilitant le déplacement de marchandises à travers le globe. Cependant, cette activité contribue de manière significative à la pollution atmosphérique et au changement climatique. En 2018, la flotte marchande mondiale, composée d'environ 117 000 navires d'un tonnage brut supérieur à 100, a atteint un tonnage brut total de 1,36 milliard. Entre 2008 et 2018, cette flotte a enregistré une croissance annuelle moyenne de 4,6 % en nombre de navires et de 5,0 % en tonnage brut. La consommation annuelle moyenne de carburant maritime entre 2007 et 2012 a été estimée entre 250 et 325 millions de tonnes, entraînant des émissions annuelles moyennes de 11,3 millions de tonnes de SO_x, 20,9 millions de tonnes de NO_x et 1 016 millions de tonnes de CO_2. Si les tendances actuelles se poursuivent, les émissions de CO_2 du secteur maritime pourraient augmenter de 50 à 250 % d'ici 2050 par rapport à 2012. (Xing et al., 2021).

Bien que les énergies renouvelables commencent à être utilisées, l'usage des combustibles fossiles reste prédominant. Il est plus difficile d'appliquer des systèmes d'énergie renouvelable dans le secteur des transports que dans les installations terrestres. En conséquence, l'utilisation de combustibles fossiles dans le secteur des transports reste prioritaire. On s'attend à ce que la consommation mondiale d'énergie sous forme de combustibles liquides dans le secteur des transports augmente pour atteindre 131 quadrillions de BTU en 2040, contre 96 quadrillions de BTU en 2010. Le transport maritime constitue une part importante du secteur des transports, et 90 % du commerce mondial est effectué par voie maritime. On peut donc dire que la majeure partie

de la consommation mondiale d'énergie sous forme de combustibles liquides dans le secteur des transports est générée par le transport maritime national et international. L'OMI indique que tous les navires consomment globalement 300 millions de tonnes de carburant par an. (Deniz & Zincir, 2016).

Les carburants alternatifs sont des options plus respectueuses de l'environnement par rapport aux carburants fossiles traditionnels. Ils incluent des carburants tels que le GNL, le biodiesel, l'éthanol, l'hydrogène, le méthanol, l'e-méthanol, l'ammoniac, le GBL, carburants synthétiques à base de fossiles, l'énergie éolienne et le HVO, etc. Ces carburants sont souvent utilisés dans le but de réduire les émissions de GES et d'autres polluants atmosphériques.

Les sections suivantes décrivent différents carburants destinés au transport maritime.

2.2.1 Carburants conventionnels

Les carburants conventionnels continuent de jouer un rôle central dans l'industrie maritime en raison de leur efficacité énergétique et de leur disponibilité. Cependant, leurs impacts environnementaux croissants, couplés aux pressions réglementaires, exigent une transition vers des solutions moins polluantes. Ces carburants conventionnels servent de base à la comparaison pour évaluer les avantages environnementaux des carburants alternatifs et définir une voie viable vers la décarbonation.

Les carburants réguliers, également appelés carburants fossiles conventionnels, sont principalement représentés par le HFO et le MDO. Ces carburants sont issus du pétrole brut et sont largement utilisés dans l'industrie maritime en raison de leur coût relativement faible et de leur disponibilité. Cependant, ils sont associés à des émissions élevées de GES et de polluants atmosphériques, tels que les NO_x, les SO_x, le CO, le CO_2 et les PM, contribuant ainsi de manière significative à la pollution de l'air et au changement climatique. Les émissions de CO_2 du transport maritime représentaient environ 2,5% des émissions mondiales de GES en 2012. De plus, les émissions de soufre et de particules fines résultant de l'utilisation de HFO contribuent significativement à la pollution de l'eau, de l'air et aux problèmes de santé publique. (E. A. Bouman et al., 2017).

Tableau 2.1 : Types de carburants conventionnels

Type de Carburant	Caractéristiques principales	Impacts Environnementaux	Remarques
Fioul Lourd (HFO) (Q. étude sur les gaz à effet de serre OMI, 2020)	Résidu de raffinerie Teneur élevé en soufre et métaux lourds Faible coût et densité énergétique élevée (~40 MJ/kg).	Émet des quantités importantes de SO_2, NO_x, PM et CO_2. Responsable de 3% des émissions mondiales de CO2 dans le secteur maritime.	Utilisé pour les grands navires de haute mer. Impact significatif sur les émissions de GES et la qualité de l'air.
Diesel Marin (MDO / MGO) (E. Bouman et al., 2017)	Contient moins d'impuretés que le HFO Compatible avec la plupart des moteurs Plus coûteux que le HFO.	Moins d'émissions locales (SO_2 et NO_x) que le HFO. Produit encore des quantités significatives de CO_2. Conformité aux normes ECA (soufre < 0,1%).	Fréquemment employé dans les navires de petite taille ou pour des moteurs auxiliaires. Une alternative plus propre que le HFO.
Gaz Naturel Liquéfié (GNL) (Fatih, 2021)	Composé principalement de méthane Nécessité des réservoirs cryogéniques (-162ºC). Réduction significative des polluants locaux.	Très faibles émissions de SO_2, NO_x, et PM. Risque élevé de fuite de méthane, un GES 28 fois plus puissant que le CO_2 (PRG À 100 ans).	Alternative en plein essor. Réduction des émissions locales, mais défis liés aux fuites de méthane.
Carburants Résiduels Mixtes (Tan et al., 2022)	Mélange de HFO et de distillats marins. Adaptés à différents moteurs. Moins coûteux que le MGO, mais plus cher que le HFO. Conforme aux normes de soufre dans les ECA.	Réduction des émissions de SO_2 grâce au mélange. Toujours des émissions significatives de CO_2 et de PM. Solution transitoire avant l'adoption de carburants alternatifs.	Option flexible répondant aux normes actuels tout en offrant un compromis économique et environnemental.

2.2.2 Gaz naturel liquéfié (GNL)

Principalement composé de méthane, le GNL est liquéfié à une température de -161ºC, ce qui réduit son volume par un facteur de 600 et le rend énergétiquement dense pour le transport maritime. Il est inodore, incolore, non corrosif et non toxique. Nécessité des réservoirs cryogéniques hautement isolés pour maintenir sa basse température et éviter l'évaporation. (Blomerus, 2022b).

Le GNL a été promu comme « carburant de transition » en raison de ses émissions plus faibles de SO_x et de NO_x par rapport au HFO et au MGO. Il permet de réduire considérablement les locaux, contribuant ainsi à améliorer la qualité de l'air autour des ports et des zones côtières. La combustion incomplète du GNL entraîne une fuite de méthane, un processus par lequel du méthane non brûlé

est émis dans l'atmosphère. Le méthane a un PRG 25 à 30 fois supérieur à celui du CO_2, sur 100 ans, ce qui peut annuler les avantages en termes de GES. (Jang et al., 2021).

Le GNL a une densité énergétique volumétrique inférieure à celle des carburants marins traditionnels, ce qui nécessite des réservoirs de stockage plus grands à bord des navires, ce qui pourrait affecter la conception des navires et la capacité de chargement. (Jang et al., 2021). Il est compatible avec les normes internationales telles que l'annexe VI de MARPOL qui impose des limites strictes sur les émissions. Ainsi, il faut préparer les exploitants aux futures régulations environnementales. En cas de déversement, le GNL s'évapore rapidement, minimisant les impacts environnementaux graves comparés aux hydrocarbures liquides. (Blomerus, 2022b).

Des méthodologies d'ACV standardisées devraient être mises en œuvre pour garantir des évaluations environnementales cohérentes. (Jang et al., 2021). Il est essentiel d'investir dans la réduction des émissions de méthane lors du fonctionnement des moteurs au GNL. La conception des moteurs et des technologies de post-traitement doit évoluer pour améliorer l'efficacité et minimiser les fuites. Le GNL devrait intégrer dans le cadre d'une stratégie multi-carburants, combinant son utilisation avec des alternatives renouvelables comme le bio-GNL et l'hydrogène vert pour atteindre des objectifs de durabilité plus larges. (Jang et al., 2021).

2.2.3 Biodiesel

Dérivé d'huiles végétales ou de graisses animales, le biodiesel peut être utilisé comme carburant drop-in, ce qui signifie qu'il peut être mélangé avec du diesel fossile dans les moteurs marins existants. Il est renouvelable et peut réduire les émissions de GES, bien que son impact environnemental dépende fortement des premières matières utilisées. (Knothe, 2010).

Lubrification supérieure, le biodiesel réduit l'usure des moteurs. Point éclair élevé, nécessite de la sécurité lors du stockage. Le biodiesel se décompose rapidement que le diesel pétrolier, notamment les impacts environnementaux en cas de déversements. Il peut geler à des températures plus élevées que le diesel conventionnel, nécessitant des modifications pour les environnements froids. L'oxydation rapide peut entraîner une dégradation du carburant pendant le stockage. (Knothe, 2010).

Le biodiesel ayant pour impacts environnementaux, la baisse des émissions des PM, de CO, et d'hydrocarbures non brûlés. Légère augmentation des NO_x, nécessitant des technologies comme la

SCR. Les esters méthyliques de biodiesel dérivés de culture comme le soja, peuvent réduire les émissions de CO_2 d'environ 50 à 85% par rapport au diesel fossile. (Knothe, 2010).

Le biodiesel est plus élevé que le diesel conventionnel en raison du prix des matières premières. Le glycérol, sous-produit de la production, impacte les marges économiques. Le biodiesel a besoin de subventions ou d'incitations réglementaires pour concurrencer les carburants fossiles. Comme optimisation des propriétés, le biodiesel a besoin de la recherche continue sur l'amélioration des compositions estériques pour résoudre les problèmes liés à la température et à l'oxydation. (Knothe, 2010).

2.2.4 Éthanol

L'éthanol (C_2H_5OH) est un produit principalement par fermentation de sucres de matières agricoles. Les principales régions productrices incluent le Brésil (canne à sucre), les États-Unis (maïs) et l'Europe (betteraves). La production est accompagnée de sous-produits comme l'électricité dans les usines utilisant des systèmes de cogénération. L'éthanol absorbe facilement l'eau, ce qui peut poser des défis en termes de stockage dans des environnements marins humides. (Dias De Oliveira et al., 2005), (Joanne & Kim, 2018). L'éthanol a une densité énergétique plus faible que les carburants fossiles comme le diesel marin. Sa combustion libère environ 21 MJ/L, contre environ 42-45 MJ/Kg pour le diesel. (Hart, 2023).

L'éthanol est considéré comme un carburant à faible teneur en carbone lorsqu'il est produit à partir de biomasse. Il permet de réduire les émissions de CO_2, de particules fines et de NOx par rapport aux carburants fossiles traditionnels. (Dias De Oliveira et al., 2005). Mélangé à d'autres carburants ou utilisé comme combustible principal, il offre un potentiel de conformité avec les réglementations MARPOL (Annexe VI) visant à réduire les émissions des navires. Des modifications relativement simples des moteurs existants peuvent rendre les navires capables d'utiliser de l'éthanol, notamment avec des technologies dual-fuel (moteurs utilisant à la fois du diesel et de l'éthanol). (Hart, 2023).

Sa faible densité énergétique signifie qu'il en faut davantage pour parcourir la même distance qu'avec des carburants traditionnels. Cela peut augmenter les besoins de stockage à bord. En raison de son caractère hydrophile et de sa réactivité chimique, l'éthanol peut entraîner une corrosion des réservoirs et pipelines en acier traditionnel. Cela nécessite des matériaux spéciaux pour le stockage

et le transport. Le stockage de l'éthanol dans les ports et son transport international peut nécessiter des infrastructures adaptées, ce qui représente un coût initial élevé pour son adoption. (Hart, 2023).

Les coûts de production varient en fonction des matières premières et des procédés utilisés. Par exemple, le coût de l'éthanol à partir de la canne à sucre au Brésil est inférieur à celui produit à partir du maïs aux États-Unis, grâce à des processus de cogénération plus efficaces. (Dias De Oliveira et al., 2005).

La conversion des moteurs marins et des infrastructures portuaires pour gérer l'éthanol peut représenter des coûts initiaux significatifs. Cependant, ces coûts peuvent être compensés par des économies à long terme sur les émissions et la conformité réglementaire. (Joanne & Kim, 2018).

Actuellement, l'éthanol est plus coûteux par unité d'énergie que le diesel marin. Cependant, avec des incitations gouvernementales et des taxes sur le carbone, cela pourrait changer dans le futur. (Joanne & Kim, 2018).

L'adoption de l'éthanol dans le secteur maritime dépend fortement des incitations réglementaires et économiques. Des initiatives comme celles de l'OMI et des projets pilotes réalisés par des entreprises comme Wärtsilä montrent que l'éthanol est une option prometteuse pour la décarbonisation des navires à court terme et moyen termes. (Wärtsilä, 2024).

2.2.5 Ammoniac

L'ammoniac (NH3), produit à partir d'hydrogène (ce qui signifie que son empreinte carbone dépend de la méthode de production de son hydrogène) et d'azote, est une option sans carbone pour le secteur maritime, et qui peut être utilisé dans des moteurs à combustion interne ou des piles à combustible. Ce carburant est un vecteur d'énergie Bien qu'il ne produise pas de CO_2 à l'utilisation, il pose des défis en termes de légèreté et de manipulation. Lorsqu'il est produit à partir d'énergies renouvelables, on parle « d'ammoniac vert ». (Κουμνιώτης & Koumniotis, 2022).

L'ammoniac possède une densité énergétique d'environ 22,5 MJ/L, relativement élevée comparée à d'autres carburants alternatifs comme l'hydrogène sous forme gazeuse. Un point d'éclair de -33°C, ce qui le rend hautement inflammable et nécessite des précautions strictes pour le stockage et la manipulation. Fortement toxique, pour les humains et les écosystèmes marins en cas de fuite. L'ammoniac peut être liquéfié sous pression (généralement 10-15 bars à température ambiante) ou refroidi à des températures cryogéniques. (Martin Cames et al., 2021).

L'ammoniac présente de nombreux avantages notamment, il ne contient pas de carbone, ce qui signifie que sa combustion ne produit pas de CO_2, contribuant ainsi à la réduction des GES. Il est avantageux en termes de réduction des GES, mais il présente des défis importants concernant les émissions de NOx et de N_2O, un GES puissant. Les systèmes de post-traitement des gaz d'échappement peuvent réduire les émissions de NOx, mais une technologie supplémentaire est nécessaire pour traiter N_2O. Sa forte densité énergétique permet une autonomie comparable à celle des carburants traditionnels, notamment les besoins en espace de stockage à bord. Sa productivité et son transport à grande échelle pour des applications industrielles, facilite son adoption dans le secteur maritime. Les moteurs à combustion interne peuvent être adaptés pour utiliser l'ammoniac, après décomposition en hydrogène. En plus de l'absence de CO_2, l'ammoniac ne produit pas de particules fines ni de SO_x, améliorant la qualité de l'air dans les ports et les zones côtières. (Martin Cames et al., 2021).

Par ailleurs, l'ammoniac est toxique et corrosif, posant des risques pour la santé humaine et la sécurité environnementale en cas de déversement. Nécessité de systèmes de détection et de confinement avancés pour prévenir les accidents. La grande partie de l'ammoniac est encore produit grâce à des sources fossiles, ce qui réduit ses avantages environnementaux. La transition vers une production d'hydrogène vert est cruciale mais coûteuse. La nécessité des infrastructures spécifiques pour le stockage sous pression ou à basse température, impliquant des investissements importants. Les moteurs doivent être spécialement conçus ou modifiés pour brûler l'ammoniac efficacement et proprement, ce qui nécessite des recherches et des développements supplémentaires. Un cycle de vie complet doit être considéré, incluant la production, le transport, la combustion et la gestion des émissions. (Yadav & Jeong, 2022). Bien que l'ammoniac soit impliqué moins que d'autres carburants sans carbone comme l'hydrogène, il reste cher à produire en raison de la complexité de sa chaîne de production. (Nemmour et al., 2023). Les coûts d'infrastructure supplémentaires pour garantir la sécurité augmentent les initiales pour les opérateurs maritimes. (Κουμνιώτης & Koumniotis, 2022).

L'ammoniac se positionne comme un carburant clé pour le secteur maritime visant la neutralité carbone. Les recherches actuelles se concentrent sur l'amélioration des technologies de production d'ammoniac, le développement de moteurs adaptés et la sécurisation des infrastructures de stockage et de distribution. Avec le soutien des politiques internationales de décarbonisation et les investissements industriels croissants, l'ammoniac pourrait devenir une composante essentielle des

stratégies énergétiques maritimes futures. (Yadav & Jeong, 2022). L'ammoniac : un favori dans la course aux carburants propres mais une alternative toxique. (Blomerus, 2022a).

2.2.6 Hydrogène

L'hydrogène est un carburant alternatif diatomique ayant une densité énergétique importante (environ 120MJ/kg, soit trois fois plus que le diesel marin), ce qui en fait une solution captivante pour les navires d'autonomie importante. (Wärtsilä, 2022), (EMSA, 2023). Il est mis en avant pour sa combustion propre, produisant principalement de l'eau comme son produit. Il possède un grand champ de caractéristiques attrayante, telles qu'une plage d'inflammabilité élevée (4-74% dans l'air) et une vitesse de flamme rapide, ce qui en fait un combustible idéal pour une combustion complète. Ce qui nécessite des mesures de sécurité strictes. (Deniz & Zincir, 2016). (*Innovation Maritime - 2021 - Étude sur les carburants alternatifs dans le trans.pdf*, s. d.). L'hydrogène est un gaz inodore, non toxique et inflammable avec un PCI très élevé. Sa faible densité (0,07 kg/L à l'état liquéfié) le rend difficile à stocker, nécessitant des réservoirs 4,35 fois plus grands que pour le diesel marin. (*Innovation Maritime - 2021 - Étude sur les carburants alternatifs dans le trans.pdf*, s. d.). L'hydrogène présente des défis liés à son stockage et à son transport, en raison de sa faible densité volumique énergétique. Il peut être stocké sous forme comprimée ou liquéfiée, nécessitant des conditions cryogéniques pour la liquéfaction à -253ºC, ce qui implique des coûts et des installations spécifiques. (Deniz & Zincir, 2016), (Xing et al., 2021).

L'hydrogène peut être distingué de plusieurs façons. Premièrement à partir de sources fossiles libérant du CO_2 et donc non adapté à la réduction des émissions de GES, ceci étant de l'hydrogène gris. Deuxièmement, produit à partir de sources fossiles avec captage et stockage du CO_2, notamment les émissions, cela étant de l'hydrogène bleu. Troisièmement, produit via électrolyse alimentée par des énergies renouvelables, comme l'éolien ou le solaire, offrant un potentiel de réduction des GES non loin du 100%, cela étant de l'hydrogène vert. (*Innovation Maritime - 2021 - Étude sur les carburants alternatifs dans le trans.pdf*, s. d.), (Xing et al., 2021). La majorité de l'hydrogène est produite via le reformage du GNL, émettant beaucoup de CO_2. Les procédés innovants (photo électrochimie, conversion microbienne) sont encore en recherche et développement. (Xing et al., 2021). Et en 2018, 144 Mt d'hydrogène ont été produits, avec seulement 1% provenant de l'électrolyse (hydrogène vert). (*Innovation Maritime - 2021 - Étude sur les carburants alternatifs dans le trans.pdf*, s. d.).

En ce qui concerne, l'utilisation énergétique, l'hydrogène peut être utilisé dans des moteurs à allumage par étincelle (allumage commandée) avec des émissions réduites de NO_x principalement ou des piles à combustible (comme PEMFC ou SOFC). Les moteurs bicarburants (hydrogène-diesel) offrent des performances intéressantes, bien que des limitations liées au cognement et aux taux de substitution énergétique soient notées. Les piles à combustible sont une technologie prometteuse, mais sont actuellement limitées pour les petites applications maritimes. (Deniz & Zincir, 2016), (Xing et al., 2021), (*Innovation Maritime - 2021 - Étude sur les carburants alternatifs dans le trans.pdf*, s. d.).

L'hydrogène présente également des limites telles que, les problèmes de stockage et de manipulation, car le stockage liquide nécessite des réservoirs cryogéniques bien isolés et des systèmes anti-fuite complexes, car même la moindre fuite pourrait entraîner des risques d'explosion. Cela rend l'installation coûteuse et technologiquement exigeante. (Wärtsilä, 2022). Faible efficacité volumétrique, comparé au diesel, le stockage de l'hydrogène sous forme liquide ou compressée requis jusqu'à 8 fois plus d'espace, ce qui limite son adoption pour certains types de navires. (Wärtsilä, 2022), (EMSA, 2023). Réglementation incomplète, l'absence de cadres réglementaires spécifiques pour l'utilisation de l'hydrogène maritime freine son développement. Bien que l'OMI travaille à inclure l'hydrogène dans le code IGF, des obstacles subsistent. (EMSA, 2023). Le transport en vrac de l'hydrogène reste non réglementé, bien que des initiatives bilatérales (comme l'Australie et le Japon) permettent des progrès. Le code IGF régit son utilisation. (*Innovation Maritime - 2021 - Étude sur les carburants alternatifs dans le trans.pdf*, s. d.). Production coûteuse, l'hydrogène vert reste coûteux à produire en raison des besoins en électrolyse à base d'énergies renouvelables. Cependant les coûts devraient diminuer avec le développement des infrastructures et l'augmentation de la demande. (Wärtsilä, 2022), (EMSA, 2023). Actuellement, l'hydrogène a une empreinte carbone élevée lorsque produit par des méthodes conventionnelles comme le reformage du méthane. Et l'augmentation de l'utilisation des énergies renouvelables pourrait améliorer son profil environnemental. (Deniz & Zincir, 2016). Le développement de l'hydrogène dépendra d'une législation stricte, de la maturité des technologies et du soutien politique dans les zones maritimes. (Xing et al., 2021). Les ports doivent être équipés de stations de ravitaillement adaptées pour le stockage et la manipulation sécurisée de l'hydrogène. Cette transition nécessitera des investissements massifs dans des infrastructures spécifiques. (EMSA, 2023).

Les coûts initiaux sont élevés en raison des besoins en isolation cryogénique et en systèmes de stockage spécifiques. Les coûts des équipements sont comparables à ceux du GNL. L'hydrogène dépend fortement de la source de production. Les régions riches en hydroélectricité, comme le Québec, offrent des coûts moindres. Des formations spécifiques pour le personnel sont nécessaires. (*Innovation Maritime - 2021 - Étude sur les carburants alternatifs dans le trans.pdf*, s. d.).

L'hydrogène est identifié comme un vecteur énergétique clé pour une transition énergétique maritime durable, mais il nécessite des investissements importants dans l'infrastructure et la technologie. Des progrès en matière de réglementation et de réduction des coûts sont cruciaux pour son adoption à grande échelle. (*Innovation Maritime - 2021 - Étude sur les carburants alternatifs dans le trans.pdf*, s. d.), (Xing et al., 2021), (Deniz & Zincir, 2016).

Plusieurs projets sont en cours, tels que ceux menés par Wärtsilä et des sociétés de classification pour développer des moteurs, des systèmes de stockage et des approbations réglementaires pour les navires fonctionnant à l'hydrogène. (Wärtsilä, 2022). Le soutien des gouvernements et des organismes internationaux comme l'EMSA, pousse à l'adoption de l'hydrogène comme carburant durable à long terme. (EMSA, 2023).

2.2.7 Méthanol et e-méthanol

Molécule simple avec une structure chimique (CH_3OH), le méthanol est inflammable à température ambiante et brûle avec une flamme presque invisible. Ses caractéristiques incluent : un point d'éclair relativement bas (12ºC), une température d'auto-inflammation de 470°C, un contenu en soufre de 0.5 PPM bien inférieur aux limites exigées dans les SECA, une valeur calorifique inférieure de 19,9 MJ/kg soit environ la moitié de celle des carburants fossiles comme le diesel et les résidus et une densité de 0.796 kg/dm³ à 15°C, également plus faible que les carburants comme le MGO. (Lundgren & Wachsmann, s. d.). Le méthanol un alcool avec une faible marge lorsqu'il est manipulé correctement. Liquide à température ambiante, raison pour laquelle sa manipulation et son stockage sont considérables contrairement aux autres combustibles gazeux comme l'hydrogène ou le GNL. Le méthanol est spécifiquement intéressant comme carburant marin grâce à sa capacité à réduire significativement les émissions SO_x, NO_x, et des particules fines lorsqu'il est utilisé dans des moteurs optimisés. Il est peut-être soit pur, soit mélangé avec d'autres carburants, ce qui en fait une option flexible pour divers types de navires. (Xing et al., 2021). Le méthanol vert joue un rôle important en matière de transition énergétique pour atteindre les

objectifs de durabilité du secteur. Ce qui fait en sorte que les compagnies maritimes à l'instar de Maersk, Stena Proman et Van Oord prennent les devants pour intégrer cette alternative dans leurs opérations. (Green Maritime Methanol et al., 2023). De plus, une expérience opérationnelle significative est déjà disponible grâce à l'utilisation des méthaniers dédiés au transport de méthanol à l'échelle mondiale. Ces navires démontrent une pratique importante et sûre pour le transport de méthanol, notamment par des entreprises comme Methanex Corp qui fait partie des compagnies qui possèdent la plus grande flotte mondiale de méthaniers et équipe certains de ses navires de moteurs fonctionnant au méthanol. (Blomerus, 2022a). Le méthanol se distingue sous plusieurs formes, à savoir, le méthanol gris qui est produit à partir du GNL, et qui génère des émissions de GES légèrement supérieures au MGO; le méthanol bleu qui est produit à partir de GNL avec CSC, et réduit les émissions comparé au méthanol gris, mais reste dépendant de la chaîne d'approvisionnement en gaz naturel; le méthanol vert (biométhanol) qui est produit issus des matières premières émanant de la biomasse et de l'hydrogène vert , il réduit les émissions de GES jusqu'à 80%; le méthanol électronique (e-méthanol) qui est généré via l'électrolyte alimentée par des énergies renouvelables et utilisant du CO_2 capté, il est la version la plus respectueuse du climat. (International Council on Clean Transportation, 2021a).

Le méthanol peut être utilisé dans des moteurs diesel à deux temps ou des moteurs à quatre temps. Les ajustements nécessaires sont minimes comparés à ceux requis pour les carburants cryogéniques comme le GNL. Les moteurs bicarburant permettent de combiner méthanol et carburants fossiles; MAN et Wärtsilä illustrent bien cette compatibilité. (*Innovation Maritime - 2021 - Étude sur les carburants alternatifs dans le trans.pdf*, s. d.). Lors des essais, l'efficacité du moteur fonctionnant au méthanol est comparable à celle des carburants traditionnels, voire supérieure dans certains cas. La réduction des émissions de gaz et la performance stable sous diverses charges font du méthanol un carburant adapté aux moteurs marins modernes. (*FCBI Energy et Karin andersson - 2015 - Methanol as a Marine fuel report.pdf*, s. d.).

Le méthanol lorsqu'il est utilisé comme carburant marin, présente un faible impact environnemental en termes d'émissions de CO_2. Une analyse de cycle de vie montre que l'hydrogène liquide produit à partir de méthanol vert réduit les émissions de CO_2 de manière significative, avec une réduction allant jusqu'à 100% par rapport aux carburants conventionnels comme le MGO. Cependant, lorsque le méthanol est produit à partir de sources fossiles, il peut

émettre plus de CO_2, que les carburants classiques dans son cycle de vie. (*FCBI Energy et Karin andersson - 2015 - Methanol as a Marine fuel report.pdf*, s. d.).

Le méthanol est un liquide inflammable à faible point d'éclair de 11°C, ce qui signifie qu'il est sensible à l'inflammation des basses températures. Cela nécessite des mesures de sécurité spécifiques lors de son transport et de son stockage. La manipulation et le stockage du méthanol sont similaires à ceux du MGO et du HFO, avec des réservoirs adaptés et des protocoles de sécurité déjà bien établis dans l'industrie chimique. (*FCBI Energy et Karin andersson - 2015 - Methanol as a Marine fuel report.pdf*, s. d.).

Le méthanol est produit et utilisé dans le monde entier, notamment en Asie, en Europe, en Amérique du Nord et en Amérique du Sud. Avec une production annuelle de plus de 100 millions de tonnes, la capacité mondiale de production est largement suffisante pour répondre à la demande maritime croissante. Et bien que la demande de méthanol comme carburant marin soit encore faible, elle est en augmentation, surtout dans les zones où des réglementations environnementales strictes sont en place, comme la mer du Nord et la mer Baltique. La demande en méthanol dans ces régions pourrait atteindre 2 millions de tonnes par an pour remplacer 5% des carburants industriels utilisés dans ces zones maritimes. (*FCBI Energy et Karin andersson - 2015 - Methanol as a Marine fuel report.pdf*, s. d.).

Le méthanol utilisé aujourd'hui provient principalement du gaz naturel fossile via le reformatage du méthane à la vapeur, un processus générant des émissions significatives des GES. Les études révèlent que les émissions des GES associées au méthanol fossile sont souvent plus élevées que celles des carburants fossiles traditionnels comme le fioul lourd. Cela pose un défi en termes d'impact climatique, imposant obligatoirement le développement de méthanol produit de manière durable (e-méthanol). (Blomerus, 2022a).

Bien que le méthanol soit largement disponible dans le secteur chimique, son utilisation comme carburant maritime nécessite des investissements pour des installations de soutien. (*Innovation Maritime - 2021 - Étude sur les carburants alternatifs dans le trans.pdf*, s. d.).

Les ports nécessitent des investissements pour créer des installations adaptées au stockage et à la distribution du méthanol, qui restent actuellement limitées. (Xing et al., 2021). Le prix du méthanol varie en fonction des sources utilisées (fossiles ou renouvelables). En général, le méthanol produit à partir du gaz naturel (méthanol gris) est le moins cher. (Lundgren & Wachsmann, s. d.). Le

méthanol en particulier le e-méthanol est plus coûteux comparé aux autres carburants alternatifs. Ces coûts sont élevés associés à la production, au stockage et au transport. (Xing et al., 2021). Avec un coût estimé à 643 $/tonne pour le méthanol vert contre 417 $/tonne pour le méthanol gris. Variables d'émissions, car elles dépendent fortement de la source et du processus de production du méthanol. (International Council on Clean Transportation, 2021b). L'usage du méthanol nécessite des ajustements réglementaires pour assurer une adoption sécurisée. (Xing et al., 2021). Les politiques actuelles, notamment au niveau européen, mettent davantage l'accent sur les émissions « du réservoir à la roue », ce qui peut limiter l'attractivité du méthanol vert. (Green Maritime Methanol et al., 2023).

Les coûts d'adaptation au méthanol sont inférieurs à ceux du GNL, car il ne nécessite pas de réservoirs cryogéniques. Aussi, le coût du méthanol reste supérieur à celui du MGO, influencé par les marchés du gaz naturel et de l'électricité renouvelable. (*Innovation Maritime - 2021 - Étude sur les carburants alternatifs dans le trans.pdf*, s. d.).

L'OMI travaille sur l'élaboration d'un cadre réglementaire pour les carburants à faible point d'éclair, dont le méthanol dans le cadre du code IGF. Ce code vise à permettre une utilisation plus sûre de ces carburants dans les navires. (*FCBI Energy et Karin andersson - 2015 - Methanol as a Marine fuel report.pdf*, s. d.), (Lundgren & Wachsmann, s. d.).

Le méthanol bénéficie d'un intérêt croissant grâce aux exigences de l'OMI visant à réduire les émissions de GES dans le transport maritime. Plusieurs armateurs et ports envisagent le méthanol comme une solution viable à court et moyen terme pour atteindre les objectifs de durabilité. (Xing et al., 2021).

Pour encourager l'adoption du méthanol vert, l'article (International Council on Clean Transportation, 2021b) recommande des incitations réglementaires comme des taxes sur les combustibles fossiles ou des mandats sur les carburants alternatifs, et des investissements publics et privés dans les technologies de production durable de méthanol. (International Council on Clean Transportation, 2021b). Avec des efforts accumulés dans la production de méthanol vert, des avancées dans les infrastructures, et des incitations politiques, le méthanol pourrait devenir une solution clé pour réduire l'empreinte carbone du transport maritime. (*Innovation Maritime - 2021 - Étude sur les carburants alternatifs dans le trans.pdf*, s. d.).

La transition vers un méthanol à faible émission de GES repose sur deux principales étapes, à savoir : premièrement, le remplacement de l'hydrogène fossile, ici, l'hydrogène nécessaire à la production de méthanol peut être remplacé par de l'hydrogène vert, obtenu par électrolyse alimentée par des énergies renouvelables; deuxièmement, la source de carbone renouvelable, puisque la molécule de carbone contient du carbone (CH_3OH), le CO_2, atmosphérique peut être capturé directement pour servir de matière première dans la production de l'e-méthanol. (Blomerus, 2022a).

L'e-méthanol est considéré comme une option prometteuse pour la transition énergétique maritime, malgré ses défis technologiques et économiques. Plusieurs grandes compagnies maritimes, comme Maersk, ont déjà commandé des navires fonctionnant à l'e-méthanol, ont présenté l'intérêt croissant pour ce carburant comme solution à moyen terme. (News, 2023). L'OMI encourage l'adoption de carburants alternatifs comme l'e-méthanol pour atteindre ses objectifs de réduction des émissions d'ici 2050. (Q. étude sur les gaz à effet de serre OMI, 2020). Des incitations financières et des réglementations plus strictes sur les émissions pourraient accélérer la diffusion de l'e-méthanol.

2.3 Enjeux liés à l'adoption des carburants alternatifs

La transition vers des carburants alternatifs dans le secteur maritime est un élément clé de la décarbonation mondiale. Cependant, leur mise en œuvre ne peut être improvisée, car elle implique des modifications techniques, économiques et institutionnelles majeures. Une analyse approfondie est nécessaire pour comprendre les implications avant leur adoption à grande échelle. Cette analyse inclut :

2.3.1 Identification des besoins

Selon la quatrième étude de l'OMI sur les GES (2020), la part des émissions de gaz à effet de serre du transport maritime total (incluant le transport international, national et la pêche) représentait 2,89 % des émissions anthropiques mondiales en 2018, contre 2,76 % en 2012. Pour le transport maritime international, qui est généralement la référence dans les analyses sectorielles, l'étude indique que ses émissions de CO_2 ont augmenté de 701 millions de tonnes en 2012 à 740 millions de tonnes en 2018 (+5,6 %), représentant environ 2 % des émissions mondiales de CO_2 sur cette période. Les projections indiquent que ces émissions pourraient augmenter de 90 à 130 % d'ici

2050 par rapport à 2008 si aucune mesure drastique n’est mise en œuvre. (Q. étude sur les gaz à effet de serre OMI, 2020).

Des normes internationales croissantes (par exemple, la stratégie initiale de l'OMI sur les GES) et des taxes carbone imposées par certaines juridictions nécessitent l'intégration de carburants alternatifs dans la flotte maritime. (OMI, 2024d). La demande croissante pour des chaînes d'approvisionnement écologiques pousse les armateurs à adopter des solutions plus durables pour répondre aux attentes des clients. Chaque carburant alternatif présente des avantages et des limites qu'il faut analyser en fonction des besoins et des objectifs.

2.3.2 Contraintes avant la mise en place

L'introduction d'un nouveau carburant nécessite souvent des modifications techniques majeures sur les moteurs et les systèmes de stockage. Les navires fonctionnant au GNL ou à l’ammoniac doivent être équipés de réservoirs cryogéniques. (*Innovation Maritime - 2021 - Étude sur les carburants alternatifs dans le trans.pdf*, s. d.). Les ports doivent s’adapter pour offrir des infrastructures de soutage (approvisionnement en carburant), ce qui implique des investissements importants. (Al-Enazi et al., 2021).

La transition vers les carburants alternatifs nécessite des investissements massifs dans les navires, les infrastructures et la formation du personnel. La conversion d’un navire pour qu’il fonctionne au méthanol peut coûter entre 10 et 20 % du prix initial du navire. (Fagerlund, 2014). Les carburants alternatifs, comme le méthanol ou l’hydrogène, ont une densité énergétique inférieure aux combustibles fossiles, augmentant les coûts opérationnels. (*FCBI Energy et Karin andersson - 2015 - Methanol as a Marine fuel report.pdf*, s. d.).

Les carburants alternatifs peuvent avoir une empreinte carbone importante si leur production repose sur des énergies fossiles (par exemple, hydrogène gris ou méthanol dérivé du gaz naturel). (ENGIE, 2024). Certains carburants, comme l’ammoniac, sont toxiques et nécessitent des mesures de sécurité renforcées pour éviter les accidents. (MAYER, 2024).

Les communautés locales et les parties prenantes doivent être sensibilisées aux avantages et aux risques des carburants alternatifs. Les ports et les riverains peuvent résister à l’installation d’infrastructures manipulant des produits toxiques comme l’ammoniac. La transition dépend

fortement des subventions, des incitations fiscales et des politiques gouvernementales pour soutenir les investissements dans ces nouvelles technologies.

2.3.3 Stratégies pour une adoption réussie

La validation de la faisabilité technique et économique des carburants alternatifs peut être réalisée en les testant sur des trajets spécifiques ou des navires dédiés. À titre d'exemple, l'entreprise Maersk a lancé plusieurs navires fonctionnant à l'e-méthanol afin d'évaluer ses performances dans des conditions réelles. (News, 2023).

Le soutien financier à l'innovation est essentiel pour encourager le développement de technologies de production durable, telles que l'hydrogène vert et le captage du CO_2 pour la fabrication de l'e-méthanol, comme le souligne (Nemmour et al., 2023). Ces initiatives pourraient être renforcées par des collaborations stratégiques impliquant des universités, des centres de recherche et des entreprises technologiques.

Les partenariats public-privé représentent une voie prometteuse pour partager les coûts et les risques associés à l'adoption des carburants alternatifs. Ces collaborations incluent les gouvernements, les armateurs, les fournisseurs/producteurs de carburants et les ports afin d'assurer une coordination optimale des efforts et des investissements.

La clarification et l'harmonisation des normes et réglementations sont également cruciales pour assurer une adoption cohérente à l'échelle internationale. Une collaboration avec l'OMI et d'autres institutions internationales permettra d'établir des normes uniformes et adaptées à l'utilisation des carburants alternatifs.

La mise en œuvre d’un nouveau carburant alternatif nécessite une planification minutieuse pour anticiper et gérer les risques technologiques, économiques, environnementaux et institutionnels. Le tableau que nous proposons présente des éléments pertinents pour une analyse des risques associés à l'introduction de carburants alternatifs dans le secteur maritime.

2.3.4 Identification des risques associés à l'adoption d'un nouveau carburant maritime

L'introduction d'un carburant alternatif dans le secteur maritime nécessite une analyse rigoureuse des risques associés. Ces risques sont évalués en tenant compte des impacts environnementaux, des enjeux liés à la santé et à la sécurité, ainsi que des implications économiques et opérationnelles. La démarche méthodologique présentée dans la section 3 a permis de structurer ces risques en catégories principales, fondées sur les éléments identifiés dans la revue de littérature et les données réglementaires pertinentes.

Le tableau suivant synthétise les risques associés à l'utilisation des carburants réguliers et alternatifs. Il met en évidence les défis spécifiques que représentent les carburants alternatifs, comme l'e-méthanol, tout en les comparant aux carburants traditionnels tels que le MGO et le HFO. Cette approche comparative offre une base structurée pour évaluer les mesures d'atténuation nécessaires et les stratégies d'adoption adaptées.

Tableau 2.2 : Risques associés à l'adoption d'un nouveau carburant maritime

Analyse des risques associés	Carburants réguliers (MGO, HFO, etc.)	Carburants alternatifs (GNL, hydrogène, ammoniac, éthanol, e-méthanol, etc.)
Risques environnementaux	- Émissions élevées de CO_2, NO_x, SO_x et de particules fines (PM) contribuant au réchauffement climatique, à l'acidification des océans et à la formation des pluies acides. (Levent, 2023). - Contribution majeure aux émissions de GES, incompatible avec les objectifs climatiques mondiaux de réduction des émissions d'au moins 50% d'ici 2050. (*Travaux de l'OMI pour réduire les émissions de GES provenant des navires*, s. d.).	**- GNL** : réduit les émissions de NO_x et de SO_x; mais les fuites de méthane, un GES très puissant que le CO_2, peuvent annuler ses avantages environnementaux. (Xing et al., 2021). De plus, la production de méthanol et d'éthanol à partir de biomasse pourrait avoir des impacts indirects sur l'environnement, tels que la déforestation ou la concurrence avec les cultures alimentaires. (Xing et al., 2021). **- Hydrogène** : zéro émission directe à la combustion, mais son impact dépend fortement de la méthode de production. L'hydrogène gris émet autant que les carburants fossiles. L'hydrogène vert est neutre en carbone, mais coûteux à produire. (Brynolf et al., 2014). **- E-méthanol** : produit à partir de CO2 capté d'hydrogène vert, il est neutre en carbone, mais si le méthanol est issu de gaz naturel (méthanol gris), son empreinte carbone reste élevée. De plus, sa production peut indirectement entraîner des impacts environnementaux (consommation d'eau et d'électricité). (Fagerlund, 2014).

Tableau 2.2 : Risques associés à l'adoption d'un nouveau carburant maritime. (Suite)

Analyse des risques associés	**Carburants réguliers (MGO, HFO, etc.)**	**Carburants alternatifs (GNL, hydrogène, ammoniac, éthanol, e-méthanol, etc.)**
Risques opérationnels et techniques	- Technologie mature et bien intégrée dans les chaînes d'approvisionnement maritimes et infrastructures existantes (réservoirs, soutage, moteurs). (Levent, 2023), (Deniz & Zincir, 2016). -Entretien coûteux : la corrosion des moteurs et l'usure des systèmes d'échappement sont exacerbées par la teneur en soufre des carburants fossiles. (Levent, 2023), (Deniz & Zincir, 2016). - Limitations pour répondre aux exigences environnementales.	**- GNL** : Nécessite des réservoirs cryogéniques pour maintenir une température de stockage de -162ºC, entraînant des coûts d'infrastructure élevés. (Xing et al., 2021). **- Hydrogène** : Faible densité énergétique volumétrique, nécessitant des réservoirs plus volumineux ou des technologies de compression avancées (réservoirs sous haute pression ou hydrogène liquide à -253°C). Encore peu adapté aux navires à longue distance. (Xing et al., 2021). **- E-méthanol** : compatible avec les moteurs marins existants moyennant des adaptations mineures (injection et combustion). Infrastructure bien plus simple à développer que pour le GNL ou l'hydrogène. Cependant, les coûts initiaux pour les conversions restent élevés. (Brynolf et al., 2014).

Tableau 2.2 : Risques associés à l'adoption d'un nouveau carburant maritime. (Suite)

Analyse des risques associés	**Carburants réguliers (MGO, HFO, etc.)**	**Carburants alternatifs (GNL, hydrogène, ammoniac, éthanol, e-méthanol, etc.)**
Risque de sécurité	- Inflammable : les carburants fossiles représentent un risque élevé en cas de fuites ou de déversements (par exemple, marées noires). Ces incidents peuvent causer des catastrophes environnementales majeures. Protocoles de sécurité existants, mais les accidents graves continuent d'avoir des impacts écologiques et économiques significatifs. (Levent, 2023).	**- GNL** : Bien qu'il s'évapore rapidement en cas de déversement, il est extrêmement inflammable et peut être dangereux dans des environnements confinés. (Deniz & Zincir, 2016). **- Hydrogène** : Hautement inflammable avec un large éventail d'inflammabilité. Le stockage sous haute pression ou à basse température pose des risques d'explosion. **- E-méthanol** : inflammable mais moins dangereux que l'hydrogène ou l'ammoniac. Son comportement chimique est bien connu, ce qui facilite sa manipulation. Les risques sont comparables à ceux des carburants fossiles traditionnels. (Brynolf et al., 2014)

Tableau 2.2 : Risques associés à l'adoption d'un nouveau carburant maritime. (Suite)

Analyse des risques associés	**Carburants réguliers (MGO, HFO, etc.)**	**Carburants alternatifs (GNL, hydrogène, ammoniac, éthanol, e-méthanol, etc.)**
Coût économique	- Faible coût des carburants fossiles sur le marché actuel, mais cela pourrait évoluer l'introduction des taxes carbone plus strictes. - Coûts d'entretien élevés dus à la pollution accrue des moteurs et de systèmes d'échappement. (Deniz & Zincir, 2016).	**- GNL** : Les infrastructures de stockage et de soutage coûtent entre 20 et 40% de plus que les carburants fossiles. Les économies potentielles sur le long terme sont limitées par le risque de fuites de méthane. (Fagerlund, 2014). **- Hydrogène** : Coût élevé, notamment pour la production verte (6 à 8 $ / kg actuellement). La logistique complexe entraîne des coûts additionnels. (Brynolf et al., 2014). **- E-méthanol** : Plus coûteux à produire que les carburants fossiles, surtout en raison des coûts de l'hydrogène vert et du captage du CO2. Toutefois, il est moins cher à adopter sur le plan opérationnel car il est compatible avec les infrastructures existantes. (Fagerlund, 2014).

Tableau 2.2 : Risques associés à l'adoption d'un nouveau carburant maritime. (Suite)

Analyse des risques associés	**Carburants réguliers (MGO, HFO, etc.)**	**Carburants alternatifs (GNL, hydrogène, ammoniac, éthanol, e-méthanol, etc.)**
Acceptabilité sociale et réglementaire	Réglementation insuffisante pour réduire les émissions globales. (Travaux de l'OMI pour réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant des navires, s. d., p. 202).	- Bien accepté socialement en raison de son faible coût et de son large usage historique. **- GNL** : Mieux accepté par l'industrie en tant que solution transitoire, mais critiqué pour ses émissions fugitives de méthane. **- Hydrogène** : Considéré comme une solution à long terme mais perçu comme risqué et peu rentable à court terme. **- E-méthanol** : Bien reçu en tant que carburant durable et liquide, mais son adoption dépend du développement des politiques incitatives (subventions, taxes carbone) et de la réduction des coûts de production. (Fagerlund, 2014), (Brynolf et al., 2014).

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

Dans le cadre de ce projet, l'analyse porte sur l'utilisation d'un mélange de biodiesel et d'e-méthanol comme carburant alternatif dans le secteur maritime. Il est important de souligner que les propriétés physico-chimiques précises de ce mélange ne sont pas encore entièrement documentées dans la littérature scientifique, et les expérimentations du projet GreenMet, dans lequel ce mémoire s'inscrit, ne sont pas encore complétées à cet effet. Le seul élément saillant à cette étape est le point d'éclair du mélange (*flash point*) qui, pour le moment, est considérablement plus bas que celui du biodiesel pur. En conséquence, l'étude s'appuie sur une approche « drop-in », c'est-à-dire que le mélange est considéré comme une solution pouvant être intégrée dans les infrastructures existantes sans modification majeure des moteurs ou des systèmes de stockage et de distribution. Cette hypothèse permet de concentrer l'analyse sur les aspects réglementaires, environnementaux, économiques, sociaux et de santé et sécurité, sans entrer dans les détails techniques de la compatibilité physico-chimique du mélange.

Ce chapitre détaille la démarche adoptée pour analyser les réglementations applicables au déploiement d'un mélange de biodiesel et e-méthanol en tant que carburant alternatif dans le secteur maritime. L'objectif est de comprendre les implications environnementales, économiques, sociales, et de santé et sécurité découlant des lois et des réglementations nationales et internationales. La méthodologie de ce mémoire se focalise sur une approche structurée visant à analyser les risques associés à l'utilisation d'un mélange de biodiesel et e-méthanol comme carburant alternatif dans le contexte particulier du Saint-Laurent. Ce chapitre souligne les outils et étapes utilisés pour atteindre cet objectif, incluant une analyse réglementaire approfondie et la conduite d'entrevues avec les parties prenantes clés.

3.1 Analyse des lois et des réglementations

L'analyse des lois et de la réglementation vise à identifier et à évaluer les lois, normes et cadres réglementaires pertinents en lien avec l'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol dans le transport maritime, tout en prenant en compte les particularités environnementales et économiques de la région du Saint-Laurent.

3.1.1 Identification et sélection des lois

Une recherche systématique est menée dans les bases de données légales (sites de Transports Canada, OMI, et législations provinciales). Les lois sont comparées pour identifier celles qui concernent spécifiquement les carburants alternatifs ou les thématiques liées à : la réduction des émissions, la manipulation sécuritaire des carburants et les obligations financières et de responsabilité.

Une revue des lois et réglementations pertinentes est réalisée à partir des bases de données de la bibliothèque de Polytechnique, précisément dans Compendex (https://engineeringvillage.com) et Web of science (https://webofscience.com) et les publications de Transports Canada, ainsi que les directives internationales de l'OMI, ayant pour objectif d'identifier les lois traitant des carburants alternatifs, des émissions atmosphériques, des déversements en milieu marin et des risques pour la santé et la sécurité. L'analyse est restreinte aux réglementations qui touchent le territoire géographique fleuve du Saint-Laurent, à tous les niveaux, soient des lois provinciales aux directives internationales, en passant par les lois fédérales canadiennes. Toutes les lois et réglementations maritimes concernées ont été examinées, mais seules celles qui concernent l'utilisation des carburants maritimes ont été conservées dans le cadre de cette analyse.

3.1.2 Structuration des données et analyse réglementaire

Dans le cadre de cette étude, les lois et règlements identifiés ont été classés et structurés en fonction des catégories de facteurs de risques établis. Ces catégories découlent des principaux enjeux relevés dans la revue de littérature et des problématiques mises en lumière lors des entrevues réalisées avec les parties prenantes. Cette approche vise à fournir une organisation claire et cohérente des données réglementaires, facilitant ainsi leur analyse et leur lien avec les objectifs du projet GREENMET.

Les catégories de facteurs de risques sont structurées autour de trois volets principaux, qui renvoient les dimensions critiques de l'adoption de carburants alternatifs comme l'e-méthanol :

ENVIRONNEMENTAUX : chaque loi a été examinée pour comprendre comment elle encadre les risques de pollution. Par exemple, l'annexe VI de MARPOL impose des limites strictes sur les émissions de SO_x et de NO_x. (*MARPOL - 2024 - Amendements à l'Annexe au Protocole de 1997 modifi.pdf*, s. d.). Et les directives canadiennes sur les déversements précisent les protocoles à

suivre pour éviter les fuites de carburant dans les écosystèmes marins. (E. et C. climatique Canada, 2014).

SANTÉ ET SÉCURITÉ : identification des lois réprimant la manipulation des produits dangereux, comme la loi sur la santé et la sécurité au travail et les normes SST de l'OMI. (D. des services législatifs Canada, 2024), (Gouvernement du Québec, 2024). Analyse des obligations de formation pour le personnel portuaire et maritime. Par exemple, les règlements de l'IMDG spécifiques aux exigences de stockage et de transport sécuritaire du e-méthanol. (I. C. OMI, 2025), (Wikipedia, 2025), (Branch, 2006), (Across Logistics, 2024), (Foster, 2024).

ÉCONOMIQUE ET RESPONSABILITÉ : les lois encadrant les incitatifs financiers ont été examinées pour évaluer leur potentiel de soutien à l'adoption du mélange e-méthanol – biodiesel. Par exemple, le programme de protection des océans du Canada finance les initiatives de décarbonation maritime. (Transport Canada, 2025). Et les obligations légales des armateurs en cas de déversements ou d'accidents ont également été analysées. (D. des services législatifs Canada, 2023b), (D. des services législatifs Canada, 2023c), (Clear Seas, 2025), (Government du Canada, 2019).

Ces trois volets ont été traduits en colonnes d'analyse dans les tableaux de structuration des données. Cette méthode permet une visualisation claire des interactions entre les réglementations applicables et les enjeux opérationnels, tout en offrant une base solide pour formuler des recommandations adaptées au projet. Le tableau 3.1 présente ces colonnes.

Tableau 3.1 : Colonnes (catégories de risque) utilisées pour analyser les lois et la réglementation

CATÉGORIE DE RISQUE	VARIABLE	DESCRIPTION
ENVIRONNEMENTAUX	**EEAU**	**Pollution de l'eau** : les risques de déversement ou de fuite de e-méthanol pouvant affecter les écosystèmes aquatiques (Saint-Laurent) et opérations normales.
	EAIR	**Pollution de l'air** : les émissions lors de la production, du transport ou de l'utilisation du e-méthanol pouvant contribuer à la pollution atmosphérique. Le respect de la teneur en SOx et NOx.

Tableau 3.1 : Colonnes (catégories de risque) utilisées pour analyser les lois et la réglementation. (Suite)

CATÉGORIE DE RISQUE	VARIABLE	DESCRIPTION
	ESOL	**Pollution du sol** : risques de contamination du sol en cas de déversement ou de fuite à quai (dans les zones portuaires).
	ECAR	**Carbone et environnement** : impact sur l'empreinte carbone et les contributions aux changements climatiques.
SANTÉ ET SÉCURITÉ	**SHUM**	**Santé** : risques pour la santé humaine liés à l'exposition au mélange e-méthanol - biodiesel, y compris la toxicité et les effets à long terme.
	SSÉC	**Sécurité** : risques d'incendie, d'explosion et autres dangers associés à la manipulation et au stockage du mélange e-méthanol - biodiesel.
	SPREV	**Gestion des risques et prévention** : stratégies et mesures de prévention spécifiques aux installations portuaires pour minimiser les risques.
	SFORM	**Formation port/navire** : importance de la formation pour le personnel portuaire et les équipages de navires pour la manipulation sécuritaire du mélange e-méthanol - biodiesel.

Tableau 3.1 : Colonnes (catégories de risque) utilisées pour analyser les lois et la réglementation. (Suite)

CATÉGORIE DE RISQUE	VARIABLE	DESCRIPTION
ÉCONOMIQUE ET RESPONSABILITÉ	**$INCIT**	**Incitatifs financiers** : subventions, crédits d'impôt ou autres mesures de soutien économique pour encourager l'adoption du carburant alternatif.
	$ECO	**Économiques** : coût global de la transition, y compris : les coûts d'exploitation du mélange e-méthanol - biodiesel (comparé aux carburants fossiles); l'effet sur la compétitivité des armateurs; les impacts macroéconomiques (prix du carburant, compétitivité du corridor maritime). Ce risque inclut également l'incertitude sur le retour sur investissement et les contraintes budgétaires des opérateurs.
	$INV	**Investissements / infrastructure** : implications financières pour les infrastructures portuaires, y compris les investissements nécessaires pour le stockage et la distribution du mélange e-méthanol - biodiesel.
	$RESP	**Responsabilité** : obligations légales des parties impliquées, leur conformité aux réglementations et leur capacité à répondre aux incidents environnementaux ou aux dommages causés par l'utilisation des carburants alternatifs.

En utilisant cette structuration, l'analyse des lois et règlements peut être effectuée de manière systématique, garantissant ainsi une prise en compte équilibrée de toutes les dimensions critiques de la mise en œuvre du mélange e-méthanol – biodiesel dans le cadre du projet GREENMET.

3.2 Entrevues et échanges avec les parties prenantes du projet

Dans le cadre de cette recherche, des entrevues ont été réalisées et avaient pour principal but d'approfondir les connaissances sur les perspectives des parties prenantes clés dans l'intégration d'un mélange contenant de l'e-méthanol comme carburant alternatif. Ces discussions permettent :

- D'identifier les enjeux réglementaires en lien avec les normes environnementales, de santé/sécurité, et les aspects économiques.
- De comprendre les priorités spécifiques de chaque partenaire pour aligner leurs besoins avec les objectifs du projet GREENMET.
- D'explorer les opportunités de collaboration et les zones d'intervention stratégique (ou « zones d'attaque »).

Des entretiens semi-structurés ont été réalisées pour permettre une flexibilité dans les réponses tout en couvrant les thèmes prioritaires, avec une durée en moyenne 1h30 à 2h par entrevue. Les participants identifiés sont :

- Un producteur potentiel du mélange e-méthanol - biodiesel, apportant des connaissances sur les capacités de production et les défis réglementaires.
- Un opérateur armateur maritime, essentiel pour comprendre les implications pratiques sur la flotte existante.
- Un gestionnaire d'infrastructures portuaires, acteur clé pour les équipements nécessaires au soutien des carburants alternatifs.

Le questionnaire a été validé en interne avant les entrevues, en s'assurant qu'il était adapté aux rôles et responsabilités de chaque partie prenante. Après chaque entrevue, les réponses ont été regroupées par thème (environnemental, économique, technique) pour faciliter l'analyse. Les réponses analysées ont été synthétisées pour identifier des tendances communes et des enjeux spécifiques. Une validation croisée a été effectuée pour confirmer la cohérence et l'exactitude des informations collectées.

En complément de ces entrevues, des réunions mensuelles ont été organisées avec les acteurs du projet GREENMET. Ces rencontres ont permis de maintenir un dialogue continu avec les parties impliquées et de clarifier certaines interrogations soulevées au fil des analyses. Ces échanges réguliers ont facilité l'intégration des retours des différents partenaires et ont contribué à ajuster la

méthodologie en fonction des nouvelles données et enjeux identifiés. À plusieurs reprises, des représentants des organismes impliqués ont été interpellés directement sur des points spécifiques, ce qui a permis d'obtenir des éclaircissements rapides et d'affiner les recommandations formulées dans cette étude.

3.2.1 Structure du questionnaire

Dans le cadre de cette étude, un questionnaire structuré a été élaboré afin d'explorer les facteurs influençant l'adoption du mélange e-méthanol – biodiesel dans le secteur maritime. Ce questionnaire a été conçu de manière à couvrir trois dimensions clés : les réglementations, les aspects économiques et les aspects techniques et opérationnels (Tableau 4). L'objectif était d'obtenir des perspectives variées de la part des parties impliquées dans la transition vers des carburants alternatifs. Chaque ensemble de questions a été adapté en fonction des profils des répondants, incluant les producteurs de carburants, les opérateurs maritimes, les autorités portuaires et les organismes de réglementation.

- **Réglementations** : ce premier volet visait à identifier les impacts des cadres législatifs et normatifs sur l'intégration des carburants alternatifs, notamment le mélange contenant de l'e-méthanol, dans le transport maritime. Les réglementations environnementales, les normes de sécurité et les conventions internationales jouent un rôle central dans l'adoption de nouveaux carburants. Les réponses à ces questions permettent d'évaluer si les cadres réglementaires sont adaptés à la réalité opérationnelle du secteur maritime et d'identifier des pistes d'amélioration ou d'harmonisation pour faciliter la transition.
- **Facteurs économiques** : les considérations économiques sont un facteur déterminant dans le choix d'un carburant alternatif. Ce volet du questionnaire visait à comprendre les défis financiers associés à la transition vers le mélange e-méthanol - biodiesel et à identifier les incitatifs nécessaires pour encourager son adoption. Les réponses obtenues permettent de mieux comprendre les barrières économiques freinant l'adoption de ce mélange (carburant) et d'évaluer les incitatifs nécessaires (subventions, crédits carbone, tarifs portuaires préférentiels, etc.) pour rendre le mélange compétitif face aux carburants fossiles traditionnels.

Tableau 3.2 : Thèmes des questions utilisées

Thèmes	Exemples de questions posées
Réglementations	- Quels sont les obstacles réglementaires qui ralentissent l'intégration des carburants alternatifs ? - Comment les normes internationales (OMI, MARPOL, SOLAS, IMDG, etc.) influencent-elles la transition énergétique des armateurs ? - Existe-t-il un écart entre les réglementations locales, nationales et internationales qui pourrait freiner l'adoption du mélange e-méthanol - biodiesel ? - Quelles sont les évolutions réglementaires attendues qui pourraient faciliter ou compliquer l'implantation de ces carburants ?
Facteurs économiques	- Quels sont les principaux coûts associés à la conversion des navires et aux infrastructures portuaires nécessaires pour un mélange contenant de l'e-méthanol ? - Quels mécanismes de financement existent ou devraient être mis en place pour réduire la charge financière des armateurs et des exploitants portuaires ? - Quels partenariats économiques (entre gouvernements, entreprises privées, organismes de recherche) pourraient être développés pour réduire les risques financiers liés à cette transition ? - Les acteurs du secteur perçoivent-ils un retour sur investissement potentiel à l'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol ?
Aspects techniques et opérationnels	- Quelles sont les contraintes liées à l'adaptation des infrastructures ou des navires ? - Quels défis techniques/opérationnels rencontrés-vous pour utiliser des carburants comme le GNL, le biodiesel, l'éthanol ou l'e-méthanol ? - Quelles innovations et technologies doivent être développées ou améliorées pour faciliter la transition ?

- **Aspects techniques et opérationnels** : l'intégration d'un carburant alternatif contenant de l'e-méthanol pose des défis techniques importants, notamment en ce qui concerne la conversion des navires, la compatibilité des infrastructures portuaires et les exigences en matière de sécurité. Les réponses ont permis d'identifier les principaux défis d'ingénierie et de logistique à surmonter pour assurer une adoption sécuritaire et efficace du mélange

contenant de l'e-méthanol. Elles ont également permis de recueillir des recommandations sur les technologies à prioriser pour accélérer cette transition (ex. : développement de moteurs bi-carburants, des systèmes de stockage, etc.).

Les résultats obtenus ont contribué à l'analyse des facteurs de risques et ont permis de formuler des recommandations concrètes pour l'implantation sécuritaire et rentable du mélange de carburant e-méthanol – biodiesel dans le transport maritime québécois.

3.2.2 Déroulement des entrevues

Dans le cadre de notre projet GREENMET, des entrevues ont été réalisées avec plusieurs acteurs clés du secteur maritime afin d'évaluer les facteurs de risques et les mesures d'atténuation associées à l'adoption de l'e-méthanol comme carburant alternatif. Les intervenants contactés comprennent:

- Des représentants d'un producteur et fournisseur potentiel du mélange e-méthanol - biodiesel, spécialisé dans les carburants alternatifs et les biocarburants, et fournissant des perspectives sur la production et l'approvisionnement en carburants alternatifs.

- Des représentants d'un armateur et opérateur maritime offrant une expertise sur l'adaptation technologique de la flotte et les coûts associés, et exploitant des navires, confronté aux défis techniques de la transition énergétique.

- Des représentants d'un gestionnaire d'administration portuaire jouant un rôle central dans l'adoption et l'infrastructure des carburants alternatifs. Et abordant également les défis liés aux infrastructures spécifiques pour le stockage et la distribution du mélange e-méthanol – biodiesel.

L'objectif des entrevues était d'identifier les impacts potentiels du projet sur la pollution de l'environnement, la gestion des risques, formations et prévention. La conformité aux réglementations, incitatifs financiers et investissements. Les échanges ont été guidés par des questions élaborées pour aligner les objectifs réglementaires et opérationnels du projet GREENMET sur les réalités pratiques des intervenants. Les questionnaires adaptés à chaque partie impliquée sont disponibles en annexe.

Cette analyse a permis d'identifier les obstacles et opportunités liés à l'introduction du mélange e-méthanol – biodiesel et de proposer des stratégies d'atténuation adaptées. En se conformant à ces différentes lois & réglementations y compris les différentes entrevues, nous pouvons identifier les impacts potentiels de notre projet sur l'environnement, la santé publique, la sécurité des travailleurs

et des communautés, ainsi que sur les aspects économiques et de responsabilité. Cette analyse permettra d'adopter des mesures préventives et des stratégies d'atténuation appropriées, garantissant ainsi la durabilité et la conformité de notre projet aux normes réglementaires et aux exigences légales.

Cette méthode analytique permet d'aborder de manière rigoureuse et structurée les enjeux complexes liés à l'adoption du mélange e-méthanol – biodiesel comme carburant alternatif dans la région du Saint-Laurent. En mettant en avant une approche intégrée, elle assure la pertinence des recommandations pour le projet GREENMET tout en fournissant une base solide pour informer les décisions des parties prenantes et des autorités.

L'approche qualitative, notamment par le biais des entrevues, permet d'explorer les perceptions et expériences des acteurs du secteur maritime, offrant ainsi une compréhension approfondie des enjeux réglementaires et opérationnels. Comme le soulignent (Baribeau & Royer, 2012), les entrevues qualitatives sont particulièrement adaptées aux recherches nécessitant une analyse contextuelle et nuancée des dynamiques institutionnelles et industrielles.

3.3 Justification du choix méthodologique

La méthodologie adoptée dans ce mémoire repose volontairement sur une approche qualitative et interdisciplinaire, combinant l'analyse réglementaire documentaire et les entrevues avec des acteurs clés du secteur maritime. Ce choix est guidé par la complexité du sujet traité, qui touche à la fois des dimensions juridiques, techniques, économiques et sociales.

Contrairement à une démarche strictement quantitative, telle qu'une analyse de cycle de vie (ACV) qui se focaliserait sur les indicateurs environnementaux (émissions de CO_2, SO_x, NO_x) du carburant, l'objectif ici est d'explorer de manière plus large les risques réglementaires, opérationnels et organisationnels qui freinent l'adoption du e-méthanol dans le transport maritime. Comme l'ont montré plusieurs travaux récents (Christodoulou & Cullinane, 2023) ; (Bouman et al., 2017), l'échec ou la réussite d'une transition énergétique ne dépend pas uniquement des performances environnementales mesurées quantitativement, mais aussi de la compatibilité réglementaire, de l'acceptabilité sociale et des stratégies industrielles.

En ce sens, l'approche qualitative retenue ici, croisant une revue des cadres réglementaires avec des retours terrain collectés par entrevues, permet de capter des dimensions contextuelles et

stratégiques que les modèles quantitatifs classiques ne peuvent appréhender. Elle offre ainsi une perspective nouvelle et intégrée, centrée sur les enjeux de faisabilité réelle et de gestion des risques dans le contexte spécifique du corridor maritime du Saint-Laurent.

Cette démarche s'inscrit dans la lignée des recherches appliquées dans le domaine maritime qui privilégient une analyse qualitative pour éclairer les processus de transition énergétique (Wang et al., 2023); (Wang & Wright, 2021). Elle répond à un besoin exprimé par les parties prenantes d'avoir non seulement des données chiffrées, mais aussi des repères réglementaires, organisationnels et stratégiques pour accompagner le changement.

CHAPITRE 4 REVUE DES LOIS ET DE LA RÉGLEMENTATION RELATIVES À L'UTILISATION DES CARBURANTS MARITIMES

Ce chapitre présente une revue des différentes réglementations environnementales et de sécurité pertinente, en mettant l'accent sur leur impact pour l'adoption des carburants alternatifs. Chaque sous-section présente les aspects des lois et règlements touchant les carburants, et se termine par une discussion sur ce que cela implique pour l'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol comme carburant alternatif pour le projet GRENNMET.

Comme mentionné à la section 3.1, cette démarche repose sur une recherche systématique dans les bases de données légales (sites de Transports Canada, de l'OMI, des législations fédérales et provinciales), permettant de sélectionner les lois les plus pertinentes en fonction de trois axes principaux :

Tableau 4.1 : Lois et réglementations examinées en fonction des axes d'analyse

Axe d'analyse	Lois/réglementations/normes	Description	Implication pour d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol
Réduction des émissions	MARPOL (Annexes I, II, III et VI)	Réglemente la prévention de la pollution par les navires, y compris les émissions atmosphériques et les substances nocives.	Le mélange e-méthanol - biodiesel, en tant que carburant alternatif à faible émission, permet de se conformer aux exigences de réduction des GES et des polluants atmosphériques.
	SEEMP	Exige des plans de gestion de l'efficacité énergétique des navires pour réduire leur empreinte carbone.	L'utilisation du mélange contenant de l'e-méthanol peut contribuer à améliorer l'indice de performance énergétique des navires.
	Loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE, 1999)	Cadre général pour la prévention de la pollution et la gestion des substances dangereuses.	Encadrer l'utilisation du mélange contenant de l'e-méthanol afin de limiter son impact sur l'environnement.
	Loi sur la qualité de l'environnement	Encourager l'utilisation de carburants propres pour réduire les émissions de GES.	Soutenir le développement et l'intégration du mélange contenant de l'e-méthanol comme alternative aux carburants fossiles.
Manipulation sécuritaire des	Convention SOLAS	Régit la sécurité des navires, y compris la manipulation des carburants inflammables.	Le mélange e-méthanol - biodiesel, ayant un faible point d'éclair, nécessite des mesures de sécurité spécifiques à bord des navires.

Tableau 4.1 : Lois et réglementations examinées en fonction des axes d'analyse. (Suite)

Axe d'analyse	Lois/réglementations/normes	Description	Implication pour d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol
	Code FTP 2010 (Procédures d'essai au feu)	Établit les normes de résistance au feu des matériaux maritimes.	Le mélange e-méthanol – biodiesel nécessitera des tests et certifications spécifiques pour s'assurer de sa compatibilité avec les normes anti-incendie.
	Code IMDG	Réglemente le transport des marchandises dangereuses, y compris les liquides inflammables.	Le mélange e-méthanol – biodiesel étant classé comme liquide inflammable, son transport doit respecter des exigences strictes en matière d'arrimage et d'étiquetage.
	Réglementation sur la sécurité-incendie des navires *(vessel fire safety regulations)*	Fixe les exigences pour la prévention des incendies à bord des navires.	L'utilisation du mélange contenant de l'e-méthanol impose des modifications des systèmes d'extinction et de confinement des incendies à bord.
	STCW	Normes de formation pour les équipages maritimes.	Oblige à former les marins à la manipulation et aux risques spécifiques du mélange e-méthanol - biodiesel.
Obligations financières et de responsabilité	Loi sur la marine marchande du Canada (LMMC 2001)	Régit la sécurité et la prévention de la pollution par les navires.	Implique la mise en place de protocoles spécifiques pour l'utilisation et le ravitaillement du mélange e-méthanol - biodiesel.
	Réglementation sur l'intervention environnementale (DORS/2019-252)	Définit les obligations en cas de déversement ou d'accident impliquant des substances dangereuses.	Exige des plans d'urgence et des équipements adaptés en cas de fuite du mélange contenant de l'e-méthanol dans l'environnement maritime.
	Réglementation sur la responsabilité en matière maritime et les déclarations de renseignements (DORS/2016-307)	Définit les obligations légales des opérateurs en cas de pollution ou d'incident environnemental.	Implique une gestion accumulée des risques pour éviter toute fuite ou accident impliquant le mélange e-méthanol - biodiesel.
	Réglementation sur les urgences environnementales (DORS/2019-51)	Implique la mise en place de plans d'urgence pour les installations manipulant des substances dangereuses.	Exige que les installations portuaires stockant et distribuant le mélange e-méthanol – biodiesel soient équipées de mesures de confinement et de détection des fuites.

Ce tableau permet une meilleure structuration des lois et réglementations détaillées dans ce chapitre en fonction de leur rôle dans la transition énergétique du transport maritime. Il souligne également les implications spécifiques d'un mélange contenant de l'e-méthanol, qui est l'apport central de ce travail de recherche.

4.1 Accords et conventions internationales

4.1.1 Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (MARPOL) de l'OMI

La MARPOL est une initiative mondiale adoptée en 1973, complétée par le protocole de 1978 et modifiée en 1997. Elle vise à prévenir et à minimiser la pollution marine due aux activités maritimes, couvrant divers aspects tels que les déversements d'hydrocarbures, les substances nocives liquides, les eaux usées, les déchets atmosphériques, les déchets de cargaison solide et les gaz d'échappement. La convention comprend six annexes techniques, réglementant strictement les rejets d'exploitation, en particulier dans des zones spéciales. Elle a été mise à jour au fil des ans pour refléter les avancées technologiques et les normes environnementales émergentes, et elle renforce les responsabilités des navires envers l'environnement dans les ZEE des états côtiers. La MARPOL représente un engagement mondial en faveur de pratiques maritimes durables et de la réduction de l'impact environnemental de l'industrie maritime. (Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (MARPOL), s. d.).

L'annexe I sur les « Règles relatives à la prévention de la pollution par les hydrocarbures » (entrée en vigueur le 2 octobre 1983) porte sur la prévention de la pollution par les hydrocarbures liée à l'exploitation ainsi qu'aux rejets accidentels; les amendements de 1992 ont rendu obligatoire la double coque pour les pétroliers neufs et ont fixé un calendrier pour doter progressivement les navires citernes existants d'une double coque, lequel a été ensuite révisé en 2001 et 2003. (MARPOL, 2004).

L'annexe II qui encadre les règles relatives à la prévention de la pollution par les substances liquides nocives transportées en vrac (entrée en vigueur le 2 octobre 1983). « Cette annexe précise les critères applicables aux rejets et décrit les mesures de prévention de la pollution par des substances liquides nocives transportées en vrac; quelque 250 substances ont été évaluées et portées sur la liste annexée à la convention; leurs résidus doivent être déchargés uniquement dans des

installations de réception, jusqu'à ce que certaines concentrations et conditions (qui varient selon la catégorie des substances) soient atteintes. Dans tous les cas, aucun rejet de résidus contenant des substances nocives n'est autorisé à moins de 12 milles marins de la terre la plus proche. » (M. OMI, 2025), (M. OMI, 2004).

L'annexe III qui regroupe les règles relatives à la prévention de la pollution par les substances nuisibles transportées par mer en colis (entrée en vigueur le 1er juillet 1992). « Aux fins de la présente annexe, l'expression **« en colis »** désigne les formes d'emballage spécifiées dans le code IMDG) pour les substances nuisibles. » (OMI, 2010). Cette annexe établit des règles générales relatives à la définition de normes spécifiques pour l'emballage, le marquage, l'étiquetage, les documents, l'arrimage, les limites quantitatives, les exceptions et les notifications. Les "substances nuisibles" visées par cette annexe sont celles identifiées comme polluants marins dans le code IMDG ou celles qui répondent aux critères définis dans son appendice. L'objectif est de réglementer le transport maritime de substances pouvant causer des nuisances environnementales. (M. OMI, 2025), (OMI, 2010).

L'annexe VI qui encadre les règles relatives à la prévention de la pollution de l'atmosphère par les navires (entrée en vigueur le 19 mai 2005). L'objectif global de l'annexe VI est de réduire l'impact environnemental des émissions des navires sur l'atmosphère, en adoptant des normes strictes et en encourageant l'utilisation de carburants plus propres ainsi que des technologies plus efficaces sur le plan énergétique. Ces dispositions contribuent à atténuer le changement climatique et à améliorer la qualité de l'air dans les zones maritimes. (*MARPOL - 2024 - Amendements à l'Annexe au Protocole de 1997 modifi.pdf*, s. d.).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

La convention MARPOL et ses annexes pour notre projet réside dans le fait qu'elles offrent un cadre réglementaire international pour évaluer les risques environnementaux associés à l'utilisation d'un mélange de carburant contenant du e-méthanol dans le domaine maritime, en mettant l'accent sur la prévention de la pollution et la protection de l'écosystème marin. Cette convention mondiale vise à prévenir et à minimiser la pollution marine due aux activités maritimes. Étant donné que notre étude porte sur l'utilisation d'un mélange de carburant contenant du e-méthanol dans le domaine maritime, la MARPOL offre un cadre réglementaire crucial pour évaluer les risques environnementaux associés à cette pratique. Les différentes annexes de la MARPOL traitent de

divers aspects de la pollution maritime, tels que les déversements d'hydrocarbures, les substances nocives liquides, les eaux usées des navires, etc. Notre analyse des risques devrait prendre en compte ces annexes pour évaluer les risques spécifiques associés à l'utilisation de mélange des carburants au e-méthanol dans le contexte des réglementations environnementales existantes. L'annexe VI de la MARPOL portant sur la pollution, limitation des émissions atmosphériques (SO_x, NO_x, CO_2) est particulièrement pertinente car elle traite spécifiquement des émissions des navires dans l'atmosphère. Le mélange e-méthanol - biodiesel, en tant que carburant propre, peut contribuer à la conformité aux exigences de réduction des émissions.

4.1.2 Réglementation sur la gestion de l'efficacité énergétique des navires (SEEMP)

Les modifications apportées à l'annexe VI de la MARPOL entrent en vigueur le 1er novembre 2022. Élaborées dans le cadre de la stratégie initiale de l'OMI concernant la réduction des émissions de GES provenant des navires, adoptée en 2018, ces modifications techniques et opérationnelles exigent que les navires améliorent leur rendement énergétique à court terme et réduisent ainsi leurs émissions de gaz à effet de serre. (OMI, 2022).

« À partir du 1er janvier 2023, il sera obligatoire pour tous les navires de calculer leur EEXI obtenu afin de mesurer leur rendement énergétique et de commencer la collecte de données pour la déclaration de leur CII opérationnel annuel et leur notation relative aux CII. » (OMI, 2022).

Le plan de SEEMP est un cadre opérationnel qui vise à améliorer de manière rentable l'efficacité énergétique des navires. Quelques points clés sur le SEEMP et les réglementations connexes. Le SEEMP offre une approche permettant aux compagnies maritimes de gérer les performances d'efficacité énergétique des navires et de la flotte au fil du temps de manière économique. Il utilise des outils de surveillance tels que l'EEOI pour évaluer les performances des navires. (OMI, 2022). L'EEOI permet de mesurer l'efficacité énergétique d'un navire en exploitation, en prenant en compte divers facteurs tels que la planification des voyages, le nettoyage des hélices et l'adoption de mesures technologiques. Il incite les armateurs à envisager de nouvelles technologies et pratiques pour optimiser le rendement d'un navire. (OMI, 2022). Les réglementations récentes, telles que l'EEXI et le CII, ont été proposées pour régir les propriétaires de navires à l'échelle mondiale. Ces mesures à court terme sont obligatoires en vertu de l'annexe VI de la convention MARPOL et visent à réduire les émissions de GES provenant des navires. (OMI, 2022).

Les armateurs doivent s'assurer que leurs navires sont inspectés chaque année par des sociétés de classification, utilisant l'EEXI. Cela implique une évaluation de la consommation d'énergie et des émissions de CO_2 par rapport à des exigences spécifiques d'efficacité énergétique pour chaque Indicateur d'intensité carbone Le CII détermine le facteur de réduction annuelle pour améliorer l'intensité carbone opérationnelle des navires. Les navires reçoivent une note (A à E) en fonction de leur performance en intensité carbone. Des incitatifs sont offerts aux navires obtenant des notes élevées, encourageant ainsi l'amélioration continue de l'efficacité énergétique. (OMI, 2022). Bien que les mesures à court terme telles que l'EEXI et le CII aient été mises en place, elles ne suffisent pas à atteindre l'objectif à long terme de zéro émission. Cela peut inciter les gouvernements à envisager d'autres mesures, telles que des taxes sur le carbone, pour imposer des réductions d'émissions à l'industrie maritime. (Clear Seas et al., 2023). En adoptant ces réglementations, l'OMI vise à promouvoir une industrie maritime plus durable et à contribuer aux objectifs mondiaux de réduction des émissions de GES. (Clear Seas et al., 2023). Les mesures technologiques et opérationnelles de réduction des émissions de GES provenant des navires sont cruciales pour promouvoir une navigation plus durable. Le tableau suivant présente un résumé des principales mesures mentionnées.

Tableau 4.2 : Mesures techniques de réduction des émissions

Mises à niveau des systèmes de traction et de propulsion	Modernisation des moteurs plus anciens avec des technologies telles que des aubes, des ailettes, des conduits, etc., pour augmenter l'efficacité énergétique et réduire les émissions.
Récupération de chaleur perdue	Utilisation de la chaleur perdue des moteurs pour produire de l'électricité, réduisant ainsi la nécessité de combustible supplémentaire.
Carburants et sources d'énergie alternatifs	Remplacement des énergies fossiles par des options neutres ou faibles en carbone, comme le biocarburant, l'hydrogène, l'ammoniac, les piles à combustible et l'énergie éolienne.

Source : *Chadli Yaya, 2021 d'après (Xing et al. 2020; Shi 2016).*

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

Les réglementations environnementales et les mesures de réduction des émissions de GES présentées mettent en évidence les normes auxquelles les opérations maritimes doivent se conformer et les défis potentiels liés à l'adoption de nouveaux carburants et technologies dans le domaine maritime. Les réglementations telles que le SEEMP établissent des normes et des

protocoles pour améliorer l'efficacité énergétique des navires et réduire leurs émissions de GES. Étant donné que notre projet porte sur l'utilisation d'un mélange de carburant contenant du e-méthanol dans le transport maritime, il est important de comprendre comment ces réglementations pourraient influencer l'utilisation, la manipulation et le transport de ces carburants dans le respect des normes environnementales. Les mesures techniques de réduction des émissions de GES, telles que la modernisation des systèmes de propulsion et l'utilisation d'un mélange de carburant contenant du e-méthanol, sont pertinentes pour évaluer les risques associés à l'utilisation d'un mélange de carburant au e-méthanol. Nous devrons examiner comment ces mesures pourraient être mises en œuvre pour atténuer les risques environnementaux potentiels dans l'écosystème du Saint-Laurent. Les objectifs à long terme de réduction des émissions de GES, notamment l'objectif de zéro émission, soulignent l'importance de trouver des solutions de carburant plus durables et respectueuses de l'environnement. Notre analyse des risques devrait tenir compte de ces objectifs et évaluer comment l'utilisation d'un mélange de carburant au e-méthanol pourrait contribuer à les atteindre ou à les compromettre.

4.1.3 Réglementation sur l'obligation de taxe d'émissions sur les ports (OMI 2050)

Des exemples de politiques suggérées pour aider les ports à fixer des objectifs mesurables de transport maritime zéro émission et inciter les armateurs à décarboner leur flotte :

- Exiger le zéro-émission pour tous les navires à quai et au mouillage d'ici 2030, en favorisant l'électrification à 100%. Cela contribuerait à réduire les polluants atmosphériques et les émissions dans les ports, améliorant la qualité de l'air localement. (Browne & O'Leary, 2022).
- Fixer des normes 100% zéro émission pour les navires portuaires tels que les ferries et les remorqueurs d'ici 2035. La technologie actuelle permet déjà cette électrification. (Browne & O'Leary, 2022).
- Imposer des normes de faible/zéro-émission pour les navires de haute mer faisant escale, incluant la déclaration de la consommation de carburant et des émissions, la maximisation de l'efficacité énergétique, et l'adoption des normes de l'OMI. (Browne & O'Leary, 2022).
- Fixer des redevances en fonction de la classification OMI, de la pollution et des émissions, offrant des avantages aux navires zéro émission et imposant des coûts supplémentaires aux

navires les plus polluants. Les navires au GNL ne devraient pas bénéficier de réductions de droits. (Browne & O'Leary, 2022).

- Encourager les investissements dans des projets zéro émission, en recherchant des fonds nationaux ou régionaux pour soutenir ces initiatives ou en créant des fonds dédiés pour financer directement des projets portuaires ou des navires à émissions nulles. (Browne & O'Leary, 2022).

En adoptant ces politiques, les ports peuvent jouer un rôle crucial dans la réduction des émissions du secteur maritime et favoriser une transition vers des pratiques plus durables. (Browne & O'Leary, 2022).

Voici des politiques suggérées pour promouvoir la décarbonation dans les ports :

- Encourager et faciliter les projets de démonstration qui prouvent la viabilité des navires utilisant des carburants alternatifs. Les ports peuvent jouer un rôle de catalyseur en réunissant les acteurs du secteur pour développer des projets pilotes, accélérant ainsi l'adoption de technologies propres. (Browne & O'Leary, 2022).
- Mettre en place des mesures d'incitation à court terme pour encourager l'adoption de technologies propres et de carburants zéro émission. Ces incitations devraient récompenser la conformité précoce aux obligations portuaires et l'excellence environnementale. (Browne & O'Leary, 2022).
- Interdire les rejets des scrubbers ou épurateurs de fumées dans les eaux portuaires et effectuer une surveillance continue pour détecter les polluants afin de réduire et mettre fin à la pollution des eaux. (Browne & O'Leary, 2022).

L'ensemble de ces mesures contribuerait à créer des ports plus durables et à promouvoir la transition vers une industrie maritime plus respectueuse de l'environnement. (Browne & O'Leary, 2022).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

En intégrant ces politiques et mesures dans notre analyse des risques, nous pourrions évaluer comment elles pourraient influencer l'adoption et l'utilisation d'un mélange de carburant au e-méthanol dans les ports du Saint-Laurent, ainsi que leurs implications sur l'environnement et la sécurité. L'exigence de zéro émission pour tous les navires à quai et au mouillage contribuerait à

réduire les émissions dans les ports, ce qui est pertinent pour évaluer les risques associés à l'utilisation d'un mélange de carburant au e-méthanol dans ces zones. La fixation de normes zéro émission pour les navires portuaires pourrait influencer l'adoption de technologies propres, y compris l'utilisation de carburants alternatifs comme le mélange e-méthanol - biodiesel. Les incitations financières pour les navires zéro émission pourraient encourager l'adoption de carburants plus propres, tandis que les coûts supplémentaires pour les navires polluants pourraient dissuader l'utilisation de carburants à forte intensité carbonique comme les carburants traditionnels. Les projets de démonstration pour les carburants alternatifs pourraient fournir des informations précieuses sur l'efficacité et les risques associés à l'utilisation d'un mélange de carburant au e-méthanol dans les ports et les navires. Les mesures visant à interdire les rejets de scrubbers dans les eaux portuaires sont pertinentes pour atténuer les risques de pollution associés à l'utilisation du e-méthanol, en tenant compte des effets sur l'écosystème du Saint-Laurent.

4.1.4 Réglementation sur la limite du soufre inférieure à 0,5% dans le fioul des navires (OMI 2020)

La mise en œuvre de la nouvelle limite de la teneur en soufre dans le fuel-oil utilisé à bord des navires à partir du 1er janvier 2020 représente une avancée significative dans la réduction des émissions SO_x provenant du transport maritime. (OMI, 2024a). La règle "objectif de 2020 de l'OMI" a fixé une nouvelle limite de 0,50 % m/m (masse par masse) pour la teneur en soufre du fuel-oil utilisé à bord des navires en dehors des ECA. Cette limite représente une réduction significative par rapport à la limite précédente de 3,5 % et contribue à améliorer la qualité de l'air, à préserver l'environnement et à protéger la santé humaine. (OMI, 2024a). La réduction des émissions de SO_x provenant des navires a un impact positif sur la santé humaine, en particulier pour les populations vivant à proximité des ports et des côtes. Les SO_x sont associés à des problèmes de santé tels que des maladies respiratoires, cardiovasculaires et pulmonaires. La diminution des émissions contribue à réduire ces risques. (OMI, 2024a). La nouvelle limite a été rendue obligatoire à la suite d'un amendement à l'annexe VI de la MARPOL. (OMI, 2019). Les navires ont plusieurs options pour respecter la limite de teneur en soufre, et l'OMI prend des mesures pour renforcer la conformité et faciliter le contrôle par les autorités. (OMI, 2024a).

Les navires doivent se conformer à la limite de teneur en soufre en utilisant du fuel-oil avec une teneur suffisamment basse ou en installant des épurateurs pour réduire les émissions d'oxydes de

soufre. Les raffineries peuvent mélanger des fuels avec différentes teneurs en soufre pour produire un fuel conforme, et des additifs peuvent être utilisés pour améliorer d'autres propriétés. Les épurateurs, également appelés dispositifs d'épuration des gaz d'échappement, sont acceptés comme méthode équivalente pour respecter la limite, et de nombreux navires ont adopté cette technologie. Certains navires optent pour des combustibles de substitution, tels que le GNL ou des biocombustibles, qui ont des teneurs en soufre plus faibles ou nulles. (OMI, 2024a).

Les gouvernements et les autorités nationales des états membres sont responsables de faire respecter la nouvelle limite et de surveiller la conformité. Les états du pavillon et du port ont le droit et le devoir d'assurer le respect de la limite. L'OMI a adopté des directives de 2019 sur le contrôle par l'état du port pour renforcer les mécanismes de contrôle et de mise en œuvre. Avant l'entrée en vigueur, l'OMI a collaboré avec les états membres, l'industrie maritime, les fournisseurs de carburant et le secteur du raffinage pour atténuer les impacts de la transition. Un amendement interdisant le transport de fuel-oil non conforme sans épurateur est en vigueur depuis Mars 2020 pour renforcer la conformité et faciliter le contrôle par l'état du port. Des directives pour une application uniforme de la réglementation MARPOL ont été développées pour garantir une mise en œuvre cohérente et efficace. (OMI, 2024a).

Des mélanges de combustibles pour les navires ont été développés, tels que le gasoil à faible teneur en soufre mélangé à des fuel-oils lourds pour réduire la teneur en soufre. Certains navires passent à des combustibles différents, comme le GNL ou des biocombustibles. Les épurateurs sont installés pour permettre aux navires de continuer à utiliser du fuel-oil lourd tout en respectant la limite de teneur en soufre. (OMI, 2024a). Les fuel-oils utilisés doivent être conformes aux normes de qualité définies par l'annexe VI de la convention MARPOL, excluant tout additif ou déchet chimique compromettant la sécurité du navire ou la performance des machines. Aucun problème de sécurité lié aux fuel-oils à très faible teneur en soufre n'a été rapporté à l'OMI en 2020 et jusqu'à présent en 2021. (OMI, 2024a).

Un groupe de travail de l'OMI examine les questions de sécurité du fuel-oil en général, avec un rapport prévu lors de la prochaine session du comité de la sécurité maritime en mai 2021. Le sous-comité de la prévention de la pollution et de l'intervention (PPR 8) examinera les questions relatives à la qualité du VLSFO, y compris les effets sur les émissions de carbone noir. (OMI, 2024a). Des recommandations sur les meilleures pratiques pour les fournisseurs de fuel-oils ont été diffusées

pour garantir la qualité, et des normes internationales telles que l'ISO 8217 et l'ISO/PAS 23263 couvrent les exigences et considérations techniques. Les règles de la convention SOLAS traitent de questions telles que le point d'éclair, et des normes ISO spécifiques s'appliquent aux combustibles marins pour les moteurs diesel et les chaudières des navires. (OMI, 2024a). Le MEPC a approuvé des orientations et directives pour aider les exploitants à se conformer à la teneur limite en soufre de 0,50 %. Les directives de 2019 pour l'application uniforme de la teneur limite en soufre de 0,50 % de MARPOL offrent un modèle de "Formulaire de notification de la non-disponibilité de fuel-oil (FONAR)" et un "exposé technique des problèmes de sécurité". (OMI, 2024a).

Des recommandations sur la planification de la mise en œuvre et les meilleures pratiques pour les fournisseurs de fuel-oils ont été publiées. Un guide de planification de la mise en œuvre des navires couvre l'évaluation des risques, les modifications du circuit de combustible, l'approvisionnement en fuel-oil conforme, etc. (OMI, 2024a). L'OMI a pris des mesures pour faciliter la transition et minimiser les impacts, y compris des directives sur la non-disponibilité de fuel-oil et des recommandations sur les meilleures pratiques. (OMI, 2024a). L'amendement à MARPOL adopté en 2018 interdit le transport, à des fins de combustion, de fuel-oil non conforme. L'amendement est une mesure supplémentaire pour garantir une mise en œuvre et une conformité uniforme. La teneur en soufre du fuel-oil utilisé ou transporté ne doit pas dépasser 0,50 % m/m. Entré en vigueur le 1er mars 2020, il interdit le transport de fuel-oil non conforme depuis cette date. L'interdiction ne s'applique pas au fuel-oil transporté en tant que cargaison. (OMI, 2024a).

Tous les navires, quelle que soit leur taille, doivent respecter la teneur limite en soufre de 0,50 % depuis le 1er janvier 2020. Les navires d'une jauge brute de 400 ou plus, effectuant des voyages vers des ports étrangers, doivent avoir un certificat international de prévention de la pollution de l'atmosphère. Certains petits navires utilisaient déjà du fuel-oil conforme à la limite avant la date butoir de 2020. (OMI, 2024a). La règle sur les SO_x s'applique à tous les navires, qu'ils effectuent des voyages internationaux ou des voyages nationaux dans les eaux. (Règle 14 de l'annexe VI de MARPOL). (OMI, 2024a). Tous les types d'épurateurs sont autorisés, pourvu qu'ils atteignent le même niveau de réduction des émissions. Les administrations peuvent autoriser des "équivalents" pour respecter les normes de contrôle des émissions. Les épurateurs en circuit fermé doivent livrer les résidus à terre, évitant les rejets à la mer ou l'incinération à bord. Les épurateurs en circuit ouvert

ajoutent de l'eau aux gaz d'échappement doivent respecter des critères stricts sur le rejet des eaux de lavage. (OMI, 2024a).

L'OMI a adopté des critères stricts sur les rejets des eaux de lavage provenant de dispositifs d'EGC. Les travaux incluent l'évaluation des risques, l'évaluation des incidences, la livraison des résidus EGC, les questions réglementaires et la base de données des substances. En 2021, les directives sur les dispositifs EGC ont été adoptées, définissant les critères pour les essais, la certification, et la qualité de l'eau de rejet. En 2022, le MEPC a approuvé des directives relatives aux évaluations des risques et des incidences des eaux de rejet provenant de dispositifs EGC, ainsi que des directives sur la livraison des résidus EGC aux installations portuaires. Ces efforts visent à garantir une gestion et une élimination appropriées des résidus et des eaux de rejet des dispositifs EGC pour protéger les environnements aquatiques. (OMI, 2024a). La base de données GISIS de l'OMI relative à l'annexe VI de MARPOL offre une liste des notifications des États membres sur l'utilisation de méthodes équivalentes pour respecter les dispositions. (OMI, 2024a).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

Tout comme la règle sur la limite du soufre, l'utilisation d'un mélange de carburant contenant du e-méthanol peut contribuer à réduire les émissions de SO_x provenant des navires, ce qui peut avoir un impact positif sur la santé humaine et sur l'environnement marin dans le Saint-Laurent. Comme pour la réduction des émissions de SO_x, les navires ont plusieurs options pour se conformer à la règle sur la limite du soufre, notamment en utilisant des carburants à faible teneur en soufre ou en installant des épurateurs. De même, notre analyse devrait prendre en compte les différentes options de conformité et les technologies disponibles pour l'utilisation d'un mélange de carburant au méthanol. Les actions de l'OMI pour garantir le respect de la limite de 0,50% de soufre dans le fioul des navires comprennent des directives sur le contrôle par l'état du port et des recommandations pour les meilleures pratiques; et aussi des questions de sécurité liées aux nouveaux types de carburants, y compris les carburants à faible teneur en soufre comme le méthanol pur. De manière similaire, notre analyse devrait examiner les mesures de contrôle et de mise en œuvre; et aussi aborder les préoccupations en matière de sécurité associées à l'utilisation de carburants, pour garantir une utilisation sûre et conforme des carburants au mélange e-méthanol – biodiesel dans le Saint-Laurent. Donc, la règle sur la limite du soufre inférieure à 0,5% dans le fioul des navires offre des connaissances et des parallèles importants pour évaluer les risques liés

à l'utilisation d'un mélange de carburant contenant du e-méthanol comme carburants marins dans l'écosystème du Saint-Laurent, notamment en ce qui concerne la conformité, les options technologiques disponibles, les mesures de contrôle et de sécurité.

4.1.5 Convention SOLAS et normes de sécurité en mer

Cette convention établit des normes internationales pour la sécurité des navires, y compris les exigences en matière de sécurité incendie et de protection contre les dangers liés aux carburants inflammables. La SOLAS est issue d'une série de conventions antérieures adoptées en réponse à des catastrophes maritimes majeures, notamment le naufrage du Titanic en 1912. La version actuelle, adoptée en 1974, est régulièrement mise à jour pour refléter les progrès technologiques et les meilleures pratiques en matière de sécurité maritime. (S. OMI, 1980). La SOLAS établit des normes pour la construction, l'équipement et l'exploitation des navires de commerce, couvrant des aspects tels que la structure des navires, la stabilité, la prévention et la lutte contre l'incendie, les dispositifs de sauvetage, les radiocommunications, la sécurité de la navigation, le transport de marchandises dangereuses, la gestion de la sécurité, et bien d'autres. (S. OMI, 1980). Les états membres de la convention SOLAS sont tenus de veiller à ce que les navires battant leur pavillon respectent les prescriptions de la convention. Ils doivent également mener des inspections régulières des navires et des installations portuaires pour garantir leur conformité aux normes de sécurité. (S. OMI, 1980). La SOLAS prévoit la délivrance de certificats de conformité aux navires qui respectent ses normes. De plus, elle autorise les états du port à effectuer des contrôles des navires étrangers entrant dans leurs ports pour s'assurer de leur conformité aux normes de sécurité. (S. OMI, 1980). La SOLAS est régulièrement mise à jour par l'OMI pour tenir compte des évolutions technologiques, des leçons tirées des accidents maritimes et des meilleures pratiques en matière de sécurité maritime. (S. OMI, 1980).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

Le rapport entre la SOLAS et l'utilisation du carburant alternatif avec un point d'éclair bas par notre projet réside dans le respect des normes de sécurité maritime énoncées dans la convention. La SOLAS établit des normes strictes pour la prévention et la lutte contre les incendies à bord des navires. Cela inclut des exigences spécifiques concernant les caractéristiques des carburants utilisés à bord, notamment leur point d'éclair. Le point d'éclair d'un carburant est la température minimale à laquelle il libère suffisamment de vapeurs pour former une atmosphère inflammable en présence

d'une source d'ignition. Le mélange e-méthanol – biodiesel ayant un faible point d'éclair, les infrastructures spécifiques de stockage et de prévention incendie doivent être mises en place. Il serait préférable de s'assurer que cette utilisation est conforme aux exigences de sécurité de la SOLAS. Cela pourrait impliquer des mesures telles que:

- Obtenir l'approbation des autorités compétentes pour l'utilisation de ce type de carburant, en démontrant qu'il est sûr et conforme aux normes de sécurité. (Transport Canada, 2024).
- Mettre en œuvre des mesures de sécurité supplémentaires à bord des navires pour minimiser les risques liés à l'utilisation de ce carburant, telles que des procédures spécifiques de manipulation et de stockage, des équipements de sécurité améliorés, et des formations adéquates pour l'équipage. (Transport Canada, 2024).
- Se conformer aux réglementations nationales et internationales relatives au transport de marchandises dangereuses, le cas échéant, si le carburant alternatif est classé comme tel en raison de ses caractéristiques inflammables. (Transport Canada, 2024).

En ce qui concerne notre projet, la SOLAS revêt une importance cruciale. En tant que projet lié à la navigation maritime, le respect des normes de sécurité énoncées dans la convention SOLAS est essentiel pour assurer la sûreté des opérations maritimes. En se conformant aux prescriptions de la convention, le projet peut garantir que ses navires sont construits, équipés et exploités selon les normes les plus élevées en matière de sécurité maritime. Cela contribue à protéger la vie humaine en mer, à prévenir les accidents maritimes et à assurer la protection de l'environnement marin. En outre, le respect des normes SOLAS renforce la crédibilité et la réputation du projet, ce qui peut être crucial pour obtenir les autorisations nécessaires, attirer les investisseurs et assurer la confiance des parties prenantes.

4.1.6 Code FTP - Procédures d'essais au feu pour les matériaux maritimes

Ce code contient des procédures normalisées pour les tests de résistance au feu des matériaux utilisés à bord des navires, y compris les matériaux de protection contre l'incendie. Le code international pour l'application des procédures d'essais au feu, communément appelé « code FTP 2010 », a été élaboré par l'OMI pour fournir un cadre uniforme pour les essais au feu, l'homologation de type et les procédures d'essais en laboratoire pour les produits utilisés dans les applications maritimes. Adopté par la résolution MSC.307(88), il est entré en vigueur le 1er juillet

2012, remplaçant l'ancienne version adoptée par la résolution MSC.61(67) en 1996. (Netherlands Regulatory Framework (NeRF), 2012). (M. S. OMI, 2024). (International Maritime Organization, 2012).

Le principal objectif du code FTP 2010 est de garantir une application cohérente et standardisée des exigences en matière d'essais au feu, améliorant ainsi la sécurité incendie à bord des navires. Il vise également à faciliter la compréhension et l'application des procédures d'essai au feu en mettant à jour les références aux normes ISO applicables et en intégrant les leçons apprises de l'application du code précédent. (International Maritime Organization, 2012). (Netherlands Regulatory Framework (NeRF), 2012) . (M. S. OMI, 2024). Le code FTP 2010 s'applique à tous les produits utilisés dans les applications maritimes qui doivent répondre aux exigences de sécurité incendie spécifiées par le chapitre II-2 de la convention SOLAS. Il définit les critères et procédures d'essai pour garantir que les matériaux et composants utilisés à bord des navires ne compromettent pas la sécurité en cas d'incendie. (S. OMI, 2002).

Le code spécifie les exigences pour les laboratoires d'essai, y compris leur accréditation et leurs méthodes de travail, afin d'assurer la fiabilité et la précision des résultats d'essais. Les rapports d'essai doivent suivre un format standardisé, détaillant les méthodes utilisées, les résultats obtenus et leur conformité aux critères d'acceptation. (Netherlands Regulatory Framework (NeRF), 2012). Le code FTP 2010 inclut des procédures d'approbation de type et d'approbation au cas par cas pour les matériaux, composants et structures maritimes. L'approbation de type permet de certifier qu'un produit type répond aux exigences du code, tandis que l'approbation au cas par cas concerne des applications spécifiques. (Netherlands Regulatory Framework (NeRF), 2012). Le code comprend une série de tests détaillés pour évaluer les performances des matériaux en situation d'incendie (Tableau 4.3).

Tableau 4.3 : Tests d'évaluation des performances des matériaux en situation d'incendie selon le code FTP (source : (Flameretardants-Online, 2024))

Tests	Détails
Test d'incombustibilité (partie 1)	Évaluer si un matériau peut être considéré comme incombustible.
Test de fumée et de toxicité (partie 2)	Mesurer la quantité de fumée et de substances toxiques émises par un matériau lorsqu'il brûle.
Test pour les divisions de classe "a", "b" et "f" (partie 3)	Évaluer la résistance au feu des cloisons et des ponts.
Test des systèmes de commande de portes coupe-feu (partie 4)	Vérifier la fonctionnalité des systèmes de commande de portes en cas d'incendie.
Test d'inflammabilité des surfaces (partie 5)	Déterminer la propension des matériaux de surface à s'enflammer et à propager le feu.
Essai pour textiles et films supportés verticalement (partie 6)	Tester la résistance au feu des textiles et films utilisés dans des applications maritimes.
Test pour les meubles rembourrés et les composants de literie (partie 7)	Évaluer la résistance à l'ignition et la propagation des flammes pour les meubles et literies.
Essai de matériaux coupe-feu pour engins à grande vitesse (partie 8)	Vérifier la performance des matériaux utilisés dans les engins maritimes à grande vitesse.
Test des divisions résistantes au feu des engins à grande vitesse (partie 9)	Évaluer la résistance au feu des cloisons et des ponts des engins à grande vitesse.

L'annexe 2 du code liste les produits qui peuvent être installés sans tests supplémentaires, car ils sont intrinsèquement sûrs. Ces produits incluent des matériaux incombustibles comme le verre, le béton, les produits en céramique, et certains métaux. (Netherlands Regulatory Framework (NeRF), 2012). Le code FTP 2010 permet l'utilisation de conceptions et dispositions alternatives, à condition que celles-ci offrent un niveau de sécurité au moins équivalent à celui des exigences prescriptives du code. Cela est particulièrement pertinent pour les innovations technologiques et les nouvelles approches de conception. (Netherlands Regulatory Framework (NeRF), 2012). Le code FTP 2010 est un document essentiel pour garantir la sécurité incendie à bord des navires, en fournissant des directives claires et uniformes pour les essais au feu, l'approbation de produits et les procédures d'essais en laboratoire. En mettant à jour les références aux normes ISO et en intégrant les meilleures pratiques de l'industrie, le code assure que les matériaux et composants utilisés dans les applications maritimes répondent aux normes internationales les plus élevées en matière de sécurité incendie.

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

Notre projet, envisage l'utilisation d'un carburant à faible point d'éclair, nécessite une attention particulière en matière de sécurité incendie. Le code FTP 2010, en tant que norme internationale

pour les procédures d'essais au feu, est d'une importance cruciale pour garantir que les matériaux et systèmes utilisés dans le projet répondent aux normes de sécurité les plus strictes. L'utilisation d'un carburant à faible point d'éclair augmente le risque d'incendie et d'explosion. Le code FTP 2010 fournit des directives claires pour tester et approuver les matériaux et systèmes qui peuvent résister à des conditions de feu intenses, réduisant ainsi le risque d'incidents majeurs. (M. S. OMI, 2024). Les infrastructures doivent être conçues pour minimiser les risques liés à la propagation d'incendies avec le mélange e-méthanol - biodiesel. En se conformant au code FTP 2010, notre projet garantit que les matériaux et systèmes utilisés respectent les normes internationales de sécurité incendie, ce qui est crucial pour obtenir l'approbation des autorités maritimes et des assurances. (M. S. OMI, 2024). Le code FTP 2010 couvre une gamme complète de tests pour différents types de matériaux, y compris les cloisons, les ponts, les revêtements de surface, les textiles et les films. Cette évaluation complète permet de s'assurer que tous les matériaux utilisés dans le projet sont adaptés aux conditions de feu potentielles.

Tableau 4.4 : Sécurité incendie et conformité au code FTP 2010 dans le cadre de l'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

Mesures Complémentaires	
Formation et préparation du personnel	En plus de se conformer au code FTP 2010, il est crucial de former le personnel à la gestion des risques d'incendie associés à l'utilisation de carburants à faible point d'éclair. Cela inclut des exercices d'évacuation et des simulations d'incendie.
Systèmes de détection et d'extinction d'incendie	Installer des systèmes de détection d'incendie sensibles et des systèmes d'extinction efficaces, tels que les sprinklers et les extincteurs automatiques, pour détecter et éteindre les incendies rapidement.
Maintenance et inspection régulières	Mettre en place un programme de maintenance et d'inspection régulières pour tous les équipements et systèmes de sécurité incendie, afin de garantir leur bon fonctionnement en tout temps.

Le code FTP 2010 est d'une pertinence cruciale pour notre projet en raison de l'utilisation prévue d'un carburant à faible point d'éclair. En suivant les directives du code, le projet peut assurer une sécurité incendie optimale, minimiser les risques d'incendie et de propagation, et garantir la conformité aux normes internationales. Cela permettra non seulement de protéger les vies humaines et les biens, mais aussi d'assurer le succès et la viabilité du projet à long terme.

4.1.7 Réglementation sur la sécurité-incendie des navires (vessel fire safety regulations)

Le *vessel fire safety regulations* est une législation canadienne conçue pour améliorer la sécurité en matière d'incendie à bord des navires commerciaux et publics. Ces réglementations spécifiques établissent des exigences détaillées pour la sécurité incendie à bord des navires, y compris les exigences relatives aux carburants avec un point d'éclair bas. Le règlement vise à améliorer la sécurité-incendie à bord des navires, à prévenir ou à minimiser les blessures et à réduire les pertes de vie résultant d'un incendie. Il est conçu pour être conforme aux exigences maritimes internationales et pour être appliqué de manière uniforme dans tout le secteur maritime canadien. (Government of Canada, 2017). L'application du règlement sera progressive, donnant aux entreprises la possibilité de se conformer volontairement avant l'imposition de sanctions. Les inspecteurs de la sécurité maritime de Transport Canada joueront un rôle clé dans l'application du règlement en effectuant des inspections des navires et en délivrant des documents de sécurité maritime aux navires conformes. (Government of Canada, 2017). Des sanctions seront imposées en cas de non-conformité, allant des avertissements verbaux ou écrits pour les infractions mineures aux amendes maximales de 1 000 000 $ ou 18 mois de prison pour les infractions graves. Des procédures de déclaration de culpabilité par procédure sommaire seront utilisées pour les infractions graves. (T. publics et S. gouvernementaux C. Gouvernement du Canada, 2020).

Les navires existants bénéficieront de droits acquis en matière de construction et d'équipement, mais devront se conformer aux nouvelles exigences opérationnelles et de maintenance. Les droits acquis cesseront d'être applicables dans certaines conditions, comme les réparations ou modifications majeures du navire. (Government of Canada, 2017). La conformité au règlement sera surveillée par les inspecteurs de la sécurité maritime de Transport Canada et les visiteurs des organismes canadiens reconnus. Transport Canada communiquera régulièrement avec les parties prenantes par le biais de réunions et de bulletins d'information sur la sécurité maritime. Des évaluations régulières de la performance du règlement seront effectuées pour garantir son efficacité et son application uniforme. (Government of Canada, 2017).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

Le *vessel fire safety regulations* est pertinent pour notre projet car il fournit un cadre réglementaire essentiel pour garantir la sécurité-incendie à bord des navires, en particulier lors de l'utilisation de

carburants à faible point d'éclair. Respecter ce règlement contribuera à minimiser les risques d'incendie et à assurer la sécurité de notre navire, de son équipage et de ses passagers. Le règlement établit des normes spécifiques pour la sécurité-incendie à bord des navires. En utilisant un carburant à faible point d'éclair, nous devrons nous assurer que notre navire est conforme à ces normes pour minimiser les risques d'incendie et de sécurité pour l'équipage et les passagers. Les navires utilisant des carburants à faible point d'éclair doivent respecter des exigences strictes en matière d'opérations et de maintenance pour assurer la sécurité. Le règlement précise les procédures à suivre pour la manipulation, le stockage et l'utilisation de ces carburants afin de prévenir les incendies. Les inspecteurs de la sécurité maritime de Transport Canada seront chargés de surveiller la conformité des navires aux normes de sécurité-incendie. Ils vérifieront si votre navire respecte les exigences du règlement en matière d'utilisation de carburants à faible point d'éclair et prendront des mesures en cas de non-conformité. (Government of Canada, 2017). Le règlement exige également que l'équipage soit formé et informé des procédures de sécurité-incendie, y compris celles liées à l'utilisation de carburants à faible point d'éclair. Vous devrez vous assurer que votre équipage est correctement formé pour manipuler ce type de carburant en toute sécurité. (Government of Canada, 2017).

4.1.8 Code ISM - code international de gestion de la sécurité

Le code ISM a été développé par l'OMI pour établir une norme internationale pour la gestion et l'exploitation sécurisées des navires ainsi que pour la prévention de la pollution marine. Le code ISM est un élément essentiel de la SOLAS, étant intégré dans son chapitre IX. Il est entré en vigueur le 1er juillet 1998 pour certains navires et a été étendu à d'autres types de navires le 1er juillet 2002. (Transport Canada, 2011), (Raunek, 2023), (Tang, 2023), (I. C. OMI, 2024), (International Chamber of Shipping, 2019), (I. C. OMI, 2015), (Riela, 2023), (I. C. OMI, 2002). Le code ISM présente plusieurs objectifs et principes fondamentaux qui traitent :

- La sécurité des opérations maritimes, les accidents, les blessures, et les pertes de vies humaines. (Transport Canada, 2011), (Raunek, 2023), (Tang, 2023), (I. C. OMI, 2024), (I. C. OMI, 2015), (International Chamber of Shipping, 2019), (I. C. OMI, 2002).
- La prévention de la pollution marine qui consiste à mettre en œuvre des pratiques visant à protéger l'environnement marin en minimisant les risques de pollution. (Transport Canada,

2011), (Raunek, 2023), (Tang, 2023), (I. C. OMI, 2024), (I. C. OMI, 2015), (International Chamber of Shipping, 2019), (I. C. OMI, 2002).

- La culture de sécurité qui encourage le développement d'une culture de sécurité au sein de l'industrie maritime grâce à des pratiques de gestion structurées et une formation continue du personnel. (Transport Canada, 2011), (Raunek, 2023), (Tang, 2023), (I. C. OMI, 2024), (I. C. OMI, 2015), (International Chamber of Shipping, 2019), (I. C. OMI, 2002).

Les exigences spécifiques du code ISM sont nombreuses. On peut dénombrer :

- La politique de sécurité et de protection de l'environnement, pour qui, chaque entreprise doit élaborer, documenter et mettre en œuvre une politique pour assurer la sécurité et la protection de l'environnement. La politique doit couvrir les pratiques d'exploitation sûres des navires et un environnement de travail sécurisé, ainsi que des mesures pour prévenir les risques identifiés.
- Le système de gestion de la sécurité, dont un SMS documenté doit être mis en place, couvrant toutes les activités de l'entreprise et les opérations des navires.
- Les pratiques sûres d'exploitation, prévention des risques, préparation aux situations d'urgence, et amélioration continue des compétences en gestion de la sécurité, sont des éléments clés.
- Les responsabilités et autorités qui consistent à définir et documenter les responsabilités et les relations de tout le personnel impliqué dans la gestion, l'exploitation et la vérification des travaux liés à la sécurité et à la prévention de la pollution.
- Une personne désignée à terre (DPA) pour assurer la sécurité des opérations et servir de lien entre l'entreprise et l'équipage à bord. Assurer que le navire est équipé de personnel qualifié, certifié et médicalement apte, conformément aux exigences nationales et internationales.
- Offrir une formation continue et appropriée à tout le personnel, à terre et à bord, pour renforcer leurs compétences en gestion de la sécurité et en protection de l'environnement. Établir des procédures pour la gestion et le contrôle de tous les documents pertinents pour le SMS, garantissant que les documents valides sont disponibles et que les documents obsolètes sont rapidement supprimés. Identifier les situations d'urgence potentielles et élaborer des plans d'urgence détaillés. Réaliser régulièrement des exercices pour préparer

le personnel aux situations d'urgence. Effectuer des audits internes et externes réguliers pour vérifier l'efficacité du SMS. Analyser les résultats des audits, des accidents, des incidents et des situations dangereuses pour identifier les opportunités d'amélioration et mettre en œuvre des actions correctives. Sources : (Transport Canada, 2011), (Raunek, 2023), (Tang, 2023), (Riela, 2023), (I. C. OMI, 2015), (International Chamber of Shipping, 2019), (I. C. OMI, 2002).

Comme avantages du code ISM, nous avons la réduction des accidents et des incidents maritimes grâce à des pratiques de gestion structurées et à la formation continue du personnel. La réduction des risques de pollution marine grâce à des mesures proactives et à des procédures de gestion environnementale. Le développement d'une culture de sécurité au sein de l'industrie maritime, favorisant une prise de conscience accrue et un engagement envers des pratiques sécuritaires. La conformité réglementaire qui s'assure que les opérations maritimes respectent les réglementations internationales, ce qui peut également faciliter les inspections et les contrôles par les autorités portuaires. Un SMS efficace permet aux entreprises de mieux surveiller et améliorer leurs performances en matière de sécurité et de prévention de la pollution, réduisant ainsi les risques et augmentant l'efficacité opérationnelle. (Transport Canada, 2011), (Raunek, 2023), (Tang, 2023), (Riela, 2023), (I. C. OMI, 2015), (International Chamber of Shipping, 2019), (I. C. OMI, 2002).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

Dans le cadre où nous envisageons d'utiliser un carburant à faible point d'éclair, le code ISM est particulièrement pertinent pour notre projet. Il vise à assurer la sécurité des opérations maritimes et à prévenir la pollution marine. L'utilisation de carburants à faible point d'éclair introduit des risques accrus d'incendie et d'explosion, ce qui nécessite des mesures de sécurité renforcées. Il exige que les compagnies maritimes mettent en place un SMS pour gérer les risques opérationnels. Ce système aidera à identifier, évaluer et atténuer les risques associés à l'utilisation de carburants à faible point d'éclair. Le SMS doit inclure des procédures documentées pour l'utilisation de carburants à faible point d'éclair, couvrant l'approvisionnement, le stockage, la manipulation et l'utilisation en toute sécurité. Toutes les procédures liées à la gestion des carburants à faible point d'éclair doivent être incluses dans le SMM, garantissant que tout le personnel à bord est informé des risques et des mesures de prévention.

Le code ISM exige que tout le personnel à bord reçoive une formation adéquate en matière de sécurité et de gestion des risques. La formation spécifique sur la manipulation des carburants à faible point d'éclair sera essentielle. Le personnel doit être formé à la gestion des situations d'urgence spécifiques à l'utilisation de ces carburants, y compris les procédures d'évacuation, de lutte contre l'incendie et de réponse aux déversements.

Les systèmes de stockage et de distribution de carburant doivent être inspectés régulièrement pour s'assurer de leur intégrité et de leur bon fonctionnement. Les défaillances potentielles doivent être identifiées et corrigées. Le code ISM nécessite que les navires soient équipés d'équipements de sécurité appropriés. Pour les carburants à faible point d'éclair, cela inclut des systèmes de détection d'incendie, des systèmes d'extinction d'incendie, et des dispositifs de ventilation appropriés.

Conformément au code ISM, des audits internes et externes seront menés pour vérifier la conformité aux normes de sécurité. Ces audits incluront l'évaluation des mesures de sécurité liées à l'utilisation de carburants à faible point d'éclair. Les résultats des audits et des inspections doivent être utilisés pour améliorer continuellement le SMS, en intégrant les leçons apprises et les meilleures pratiques. Le code ISM exige un engagement clair de la direction pour la sécurité et la protection de l'environnement. La direction doit s'assurer que des ressources adéquates sont disponibles pour gérer les risques associés aux carburants à faible point d'éclair. Un responsable à terre doit être désigné pour superviser les opérations de sécurité et servir de point de contact pour les questions liées à la sécurité des carburants.

4.1.9 Code IMDG - Transport des marchandises dangereuses

Le code IMDG a été établi par l'OMI dans le but de garantir la sécurité du transport maritime des marchandises dangereuses et de prévenir la pollution marine. Initialement adopté en 1965 en tant que recommandation, il a été rendu obligatoire à partir du 1er janvier 2004, conformément aux dispositions de la SOLAS intégré au chapitre VII et à celles de la MARPOL précisemment à l’annexe III. (Across Logistics, 2024), (I. C. OMI, 2025), (Wikipedia, 2025). Le code IMDG vise à protéger la vie humaine à bord des navires et dans les ports. Prévenir les catastrophes écologiques, notamment les déversements ou accidents impliquant des marchandises dangereuses. Harmoniser les pratiques internationales en matière d'emballage, d'étiquetage, d'arrimage et de transport des matières dangereuses. (Foster, 2024), (Across Logistics, 2024), (I. C. OMI, 2025), (Wikipedia, 2025). Le code impose des règles strictes pour éviter les interactions entre produits chimiques

incompatibles (chapitre 7.2). La manipulation sécuritaire des marchandises dangereuses exige une formation obligatoire pour les équipages et le personnel portuaire. Le Code IMDG inclut des protocoles pour la réponse aux incidents, notamment les risques d'incendie et les fuites. (Wikipedia, 2025), (Across Logistics, 2024).

Depuis 1998, le code IMDG est publié en deux volumes principaux :

- Volume 1 : dispositions générales et techniques, notamment la classification des substances dangereuses (parties 1 à 2 et 4 à 7). (Wikipedia, 2025), (Foster, 2024).
- Volume 2 : liste détaillée des marchandises dangereuses, instructions spécifiques pour leur manipulation et transport (partie 3). (Wikipedia, 2025), (Foster, 2024).

Les parties clés comprennent :

- Partie 1 : définitions et dispositions générales, y compris les formations obligatoires pour les opérateurs.
- Partie 2 : classification des matières dangereuses selon neuf catégories principales, comme les liquides inflammables, les gaz ou les substances corrosives.
- Partie 3 : liste des marchandises dangereuses et restrictions applicables (numéros ONU, groupes d'emballage, etc.).
- Partie 4 : dispositions relatives à l’emballage et aux citernes
- Partie 5 : procédures d'expédition et documentation requises, notamment la déclaration des marchandises dangereuses.
- Partie 6 : construction et essais des colis, des grands récipients pour vrac, des grands emballages, des citernes portables, des conteneurs à gaz à éléments multiples et des véhicules-citernes routiers
- Partie 7 : directives opérationnelles, incluant l'arrimage et la ségrégation des substances incompatibles.

Le code est mis à jour tous les deux ans par le MSC de l'OMI, en intégrant les recommandations des nations unies sur le transport des matières dangereuses. (Wikipedia, 2025). Le code IMDG sert de référence aux réglementations nationales, harmonisant les pratiques à l'échelle mondiale. Il s'applique à toutes les parties impliquées dans le transport maritime, y compris les expéditeurs, transporteurs, capitaines de navires et autorités portuaires. (I. C. OMI, 2025), (Wikipedia, 2025).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

Le mélange e-méthanol - biodiesel, un carburant alternatif prometteur, est classé dans la classe 3 : liquides inflammables selon le code IMDG. Ce classement implique qu'il doit être manipulé et transporté selon des normes strictes pour minimiser les risques pour la sécurité humaine et l'environnement. (Across Logistics, 2024), (Foster, 2024).

Tableau 4.5 : Exigences de transport et de sécurité de l'e-méthanol selon le Code IMDG

Critères IMDG	Exigences spécifiques à l'e-méthanol pur	Implications pratiques	Références
Classification	Numéro ONU : 1230 Groupe d'emballage : II (inflammabilité moyenne).	Nécessite des précautions renforcées pour éviter les fuites et les réactions chimiques dangereuses.	(Across Logistics, 2024), (Foster, 2024).
Étiquetage et marquage	Étiquette de danger Classe 3 : symbole de flamme. Informations complètes sur le conteneur : numéro ONU, nature du produit, risques associés.	Facilite l'identification rapide des risques par les autorités portuaires et les équipages.	
Emballage et arrimage	Utilisation de réservoirs étanches résistants à la corrosion. Ségrégation obligatoire avec les substances oxydantes ou incompatibles.	Exige des infrastructures portuaires adaptées et des investissements dans des équipements spécifiques pour l'arrimage sécuritaire.	
Sécurité et gestion des risques	Protocoles stricts pour la manipulation et le stockage. Systèmes de détection des fuites et d'extinction des incendies obligatoires.	Réduit les risques d'incidents maritimes majeurs, mais implique des coûts initiaux élevés pour les équipements de sécurité.	

Bien que l'e-méthanol pur soit une alternative plus propre aux carburants fossiles, il présente certains risques à savoir : les déversements accidentels peuvent affecter les écosystèmes aquatiques sensibles. Lors de sa combustion, l'e-méthanol émet moins de CO_2, mais des impacts peuvent survenir en cas de production non durable. Les matériaux d'emballage usagés doivent être traités conformément aux normes du code IMDG pour éviter la contamination des sols. Les équipes doivent être formées aux propriétés spécifiques du mélange e-méthanol – biodiesel, comme son inflammabilité élevée et ses effets toxiques en cas d'exposition prolongée. Pour garantir une adoption réussie du mélange e-méthanol - biodiesel dans le respect du code IMDG, il est recommandé de moderniser les installations pour le stockage et le soutage de ce mélange. Aussi, aligner les pratiques locales avec les exigences du code IMDG. Développer des programmes

spécifiques pour les opérateurs maritimes et portuaires. Participer activement aux mises à jour du code pour intégrer les spécificités des carburants alternatifs comme le mélange e-méthanol - biodiesel. Le code IMDG offre un cadre essentiel pour le transport sûr et durable du mélange e-méthanol - biodiesel, mais nécessite une adaptation et une coopération renforcées pour répondre aux exigences techniques, environnementales et économiques du secteur maritime.

4.1.10 Convention internationale sur les normes de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille – Formation des équipages

La STCW a été adoptée par l'OMI le 7 juillet 1978 et est entrée en vigueur le 28 avril 1984 . Cette convention constitue le premier cadre réglementaire international visant à harmoniser les normes de formation des marins, la délivrance des brevets de compétence et les règles de veille maritime. Avant l'adoption de cette convention, chaque pays définissait ses propres exigences en matière de formation et de certification des marins, entraînant une hétérogénéité des compétences et des qualifications. L'absence de normes communes représente un risque pour la sécurité maritime et la protection de l'environnement. (S. OMI, 1984).

L'objectif principal de la convention STCW est donc de garantir un niveau minimal de formation et de qualification uniforme des gens de mer à l'échelle mondiale, améliorant ainsi la sécurité des opérations maritimes et exceptionnellement les risques d'accidents en mer. (S. OMI, 1984). Depuis son adoption en 1978, la convention a subi plusieurs révisions majeures afin de s'adapter aux évolutions technologiques et aux nouvelles exigences de l'industrie maritime :

Amendements de 1995 : introduction du code STCW , qui divise les prescriptions en deux parties.

- Partie A : obligatoire et détaillant les exigences minimales en matière de formation et de certification.
- Partie B : recommandations visant à aider les états à mettre en œuvre la convention.

Amendements de Manille (2010) : nouvelles règles sur la prévention de la fatigue, avec une révision des heures de travail et de repos. Introduction de nouvelles compétences pour les officiers électrotechniciens. Exigence de formation sur l'utilisation des systèmes de visualisation de cartes électroniques et d'information. Inclusion d'une formation spécifique pour la sûreté maritime et la lutte contre la piraterie. Prise en compte des opérations en eaux polaires et des systèmes de positionnement dynamique. (S. OMI, 1984).

Ces révisions ont permis d'améliorer la qualité de la formation des marins et d'assurer une meilleure adaptation aux défis modernes du transport maritime. (S. OMI, 1984).

La convention est structurée en plusieurs chapitres, chacun traitant d'un aspect spécifique de la formation, de la certification et des procédures de veille maritime. Elle joue également un rôle fondamental dans la sécurité maritime et la prévention des accidents en mer. En imposant des normes de formation homogènes, elle permet une meilleure compétence des équipages en garantissant une formation standardisée et adaptée aux exigences modernes. Une réduction des risques d'accidents, en s'assurant que les équipages maîtrisent les procédures de navigation, d'urgence et de sûreté. Une reconnaissance mutuelle des qualifications, facilitant la mobilité des marins et la reconnaissance des brevets entre états membres. Un renforcement de la protection environnementale, en sensibilisant les équipages aux bonnes pratiques de gestion des carburants et de prévention des pollutions maritimes. (S. OMI, 1984).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

Avec l'introduction de nouveaux carburants marins comme le mélange e-méthanol - biodiesel, la formation des équipages devient un enjeu clé pour assurer une manipulation sécuritaire et efficace de ces substances. La STCW s'impose comme une référence réglementaire pour garantir une formation spécifique aux risques du mélange e-méthanol – biodiesel (faible point d'éclair, légère, inflammabilité). La mise en place de protocoles de sécurité adaptés pour le transport et l'utilisation de ce carburant alternatif. L'adoption de pratiques de veille et d'urgence pour répondre aux incidents liés aux carburants alternatifs. La convention STCW constitue un cadre essentiel pour garantir un niveau élevé de compétence et de professionnalisme chez les marins, notamment les risques d'accidents en mer et améliorer la sécurité des opérations. Son application est d'autant plus cruciale avec l'introduction de carburants alternatifs comme le mélange e-méthanol - biodiesel, qui nécessite une formation spécifique et rigoureuse pour prévenir tout incident. Dans le cadre du projet GREENMET, la STCW pourrait servir de base pour définir des modules de formation dédiés au mélange e-méthanol - biodiesel, en collaboration avec les autorités maritimes et les centres de formation spécialisés. Son intégration dans les réglementations nationales et internationales permettra d'accélérer la transition énergétique tout en garantissant une navigation sûre et conforme aux exigences environnementales.

4.2 Lois fédérales canadiennes

4.2.1 Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) - Partie 7 – Contrôle de la pollution et gestion des déchets

La loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) est une législation qui aborde divers aspects de la protection de l'environnement au Canada. La partie 7 de cette loi est spécifiquement dédiée au contrôle de la pollution et gestion des déchets et a pour objectif de conférer au gouvernement fédéral le pouvoir de réglementer et de contrôler les activités et les déversements pouvant entraîner la pollution de l'environnement, en particulier ceux liés aux navires. (E. et C. climatique Canada, 2014). Elle accorde au gouvernement fédéral le pouvoir de réglementer divers aspects de la pollution par les navires. Cela inclut la réglementation des rejets, tels que les déversements d'hydrocarbures et d'autres substances polluantes provenant des navires. (E. et C. climatique Canada, 2014). La législation vise à établir des mécanismes de contrôle rigoureux pour minimiser les effets néfastes des rejets provenant des navires sur l'écosystème marin et les zones côtières. En accordant au gouvernement fédéral le pouvoir de réglementer les activités des navires, y compris les déversements potentiellement dangereux, la loi vise à protéger les écosystèmes marins contre les polluants. (E. et C. climatique Canada, 2014). La législation inclut également des dispositions visant à imposer des mesures préventives, des normes et des sanctions pour dissuader les activités polluantes des navires. Et elle s'aligne sur les normes et les conventions internationales pertinentes liées à la prévention de la pollution marine par les navires. (E. et C. climatique Canada, 2014).

1.1.1.1 Réglementation sur les carburants renouvelables (DORS/2010-189)

Le but global de cette réglementation est généralement d'encourager l'adoption de carburants renouvelables dans le secteur des transports, contribuant ainsi aux efforts de durabilité environnementale et à la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles. Le règlement définit les types de carburants considérés comme renouvelables. Cela peut inclure des carburants produits à partir de sources renouvelables telles que la biomasse, les déchets organiques, ou d'autres sources durables. Il peut spécifier les normes de mélange obligatoires pour les carburants renouvelables dans les carburants conventionnels. Par exemple, il peut exiger un certain pourcentage de carburant renouvelable dans l'ensemble du volume de carburant. (D. des services législatifs Canada, 2022a). Les producteurs et distributeurs de carburants peuvent être tenus de

soumettre des rapports réguliers sur la quantité et le type de carburants renouvelables qu'ils produisent ou distribuent. Cela contribue à assurer la conformité aux normes établies. Le règlement peut également inclure des incitatifs financiers tels que des crédits ou des réductions d'impôts pour encourager la production et l'utilisation de carburants renouvelables. Les exigences du règlement visent généralement à soutenir des objectifs environnementaux, tels que la réduction des émissions de GES et la promotion de carburants plus durables sur le plan environnemental. (D. des services législatifs Canada, 2022a). Il peut y avoir des mécanismes de surveillance pour garantir que les entreprises respectent les normes établies. Les non-conformités peuvent entraîner des sanctions ou d'autres mesures correctives. Certains règlements sur les carburants renouvelables prévoient des dispositions pour des révisions périodiques afin d'ajuster les normes en fonction de l'évolution de la technologie et des besoins environnementaux. (D. des services législatifs Canada, 2022a).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

L'utilisation des carburants contenant un mélange au e-méthanol peut présenter des risques liés à la production, au stockage et à la manipulation de ces carburants. Des fuites ou des déversements d'e-méthanol peuvent survenir tout au long de la chaîne d'approvisionnement, depuis la production jusqu'à l'utilisation finale dans les navires. Ce règlement impose des normes strictes pour la production, le transport et le stockage de carburants contenant du e-méthanol afin de réduire les risques de déversement. Des inspections régulières des installations de production et des rapports sur la quantité et le type de carburants produits peuvent être requis pour assurer la conformité.

1.1.1.2 Réglementation sur certaines substances toxiques interdites (2012) (DORS/2012-285)

Cette réglementation joue un rôle crucial dans la gestion des substances toxiques au Canada, en mettant l'accent sur la protection de la santé humaine et de l'environnement contre les effets néfastes de ces substances. La réglementation s'applique aux substances toxiques qui sont spécifiées dans les annexes 1 ou 2 du règlement et qui sont également inscrites sur la liste des substances toxiques de l'annexe 1 de la loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999). Les substances toxiques concernées sont identifiées dans les annexes du règlement, et cette liste peut être mise à jour en fonction des évaluations des risques pour la santé humaine et l'environnement. (D. des services législatifs Canada, 2021). La réglementation peut imposer des restrictions sévères ou interdire complètement l'utilisation, la fabrication, l'importation, ou la vente de substances toxiques

spécifiques. Ces mesures sont prises pour minimiser l'exposition humaine et les impacts environnementaux négatifs. Le règlement vise généralement à atteindre des objectifs environnementaux spécifiques, tels que la réduction des émissions de substances toxiques, la protection des écosystèmes aquatiques, ou la prévention de la contamination des sols. (D. des services législatifs Canada, 2021). Les entreprises ou entités qui utilisent, produisent ou importent ces substances toxiques peuvent être tenues de se conformer aux exigences du règlement. Cela peut inclure la soumission de rapports sur les quantités utilisées, des plans de gestion des risques, ou d'autres informations nécessaires pour évaluer la conformité. Des mécanismes de surveillance sont généralement mis en place pour garantir la conformité, et des sanctions peuvent être appliquées en cas de non-respect des dispositions du règlement. Certains règlements sur les substances toxiques prévoient des révisions périodiques pour tenir compte des avancées scientifiques, des nouvelles données sur les risques, ou des changements dans l'utilisation des substances concernées. (D. des services législatifs Canada, 2021).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

En mettant l'accent sur la protection de l'environnement et de la santé humaine, ce règlement cherche à réduire les émissions de substances toxiques et à prévenir la contamination des sols et des eaux. En se conformant à ses exigences, notre projet contribuerait à limiter les impacts environnementaux et à atténuer les risques associés à l'utilisation d'un mélange de carburants contenant du e-méthanol dans cette région écologiquement sensible. La surveillance régulière est également essentielle pour garantir le respect des dispositions du règlement et la mise en œuvre de mesures visant à réduire les risques pour l'écosystème du Saint-Laurent.

1.1.1.3 Réglementation limitant les émissions de dioxyde de carbone provenant de la production d'électricité thermique au gaz naturel (DORS/2018-261)

Cette réglementation vise à contrôler et à réduire les émissions de dioxyde de carbone provenant de la production d'électricité thermique au gaz naturel, contribuant ainsi aux efforts du Canada pour atténuer les impacts des changements climatiques. Le règlement s'applique spécifiquement à la production d'électricité à partir de la combustion de gaz naturel, seul ou en combinaison avec d'autres combustibles, à l'exception du charbon. L'objectif principal est de limiter les émissions de dioxyde de carbone provenant de ces installations de production d'électricité. Les mesures prises

peuvent inclure l'établissement de normes d'émissions spécifiques ou d'autres mécanismes pour encourager la réduction des émissions. (Justice, 2019a). Le règlement peut établir des normes spécifiques pour les émissions de dioxyde de carbone, fixant des limites quantitatives que les installations doivent respecter. Ces normes peuvent varier en fonction de la capacité des installations, de la technologie utilisée, ou d'autres critères pertinents. Les exploitants des installations visées par le règlement peuvent être tenus de mettre en œuvre des mesures pour se conformer aux normes d'émissions, ce qui peut inclure l'adoption de technologies plus propres, l'amélioration de l'efficacité énergétique, ou d'autres actions visant à réduire les émissions de dioxyde de carbone. Les exploitants peuvent être tenus de soumettre des rapports réguliers sur leurs émissions de dioxyde de CO_2, et des mécanismes de surveillance peuvent être mis en place pour vérifier la conformité. (Justice, 2019a). Le règlement peut également établir des exigences spécifiques pour les nouvelles installations, les obligeant peut-être à respecter des normes plus strictes dès le début de leurs opérations. La réglementation est susceptible d'être alignée sur les objectifs plus larges du Canada en matière de lutte contre les changements climatiques et de réduction des émissions de GES. (Justice, 2019a).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

Le règlement démontre l'importance des mesures réglementaires visant à réduire les émissions de GES dans le contexte environnemental plus large du Canada. Bien que ce règlement soit spécifique à la production d'électricité, il souligne l'engagement du Canada à atténuer les impacts des changements climatiques en limitant les émissions de CO_2, une composante majeure des GES. En analysant les implications de notre projet sur l'écosystème du Saint-Laurent, il est important de prendre en compte les objectifs de réduction des émissions de GES pour lutter contre les changements climatiques. Même si le règlement cible la production d'électricité, il met en lumière l'importance des normes d'émissions et des mécanismes de surveillance pour réduire les impacts environnementaux. Ainsi, en évaluant les risques associés à l'utilisation d'un mélange de carburants contenant du e-méthanol dans le Saint-Laurent, notre projet contribue indirectement aux objectifs plus larges de réduction des émissions de GES du Canada en examinant les effets potentiels sur le climat et en recommandant des mesures pour atténuer ces impacts.

1.1.1.4 Réglementation No 1 concernant les renseignements sur les combustibles (C.R.C., ch. 407)

Le règlement vise à encadrer la collecte d'informations sur les combustibles liquides dérivés des huiles brutes, du charbon et des sables bitumineux, contribuant ainsi à une gestion réglementaire efficace de ces types de combustibles au Canada. Le règlement s'applique spécifiquement aux combustibles liquides qui sont dérivés des huiles brutes, du charbon et des sables bitumineux. L'objectif principal est probablement de réglementer la collecte et la communication de renseignements spécifiques liés à ces types de combustibles. (D. des services législatifs Canada, 2017). Le règlement peut détailler les types de renseignements requis, les entités responsables de fournir ces renseignements, les délais pour la soumission des données, et d'autres aspects liés à la réglementation des combustibles spécifiques couverts. (D. des services législatifs Canada, 2017).

Les entités impliquées dans la production, le traitement, ou la distribution de ces combustibles liquides sont tenues de se conformer aux exigences du règlement en fournissant les renseignements requis de manière précise et en respectant les délais prescrits. Des mécanismes de suivi et de contrôle sont généralement établis pour assurer la conformité au règlement, et des sanctions peuvent être prévues en cas de non-respect des obligations. Comme cela concerne les combustibles, il est possible que le règlement vise également à garantir que les renseignements collectés contribuent à la surveillance des impacts environnementaux et de la santé associés à l'utilisation de ces combustibles. Il peut également y avoir des dispositions indiquant comment ce règlement interagit avec d'autres lois ou règlements pertinents, assurant ainsi une approche coordonnée dans la réglementation des combustibles liquides spécifiques couverts. (D. des services législatifs Canada, 2017).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

La réglementation encadre la collecte et la communication d'informations sur les combustibles liquides dérivés des huiles brutes, du charbon et des sables bitumineux. Bien qu'il ne traite pas directement des carburants au mélange contenant du e-méthanol, il établit des normes pour la collecte de données et la communication d'informations, ce qui est crucial pour évaluer les risques associés à l'utilisation de ces carburants dans le Saint-Laurent. En réglementant la collecte et la communication de renseignements sur les combustibles liquides, ce règlement contribue à une gestion réglementaire efficace de ces combustibles au Canada. Il assure que les entités impliquées

dans la production, le traitement ou la distribution de ces combustibles se conforment aux exigences en fournissant des informations précises et en respectant les délais prescrits. De plus, ce règlement garantit que les renseignements collectés contribuent à la surveillance des impacts environnementaux et de la santé associés à l'utilisation de ces combustibles, ce qui est crucial pour évaluer les risques potentiels pour l'écosystème du Saint-Laurent liés à l'utilisation d'un mélange de carburants contenant du e-méthanol. En intégrant ces données réglementaires dans notre analyse de risques, nous pouvons mieux comprendre les implications environnementales de l'utilisation de ces carburants dans le contexte spécifique du Saint-Laurent et formuler des recommandations pour atténuer les risques identifiés.

1.1.1.5 Réglementation sur les systèmes de stockage de produits pétroliers et de produits apparentés (DORS/2008-197)

La réglementation vise à établir des normes de sécurité pour les installations de stockage au Canada, contribuant ainsi à minimiser les risques environnementaux associés à ces systèmes. Il s'applique spécifiquement aux systèmes de stockage, ce qui peut inclure des réservoirs, des cuves ou d'autres installations destinées au stockage de produits pétroliers et de produits apparentés. Il précise que ces systèmes de stockage doivent être situés sur le territoire canadien. (Justice, 2020a). Le règlement définit probablement les termes "produits pétroliers" et "produits apparentés" pour clarifier quels types de substances sont couvertes par ces dispositions, parmi lesquels le « Méthanol satisfaisant aux exigences de la norme ASTM D1152 de l'ASTM International intitulée Standard Specification for Methanol (Methyl Alcohol). » (D. des services législatifs Canada, 2020). Il énonce des normes de sécurité spécifiques auxquelles ces systèmes de stockage doivent se conformer. Cela peut inclure des mesures de prévention des fuites, des exigences d'entretien, et d'autres protocoles de sécurité. Il peut spécifier les responsabilités des exploitants de ces systèmes de stockage en termes de conformité aux normes énoncées, de surveillance régulière, de rapports et de maintenance. (Justice, 2020a). Des dispositions peuvent être incluses pour permettre des inspections régulières de ces systèmes afin de garantir leur conformité aux normes de sécurité. Le règlement vise probablement à protéger l'environnement en réduisant les risques de fuites ou de déversements de produits pétroliers. Comme c'est souvent le cas avec des réglementations environnementales, il peut y avoir des dispositions indiquant comment ce règlement interagit avec d'autres règlements pertinents afin d'assurer une approche coordonnée. (Justice, 2020a).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

Les installations de stockage d'un mélange de carburants contenant du e-méthanol peuvent être sujettes à des fuites ou à des déversements, mettant ainsi en danger les écosystèmes aquatiques du Saint-Laurent. Ce règlement établit des normes de sécurité pour les installations de stockage, y compris des mesures de prévention des fuites, des procédures d'entretien régulières et des inspections pour garantir la conformité aux normes de sécurité.

1.1.1.6 Réglementation sur les urgences environnementales (2019) (DORS/2019-51)

Cette réglementation concerne la gestion des situations d'urgence liées à des incidents environnementaux. Le règlement définit ce qui constitue une urgence environnementale. Cela inclut des déversements de substances dangereuses, des incidents chimiques, des fuites toxiques, etc. Il spécifie les responsabilités des différentes parties impliquées dans la gestion des urgences environnementales, y compris les autorités gouvernementales, les entreprises, les premiers intervenants, etc. (Justice, 2019b). Le règlement énonce des protocoles d'intervention spécifiques à suivre lorsqu'une urgence environnementale survient. Cela inclut des mesures immédiates pour contenir la situation, des procédures de signalement et des étapes pour atténuer les impacts environnementaux. Il pourrait exige que les incidents environnementaux soient déclarés aux autorités compétentes dans un délai spécifié, ainsi que les informations nécessaires pour évaluer la gravité de la situation. Des dispositions sont incluses concernant la prise de mesures correctives pour remédier aux dommages environnementaux résultant de l'urgence. (Justice, 2019b). Le règlement énonce des sanctions et des amendes en cas de non-conformité ou de négligence dans la gestion des urgences environnementales. Il y a aussi des clauses précisant comment ce règlement s'inscrit dans le cadre d'autres lois et règlements connexes. Le règlement exige que les parties concernées suivent une formation régulière et participent à des exercices pour garantir une préparation adéquate aux situations d'urgence. Des dispositions sont incluses pour garantir une communication transparente avec le public et les parties prenantes concernant les incidents environnementaux et les mesures prises pour les gérer. Il inclut des mécanismes de suivi et d'évaluation pour évaluer l'efficacité des mesures prises après une urgence environnementale. (Justice, 2019b).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

Les déversements d'un mélange contenant du e-méthanol dans le Saint-Laurent peuvent constituer des urgences environnementales, nécessitant une intervention rapide pour limiter les dommages causés à l'écosystème. Ce règlement établit des protocoles d'intervention détaillés pour les incidents impliquant des mélanges de carburants contenant du e-méthanol, y compris des procédures de signalement, des mesures d'atténuation des dommages environnementaux et des sanctions en cas de non-conformité avec les protocoles d'intervention.

1.1.1.7 Normes pour les émissions des moteurs marins et les carburants (Règlement sur les émissions des moteurs hors route et des petits bateaux)

Le règlement vise à réglementer les émissions provenant des moteurs marins et des petits bateaux, avec pour objectif principal de réduire l'impact environnemental de ces émissions. Il établit probablement des normes spécifiques pour les émissions provenant des moteurs marins. Ces normes fixent des limites maximales pour différents polluants tels que les NOx, les particules, les hydrocarbures, etc. (D. des services législatifs Canada, 2022b). Le règlement divise les moteurs marins en différentes catégories en fonction de leur taille, de leur puissance, ou d'autres caractéristiques pertinentes, chacune ayant ses propres normes d'émissions. Il indique probablement les dates à partir desquelles les nouvelles normes d'émissions sont applicables. Ces dates peuvent varier en fonction de la catégorie de moteurs. Des procédures de certification peuvent être établies pour s'assurer que les moteurs marins respectent les normes d'émissions. Les fabricants peuvent être tenus de soumettre leurs moteurs à des tests pour obtenir une certification. (D. des services législatifs Canada, 2022b). Des dispositions peuvent être incluses pour permettre des contrôles et des inspections réguliers pour vérifier la conformité des moteurs marins sur le terrain. Il peut exiger que les moteurs marins soient étiquetés de manière à indiquer leur conformité aux normes d'émissions spécifiques. Le règlement pourrait inclure des incitatifs pour encourager l'utilisation de moteurs marins plus propres, tels que des avantages fiscaux ou des subventions pour les moteurs respectant des normes d'émissions plus strictes. (D. des services législatifs Canada, 2022b). S'il existe des normes internationales pour les émissions des moteurs marins, le règlement peut inclure des dispositions pour s'aligner sur ces normes afin de promouvoir la cohérence mondiale. Il pourrait exiger des révisions périodiques des normes d'émissions pour tenir compte

des avancées technologiques et des changements dans les pratiques industrielles. Le règlement peut spécifier des sanctions ou des pénalités en cas de non-conformité avec les normes d'émissions établies. (D. des services législatifs Canada, 2022b).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

Cette réglementation vise à réglementer les émissions provenant des moteurs marins et des petits bateaux dans le but principal de réduire leur impact environnemental. En établissant des normes spécifiques pour les émissions provenant des moteurs marins, telles que des limites maximales pour différents polluants tels que les NO_x, les particules et les hydrocarbures, ce règlement contribue à atténuer les risques environnementaux associés à l'utilisation de carburants, y compris ceux contenant du e-méthanol, dans le Saint-Laurent. En garantissant que les moteurs marins respectent ces normes, il aide à limiter la pollution atmosphérique et à préserver la qualité de l'air et de l'eau dans l'écosystème du Saint-Laurent. De plus, ce règlement peut inclure des incitatifs pour encourager l'utilisation de moteurs marins plus propres, ce qui pourrait potentiellement favoriser l'adoption de carburants alternatifs comme ceux contenant du mélange e-méthanol et biodiesel, sous réserve qu'ils respectent les normes d'émissions établies. En intégrant ces normes d'émissions réglementaires dans votre analyse de risques, vous pouvez évaluer comment l'utilisation de carburants contenant du méthanol se compare aux normes établies et identifier les risques potentiels pour l'écosystème du Saint-Laurent en cas de non-conformité. Cela nous permettra de formuler des recommandations pour une utilisation sûre et responsable de ces carburants dans cette région spécifique.

4.2.2 Loi sur la marine marchande du Canada (LMMC 2001)

La LMMC 2001 est une loi fédérale qui réglemente divers aspects de la marine marchande au Canada. Bien que la compétence principale en matière de navigation et de transport maritime relève du gouvernement fédéral, certaines dispositions peuvent avoir des implications pour les navires opérant dans les eaux du Québec, notamment en ce qui concerne la sécurité maritime, la protection de l'environnement marin et d'autres aspects liés à la navigation. (D. des services législatifs Canada, 2023a). La LMMC 2001 énonce des normes de sécurité pour les navires, les équipements marins et les personnes à bord. Elle autorise également la mise en place de systèmes de gestion de la sécurité pour les entreprises maritimes. La loi contient des dispositions visant à prévenir et à contrôler la pollution marine, y compris les déversements d'hydrocarbures et d'autres substances

polluantes. (D. des services législatifs Canada, 2023a). La LMMC 2001 réglemente divers aspects du droit maritime, y compris les contrats d'affrètement, la responsabilité des propriétaires de navires, et d'autres questions juridiques liées à la navigation. La loi prévoit des dispositions sur l'enregistrement des navires, y compris les conditions auxquelles un navire peut être enregistré au Canada. (D. des services législatifs Canada, 2023a). La LMMC 2001 accorde des pouvoirs étendus au ministre des Transports pour réglementer divers aspects de la marine marchande et prendre des mesures pour assurer la sécurité et la protection de l'environnement marin. La loi autorise le contrôle et l'inspection des navires pour s'assurer de leur conformité aux normes de sécurité et aux exigences environnementales. (D. des services législatifs Canada, 2023a). La LMMC 2001 traite des opérations de recherche et de sauvetage en mer, y compris les obligations des propriétaires de navires en cas d'urgence maritime. La loi contient des dispositions visant à prévenir la contamination par des substances nocives des eaux marines du Canada. (D. des services législatifs Canada, 2023a).

Il est important de noter que la LMMC 2001 s'inscrit dans le contexte plus large du cadre législatif canadien et des obligations internationales en matière de navigation et de protection de l'environnement marin. Elle contribue à assurer la sécurité, la sûreté et la protection de l'environnement dans le secteur maritime canadien. (D. des services législatifs Canada, 2023a). Transport Canada peut, par décision, autoriser une entreprise à déroger de certaines dispositions des lois et règlements internationaux qu’ils doivent normaliser respecter en vertu de l’article 106 1(a) qui prescrit l’exigence de respecter les règles de sécurité. Certaines « decision numbers » permettent à des opérateurs de navire d’utiliser, par exemple, un carburant à plus faible point éclair, notamment en zone Arctique, sous certaines conditions. (Gouvernement du Canada, 2023a), (Gouvernement du Canada, 2023b), (Gouvernement du Canada, 2023c).

1.1.1.8 Réglementation sur la prévention de la pollution par les navires et sur les produits chimiques dangereux

Cette réglementation est une initiative réglementaire visant à prévenir la pollution par les hydrocarbures en établissant des normes et des procédures pour le transfert de ces substances entre les navires et les installations terrestres. (D. des services législatifs Canada, 2007). La réglementation établit des normes spécifiques pour le transfert d'hydrocarbures entre les navires et les installations terrestres. Cela inclut des exigences techniques pour les équipements de transfert,

les procédures opérationnelles, et d'autres mesures visant à minimiser les risques de déversements ou de pollution. Des procédures de sécurité strictes sont mises en place afin de prévenir tout déversement accidentel d'hydrocarbures pendant les opérations de transfert. Cela inclut des protocoles d'urgence, des inspections régulières des équipements, et des exigences de formation pour le personnel impliqué dans le transfert. (D. des services législatifs Canada, 2007). La réglementation exige l'utilisation d'équipements spécifiques conçus pour minimiser les risques de pollution lors des opérations de transfert. Cela inclut des dispositifs de confinement, des séparateurs d'hydrocarbures, et d'autres technologies de pointe. Les navires et les installations terrestres impliqués dans le transfert d'hydrocarbures sont soumis à des processus de certification et d'inspection réguliers pour garantir leur conformité aux normes établies par le règlement. (D. des services législatifs Canada, 2007). La réglementation est conçue pour fonctionner en harmonie avec d'autres lois et règlements pertinents, tels que ceux régissant la sécurité maritime, la protection de l'environnement, et la gestion des produits chimiques dangereux. Des sanctions pourraient être prévues en cas de non-respect des normes et des procédures établies par le règlement. Cela pourrait inclure des amendes, des sanctions administratives, voire des interdictions d'activités de transfert pour les contrevenants. (D. des services législatifs Canada, 2007).

Il est important de noter que les détails spécifiques du règlement peuvent varier en fonction de la juridiction et des besoins spécifiques de la région ou du pays concerné. Les règlements de ce type sont généralement élaborés pour garantir la sécurité environnementale et la prévention des incidents de pollution par les hydrocarbures dans les zones portuaires et côtières. (D. des services législatifs Canada, 2007).

1.1.1.9 Réglementation sur l’intervention environnementale (DORS/2019-252) - PARTIE 2 - Installations de manutention d’hydrocarbures

Elle établit des règles spécifiques pour les installations de manutention d’hydrocarbures au Canada. Les installations sont classées en différentes catégories en fonction de leur taux de transbordement d’hydrocarbures. (D. des services législatifs Canada, 2019). Certaines dispositions ne s'appliquent pas aux installations situées au nord du 60e parallèle de latitude nord. Une limite maximale d'hydrocarbures est établie pour l'application de certaines dispositions. Les exploitants doivent aviser le ministre des activités proposées liées au chargement ou au déchargement d’hydrocarbures dans un délai spécifié avant le début de ces activités. (D. des services législatifs Canada, 2019).

Les plans de prévention de la pollution par les hydrocarbures et les plans d'urgence contre la pollution par les hydrocarbures doivent être présentés au ministre dans des délais spécifiés. Les plans doivent contenir des informations détaillées sur la personne responsable, l'équipement, les procédures, la formation, les exercices simulés, etc. Les plans doivent être révisés annuellement et mis à jour en cas de changements législatifs, environnementaux, du personnel, de lacunes identifiées, ou de changements dans les pratiques d'exploitation. (D. des services législatifs Canada, 2019). La procédure d'intervention prévoit une interruption immédiate des activités, la coordination avec les autorités compétentes, la prise en compte des priorités, la mise à disposition du ministère des transports et de la garde côtière canadienne, et l'utilisation d'équipement et de ressources adéquats. (D. des services législatifs Canada, 2019). Ces dispositions visent à assurer la prévention et la gestion efficace des incidents de pollution par les hydrocarbures dans les installations de manutention au Canada, en mettant l'accent sur la planification, la formation, et la collaboration avec les autorités compétentes. (D. des services législatifs Canada, 2019).

1.1.1.10 Réglementation sur les rapports relatifs au rejet de polluants (1995)

La réglementation sur les rapports relatifs au rejet de polluants (1995) au Canada est une disposition légale qui impose des obligations aux entreprises en matière de déclaration des rejets de polluants dans l'environnement. Cela contribue à la transparence, à la surveillance et à la gestion des émissions polluantes. (D. des services législatifs Canada, 2012).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

La LMMC de 2001 énonce des normes de sécurité pour les navires et les équipements marins, ainsi que des dispositions pour prévenir et contrôler la pollution marine, y compris les déversements d'hydrocarbures. Étant donné que les carburants d'un mélange contenant du e-méthanol sont susceptibles de représenter un risque pour la sécurité maritime et de contribuer à la pollution marine, les dispositions de cette loi visant à assurer la sécurité et la prévention de la pollution sont directement pertinentes. Les règlements sur la prévention de la pollution par les navires et sur les produits chimiques dangereux établissent des normes et des procédures pour le transfert de substances telles que les hydrocarbures entre les navires et les installations terrestres. Étant donné que les carburants utilisant un mélange contenant du e-méthanol sont des produits chimiques potentiellement dangereux, les réglementations concernant leur transfert et les mesures de

prévention des déversements sont directement applicables à notre analyse de risques. Les règlements sur l'intervention environnementale établissent des exigences pour les plans de prévention et d'intervention en cas de pollution dans les installations de manutention d'hydrocarbures. Étant donné que l'utilisation d'un mélange de carburants contenant du e-méthanol peut entraîner des risques de pollution, la mise en place de plans détaillés pour prévenir et gérer les incidents de pollution est essentielle et pourrait être évaluée dans notre analyse de risques. Le règlement sur les rapports relatifs au rejet de polluants impose des obligations aux entreprises en matière de déclaration des rejets de polluants dans l'environnement. Si l'utilisation de carburants contenant du e-méthanol entraîne des rejets polluants, notre analyse pourrait inclure l'évaluation de la conformité aux exigences de déclaration de ce règlement.

Ces lois et règlements fournissent un cadre réglementaire et des mécanismes pour prévenir, surveiller et gérer les risques associés à l'utilisation d'un mélange de carburants contenant du e-méthanol dans l'écosystème du Saint-Laurent. Leur compréhension et leur application sont essentielles pour évaluer de manière exhaustive les risques potentiels et proposer des mesures d'atténuation appropriées dans notre projet. La loi maritime du Canada revêt une importance majeure dans le domaine du transport maritime. Elle réglemente la gestion des administrations portuaires, l'exploitation des ports, ainsi que la gestion de certaines infrastructures liées à la voie navigable, notamment la voie maritime du Saint-Laurent. Cette loi joue un rôle clé dans l'organisation et la supervision des activités maritimes au Canada, assurant une gestion efficace des installations portuaires et des voies navigables du pays. (Justice, 2020b).

1.1.1.11 Réglementation sur les biens de la voie maritime (DORS/2003-105)

Cette réglementation établit des règles pour la gestion, la sécurité et la protection environnementale de la voie maritime, régissant les activités du gestionnaire et les autorisations nécessaires pour exercer des activités dans la voie maritime. (Justice, 2019c). Le règlement vise à assurer la sécurité et la protection environnementale de la voie maritime, ainsi que la gestion des biens de la voie maritime. Il énumère les conséquences interdites, notamment celles liées à la sécurité des personnes et des biens, à la protection environnementale, et à la gestion de l'infrastructure maritime. (Justice, 2019c). Les activités dans la voie maritime nécessitent une autorisation écrite du gestionnaire, et les conditions doivent être respectées. Le gestionnaire peut annuler une autorisation dans divers cas, tels que des conséquences non claires, une assurance insuffisante, des renseignements erronés,

ou non-respect des conditions. Le gestionnaire peut accorder temporairement le non-respect des instructions pour des activités nécessaires à l'exploitation de la voie maritime. (Justice, 2019c). Certains articles antérieurs sont abrogés. Le règlement entre en vigueur à la date de son enregistrement. (Justice, 2019c).

1.1.1.12 Réglementation sur l'exploitation des administrations portuaires (DORS/2000-55)

La réglementation établit les règles de gestion, de tarification, de protection de l'environnement et de consultation publique pour les administrations portuaires au Canada. Il vise à assurer une exploitation efficace et responsable des ports tout en prenant en compte les préoccupations environnementales et les intérêts publics. (Justice, 2020c). La réglementation s'applique aux eaux navigables d'un port, aux ouvrages et aux activités dans un port, ainsi qu'aux biens gérés, détenus ou occupés par l'administration portuaire. Les administrations portuaires sont responsables de la gestion des ports, y compris les eaux navigables, les ouvrages, les activités portuaires et les biens associés. (Justice, 2020c). Les administrations portuaires doivent détenir un permis d'exploitation délivré par le ministre responsable des transports. Les administrations portuaires ont le pouvoir de fixer des tarifs pour les services qu'elles fournissent. Les administrations portuaires peuvent percevoir des redevances pour l'utilisation des installations portuaires. Les administrations portuaires doivent tenir une comptabilité adéquate et produire des rapports financiers conformes aux normes établies. Les administrations portuaires doivent prendre des mesures pour prévenir et atténuer les impacts environnementaux liés à leurs activités. Les administrations portuaires doivent élaborer et mettre en œuvre un plan de gestion environnementale. Les administrations portuaires sont tenues de consulter le public sur certaines questions, y compris les tarifs et les plans d'expansion. (Justice, 2020c). Les inspecteurs ont le pouvoir d'entrer dans les installations portuaires pour s'assurer de la conformité avec le règlement. Des sanctions sont prévues en cas de non-respect des dispositions du règlement. (Justice, 2020c).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

La loi maritime du Canada établit des normes de sécurité pour les navires, réglemente la prévention de la pollution marine, et encadre la gestion des infrastructures portuaires. En assurant la conformité aux réglementations de sécurité maritime, en prévenant la pollution marine et en régissant la gestion des ports, cette législation fournit le cadre nécessaire pour évaluer et atténuer

les risques associés à l'utilisation d'un mélange de carburant au e-méthanol, tout en protégeant l'écosystème fragile du Saint-Laurent. La réglementation sur les biens de la voie maritime établit des règles pour la gestion, la sécurité et la protection environnementale de la voie maritime, ce qui inclut la protection de l'écosystème du Saint-Laurent. En analysant les risques liés à l'utilisation de carburants contenant du e-méthanol, il est crucial de prendre en compte les conséquences potentielles sur la sécurité et l'environnement de la voie maritime. La réglementation sur l'exploitation des administrations portuaires encadre la gestion, la tarification et la protection de l'environnement pour les administrations portuaires au Canada. Étant donné que les ports jouent un rôle central dans les opérations maritimes impliquant l'utilisation de carburants, il est important d'évaluer les risques associés à l'utilisation de carburants contenant du méthanol dans les ports du Saint-Laurent. Cela comprend la gestion des risques de déversements, la sécurité des installations portuaires et la protection de l'environnement marin.

4.2.3 Loi sur la responsabilité en matière maritime

Véritable code de la responsabilité maritime, cette loi établit le niveau, le partage ainsi que les limites de responsabilité du propriétaire du navire, du transporteur de marchandises et de passagers ainsi que de celle découlant de la pollution par les hydrocarbures. (D. des services législatifs Canada, 2023b), (D. des services législatifs Canada, 2023c). Elle établit des dispositions relatives à la responsabilité en cas de blessures corporelles et d'accidents mortels résultant d'incidents maritimes. Il aborde également le partage de responsabilité entre les parties impliquées. (D. des services législatifs Canada, 2023b), (D. des services législatifs Canada, 2023c).

1.1.1.13 Réglementation sur la responsabilité en matière maritime et les déclarations de renseignements (DORS/2016-307)

La réglementation sur la responsabilité en matière maritime et les déclarations de renseignements (DORS/2016-307) est un texte de loi canadien émis en vertu de la loi sur la responsabilité en matière maritime. L'une de ses dispositions concerne la définition de la limite entre le fleuve Saint-Laurent et la mer. Cette disposition spécifie les points de départ et d'arrivée pour tracer une ligne droite délimitant la séparation entre le fleuve Saint-Laurent et la mer. La ligne est formée par ces deux segments, du Cap-des-Rosiers à l'île d'Anticosti, puis de l'île d'Anticosti à la rive nord du fleuve Saint-Laurent le long du méridien de longitude 63° O. (Justice, 2021). La réglementation s'applique aux hydrocarbures donnant lieu à contribution importés ou expédiés par mer au Canada,

ainsi qu'aux déclarations de renseignements associées. Il s'applique également aux cargaisons donnant lieu à contribution importées par mer au Canada, avec des dispositions spécifiques pour les gaz naturels liquéfiés, les gaz de pétrole liquéfiés, et certaines substances nocives et potentiellement dangereuses. Le règlement s'applique aussi aux hydrocarbures donnant lieu à contribution et aux hydrocarbures non persistants exportés par mer du Canada, avec des seuils et des déclarations de renseignements requises. (Justice, 2021). La réglementation établit des droits de 98 $ pour la délivrance d'un certificat en vertu de la convention sur la responsabilité civile et les hydrocarbures de soute. Il précise que les droits sont exigibles au moment de la demande de certificat. (Justice, 2021).

1.1.1.14 Réglementation sur la responsabilité en matière maritime (DORS/2002-307)

La réglementation vise à mettre en œuvre des dispositions spécifiques de la loi sur la responsabilité en matière maritime, notamment en ce qui concerne la responsabilité en cas de pollution par les hydrocarbures causée par les navires et la production de déclarations de renseignements relatives à ces hydrocarbures. (Justice, 2016).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

La loi sur la responsabilité en matière maritime et ses règlements associés établissent les niveaux, le partage et les limites de responsabilité pour les propriétaires de navires, les transporteurs de marchandises et de passagers, ainsi que pour la pollution par les hydrocarbures. En fixant des normes de responsabilité et en régissant les déclarations de renseignements relatives à la pollution marine, ces réglementations fournissent un cadre juridique pour évaluer les risques liés à l'utilisation de carburants au e-méthanol dans les eaux du Saint-Laurent. De plus, elles contribuent à la protection de l'écosystème marin en imposant des obligations strictes en cas de pollution et en favorisant la transparence et la responsabilité dans le transport maritime.

4.2.4 Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (LCEE 2012)

La LCEE 2012 régit le processus d'évaluation environnementale des projets au Canada. Elle établit un cadre pour évaluer les impacts environnementaux potentiels des projets, promouvoir la recherche dans ce domaine, et assurer la transparence dans le processus d'évaluation. L'agence canadienne d'évaluation environnementale joue un rôle clé dans la mise en œuvre de cette loi.

(Justice, 2019d). La loi vise à évaluer les effets environnementaux potentiels des projets en tenant compte de facteurs tels que la protection de l'environnement, la santé humaine, et les considérations socioéconomiques. L'agence canadienne d'évaluation environnementale a pour mission de promouvoir la recherche en évaluation environnementale et de favoriser le développement de techniques dans ce domaine. La loi s'applique aux projets désignés, qui peuvent avoir des impacts significatifs sur l'environnement et qui sont soumis à un processus d'évaluation. Certains projets peuvent être soumis à une évaluation par une commission indépendante. (Justice, 2019d). Le ministre peut déléguer certaines attributions à l'agence canadienne d'évaluation environnementale. L'agence a diverses responsabilités, notamment la gestion des évaluations environnementales, la promotion de la recherche, la consultation des peuples autochtones, et le contrôle de la qualité des évaluations. La loi prévoit des exigences de divulgation d'information pour assurer la transparence du processus d'évaluation. Les examens préalables et études approfondies commencés sous l'ancienne loi peuvent être menés à terme conformément à celle-ci. Certains projets désignés sous l'ancienne loi peuvent être exclus de l'application de la nouvelle loi dans certaines circonstances. (Justice, 2019d).

1.1.1.15 Réglementation sur les émissions atmosphériques

La réglementation sur les émissions atmosphériques au Canada semble être conçue pour fournir une orientation claire, des incitations à la conformité et des mesures pour protéger la santé publique et l'environnement. Le gouvernement s'est engagé à réduire les émissions totales GES de 20 % d'ici 2020 par rapport aux niveaux de 2006. Il a également fixé des objectifs rigoureux pour réduire les émissions de polluants atmosphériques, avec des plafonds nationaux établis pour différents polluants. (*report_fra.pdf*, s. d.). Les entreprises ont des options pour respecter les réglementations, notamment en réduisant leurs propres émissions ou en participant à des échanges d'émissions à l'échelle nationale. Des restrictions sont prévues pour les entreprises situées dans des régions où la qualité de l'air ne satisfait pas aux normes nationales. (*report_fra.pdf*, s. d.). En plus des réglementations pour les émissions industrielles, le gouvernement prévoit des normes obligatoires d'efficacité énergétique pour les véhicules et d'autres produits, ainsi que des mesures pour améliorer la qualité de l'air intérieur. Le gouvernement s'engage à réexaminer régulièrement les règlements pour évaluer les progrès réalisés, et il mène des consultations avec diverses parties prenantes pour garantir une mise en œuvre efficace et une conformité réglementaire. (*report_fra.pdf*, s. d.).

1.1.1.16 Normes d'émissions pour les navires

Le transport maritime est crucial pour l'économie mondiale, mais il est aussi une source majeure de pollution atmosphérique. La pollution atmosphérique a des effets graves sur la santé humaine, contribuant à divers problèmes respiratoires, cardiovasculaires et même à des décès prématurés. Les principaux polluants émis par les navires incluent le CO_2, les NO_x, les SO_x et les PM. Les émissions de CO_2 provenant du transport maritime contribuent au changement climatique, ce qui peut avoir des conséquences graves à l'échelle mondiale. La pollution atmosphérique causée par les navires a des effets néfastes sur la santé et l'environnement au Canada, notamment en contribuant à la pollution de l'air et à l'acidification des océans. Des mesures sont mises en place pour réduire la pollution atmosphérique attribuable au transport maritime, telles que des réglementations internationales de l'OMI, la création de zones de contrôle des émissions et l'utilisation de carburants à faible teneur en soufre. (Clear Seas, 2024). Des mesures sont mises en place pour améliorer le rendement énergétique des navires, telles que le SEEMP et l'EEDI. Des outils d'inventaire des émissions dans les ports sont disponibles pour évaluer et réduire l'impact environnemental des activités portuaires. L'OMI a établi des exigences strictes concernant les émissions de NOx, la teneur en soufre du carburant et d'autres émissions nocives. (SODES, 2015). Au Canada, les eaux côtières sont soumises à des zones de contrôle des émissions, avec des exigences plus strictes depuis 2020, notamment une teneur en soufre maximale de 0,1 % pour le carburant. Utilisation de carburant à basse teneur en soufre, de nouvelles technologies à bord des navires et des systèmes de traitement des gaz d'échappement pour réduire les émissions de SO_x et de PM. Amélioration du design des moteurs, injection d'eau ou d'air humide, recirculation des gaz d'échappement et systèmes de traitement des gaz d'échappement pour réduire les émissions de NO_x. (SODES, 2015).

1.1.1.17 Normes sur les carburants propres (NCP)

Les NCP au Canada représentent une initiative gouvernementale visant à réduire les émissions de GES en favorisant l'utilisation de carburants à faible teneur en carbone et de technologies de remplacement dans divers secteurs, notamment les transports, le secteur industriel et le secteur du bâtiment. (E. et C. climatique C. Gouvernement du Canada, 2016a), (E. et C. climatique C. Gouvernement du Canada, 2016b). Les NCP visent à réduire annuellement les émissions de GES de 30 mégatonnes d'équivalent en dioxyde de carbone d'ici 2030, en accord avec les engagements

du Canada en matière de changement climatique. (E. et C. climatique C. Gouvernement du Canada, 2016a), (E. et C. climatique C. Gouvernement du Canada, 2016b). Les NCP incluent des mécanismes de conformité visant à assurer la transparence, à réduire les coûts administratifs et à maintenir l'intégrité environnementale. Ces mécanismes comprennent des exigences de rapport, des échanges de crédits et des prix planchers pour les crédits de carbone. (E. et C. climatique C. Gouvernement du Canada, 2016a), (E. et C. climatique C. Gouvernement du Canada, 2016b). Les NCP prennent en compte les spécificités de chaque secteur, telles que les besoins en infrastructure, les normes internationales et les considérations de sécurité, ainsi que les préoccupations liées à l'intensité des émissions et à la faisabilité technique des carburants de remplacement. (International Institutefor sustainable for Development, 2017). Les NCP sont conçues pour interagir avec d'autres politiques nationales, telles que la tarification du carbone et la réglementation sur les carburants renouvelables, afin d'optimiser les résultats et de réduire les chevauchements. (International Institutefor sustainable for Development, 2017). Les NCP tiennent compte des normes internationales dans des secteurs tels que le transport maritime et aérien, et cherchent à harmoniser les politiques avec d'autres pays, en particulier dans le contexte nord-américain. (International Institutefor sustainable for Development, 2017).

1.1.1.18 Plan de gestion des produits chimiques du Canada

Le PGPC est un programme gouvernemental complexe et stratégique visant à évaluer et à gérer les risques associés aux produits chimiques afin de protéger la santé humaine et l'environnement. Il vise à prévenir ou à minimiser les effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement découlant de l'utilisation de substances chimiques. Il comprend des mesures telles que l'évaluation des risques, la gestion des risques, la communication des risques, la recherche, le suivi et la surveillance. (S. Canada, 2009). Le programme implique une collaboration entre différents organismes gouvernementaux, principalement Environnement Canada et Santé Canada, ainsi que d'autres intervenants externes et internes. Des comités de gouvernance et de coordination sont mis en place pour superviser et coordonner les activités du PGPC. (S. Canada, 2009). Le programme est évalué en fonction de différents critères, notamment l'efficacité, l'efficience et l'atteinte des résultats escomptés. Des indicateurs de performance sont utilisés pour mesurer les progrès dans la réalisation des objectifs du PGPC. (*Environnement et Santé - 2011 - Plan de gestion des produits chimiques.pdf*, s. d.). Malgré les progrès réalisés, le PGPC fait face à certains défis, tels que la coordination entre les différentes activités, la sensibilisation du public et la gestion efficace des

ressources. Des recommandations sont formulées pour améliorer la planification, la coordination, le suivi et l'évaluation du programme. (*Environnement et Santé - 2011 - Plan de gestion des produits chimiques.pdf*, s. d.). Le PGPC est un programme ambitieux visant à assurer une gestion responsable des produits chimiques au Canada, mais il nécessite une gestion efficace, une coordination entre les parties prenantes et une adaptation continue pour atteindre ses objectifs dans un contexte en évolution constante. (S. Canada, 2009).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

Dans le contexte de la LCEE 2012, le terme "projets" fait référence à toute initiative, activité ou développement proposé qui pourrait avoir un impact sur l'environnement. Cela peut inclure des projets de construction, d'exploitation de ressources naturelles, d'aménagement du territoire, d'infrastructures, ou d'autres activités susceptibles de modifier l'environnement de manière significative. La pertinence de la LCEE pour notre projet réside dans son objectif de garantir une évaluation approfondie des impacts environnementaux potentiels des projets. Cette loi permettrait d'examiner de manière systématique et transparente les risques associés à l'utilisation de ces carburants dans les eaux du Saint-Laurent, en prenant en compte les effets sur la santé humaine, la biodiversité marine, la qualité de l'eau, entre autres aspects environnementaux. Elle pourrait également fournir un cadre pour la consultation des parties prenantes, y compris les communautés locales et les peuples autochtones, afin de recueillir des perspectives diverses sur les risques et les préoccupations liés au projet. En fin de compte, l'application de la LCEE contribuerait à une prise de décision éclairée et responsable concernant l'utilisation des carburants au e-méthanol dans cet écosystème sensible.

4.2.5 Loi sur les eaux navigables canadiennes

La LENC est une législation clé au Canada qui vise à protéger et à gérer les voies navigables du pays. Elle vise à protéger le droit public de navigation tout en permettant le développement responsable des ressources et des infrastructures dans les voies navigables du Canada. Elle met l'accent sur la collaboration avec les peuples autochtones, la gestion durable des ressources et la transparence dans le processus de prise de décision. (Transport Canada, s. d.), (Transport Canada, 2024). La LENC cherche à établir un équilibre entre la protection du droit public de navigation et la nécessité de permettre la construction d'ouvrages dans, sur, sous ou à travers des eaux navigables. Elle maintient l'accessibilité des voies navigables pour les Canadiens tout en réduisant, dans la

mesure du possible, les entraves causées par les ouvrages. (Transport Canada, s. d.), (Transport Canada, 2024). La loi définit les eaux navigables de manière détaillée, incluant les plans d'eau utilisés ou susceptibles d'être utilisés pour le transport ou les déplacements, ainsi que ceux utilisés par les peuples autochtones exerçant leurs droits constitutionnels. (T. Canada, 2024b), (Transport Canada, 2024). La LENC intègre les éléments relatifs au savoir et aux droits des peuples autochtones, reconnaissant ainsi leur rôle essentiel dans la protection et la gestion des voies navigables. Elle encourage la collaboration avec les communautés autochtones pour assurer une approche respectueuse et équilibrée. (Transport Canada, s. d.), (T. Canada, 2024a). Les propriétaires d'ouvrages majeurs dans les eaux navigables doivent obtenir l'approbation de Transports Canada avant de les mettre en œuvre. Les ouvrages mineurs peuvent être soumis à des exigences moins strictes, mais peuvent nécessiter une certaine forme de notification ou d'enregistrement. (Transport Canada, s. d.), (Transport Canada, 2024). La LENC prévoit un processus de résolution des conflits pour les propriétaires d'ouvrages situés dans des eaux non répertoriées. Ce processus implique généralement la réception et la réponse aux préoccupations du public concernant la navigation. La loi exige la tenue de statistiques sur le nombre d'ouvrages approuvés, les demandes reçues, les dossiers ouverts sur les obstacles, etc. Ces données aident à évaluer l'efficacité de la loi et à identifier les domaines nécessitant des améliorations.(Transport Canada, s. d.), (Transport Canada, 2024).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

La LENC vise à protéger les voies navigables et les écosystèmes associés, y compris le fleuve Saint-Laurent. Notre projet d'analyse des risques doit tenir compte de cette préoccupation fondamentale en évaluant l'impact potentiel de l'utilisation de carburants contenant du méthanol sur la santé et la biodiversité de l'écosystème. La LENC garantit que les voies navigables demeurent sûres et accessibles. Notre analyse des risques devrait examiner comment l'utilisation de carburants contenant du méthanol pourrait affecter la navigation dans le Saint-Laurent, en tenant compte des risques d'incidents, tels que les déversements ou les accidents maritimes. La LENC prévoit des mécanismes de consultation publique pour les projets susceptibles d'affecter les voies navigables. Dans le cadre de notre analyse des risques, il pourrait être nécessaire d'engager un dialogue avec les parties prenantes, y compris les communautés riveraines, les groupes environnementaux et les autorités réglementaires, conformément aux exigences de la loi. La LENC reconnaît l'importance du partenariat avec les peuples autochtones dans la gestion des voies navigables. Notre projet

pourrait bénéficier d'une collaboration avec les communautés autochtones du Saint-Laurent pour comprendre leurs préoccupations, intégrer leurs connaissances traditionnelles et respecter leurs droits en matière de consultation et de consentement.

4.3 Lois provinciales québécoises

4.3.1 Loi sur la qualité de l'environnement et réglementations associées

La LQE au Québec, en vigueur depuis le 23 mars 2018, a instauré un nouveau régime d'autorisation environnementale visant à doter la province d'un système clair, prévisible, optimisé et conforme aux normes élevées de protection de l'environnement. Son objectif est de faire progresser le Québec de manière responsable au bénéfice de tous. (Gouvernement du Québec, 2018). La LQE met en place un régime d'autorisation environnementale moderne. L'approche fondée sur le niveau de risque environnemental permet de concentrer les efforts sur les projets ayant des impacts importants sur l'environnement. Elle allège le processus en permettant une déclaration de conformité pour les projets à faible risque, réduisant ainsi les délais. Les projets sont évalués en fonction de leur niveau de risque environnemental. (Gouvernement du Québec, 2018).

Différents niveaux de risque entraînent différentes démarches :

- Risque négligeable : activités exemptées.
- Risque faible : déclarations de conformité.
- Risque modéré : demandes d'autorisation ministérielle.
- Risque élevé : procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement (Gouvernement du Québec, 2018).

1.1.1.19 Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement

Le REAFIE est une réglementation qui précise le cadre des activités nécessitant une autorisation ministérielle en vertu de l'article 22 de la LQE au Québec. Il vise également à fournir un cadre clair et cohérent pour l'autorisation des activités susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement au Québec, tout en promouvant une gestion responsable des ressources naturelles et une protection adéquate de l'environnement. (Gouvernement du Québec, 2023b). Le REAFIE établit une classification des activités en fonction de leur niveau de risque environnemental. Il détaille les conditions à remplir pour qu'une activité soit admissible à une déclaration de conformité ou à

l'exemption d'une autorisation ministérielle. Le REAFIE est utilisé pour guider les évaluations des activités et déterminer les démarches requises en matière d'autorisation environnementale. (Gouvernement du Québec, 2023b). Le REAFIE est accompagné d'un guide de référence pour aider à sa compréhension et son application. Des capsules vidéo, des fiches explicatives et d'autres documents sont disponibles pour faciliter l'interprétation du règlement et guider les demandeurs dans leurs démarches. Le REAFIE couvre une gamme variée de secteurs, notamment l'industrie, l'agriculture, l'aquaculture, la gestion des matières résiduelles, la gestion des eaux, etc. Des fiches explicatives spécifiques sont fournies pour chaque secteur afin de clarifier les exigences et les procédures applicables. Le contrôle environnemental assure le respect de la législation environnementale en vérifiant la conformité des activités et en veillant à la mise en œuvre de mesures de prévention, de protection et de réparation. (Gouvernement du Québec, 2023b).

1.1.1.20 Règlement relatif à l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement de certains projets

Il s'agit d'une mesure législative importante qui régit l'évaluation environnementale des projets au Québec. Le RREEIECP vise à évaluer et à examiner les impacts potentiels sur l'environnement de certains projets avant leur mise en œuvre, conformément aux dispositions de la LQE. Il établit les directives et les procédures pour l'évaluation environnementale des projets au Québec, visant à garantir que les projets sont réalisés de manière responsable et durable, en tenant compte de leur impact sur l'environnement. Le règlement s'applique à certains projets spécifiques définis dans la LQE, tels que les projets industriels, miniers, énergétiques, et autres activités ayant le potentiel d'avoir un impact significatif sur l'environnement. (Gouvernement du Québec - 2018 - Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q.pdf, s. d.). Le RREEIECP établit les procédures et les critères selon lesquels les projets sont évalués et examinés pour déterminer leur impact sur l'environnement. Il définit les étapes du processus d'évaluation environnementale, y compris la collecte de données, l'analyse des risques et la consultation publique. Le règlement exige généralement la tenue de consultations publiques pour permettre aux parties intéressées de fournir des commentaires sur les projets soumis à l'évaluation environnementale. (Gouvernement du Québec - 2018 - Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q.pdf, s. d.). Sur la base des résultats de l'évaluation environnementale, le RREEIECP stipule que des mesures d'atténuation doivent être proposées pour réduire ou compenser les impacts négatifs sur l'environnement, le cas

échéant. À la suite de l'évaluation, le ministère de l'environnement peut prendre une décision concernant l'approbation ou le rejet du projet, en tenant compte des résultats de l'évaluation environnementale et des commentaires du public. (Gouvernement du Québec - 2018 - Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q.pdf, s. d.).

Implications dans un contexte d'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

La LQE et son régime d'autorisation environnementale établissent un cadre pour évaluer et gérer les risques environnementaux associés aux activités humaines. Elles définissent différents niveaux de risque environnemental et les démarches requises pour chaque niveau, ce qui pourrait être intéressant pour évaluer les risques associés à l'utilisation d'un mélange de carburant au e-méthanol dans l'écosystème du Saint-Laurent. Le REAFIE précise les conditions d'autorisation pour les activités susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement. Il définit également les différentes démarches nécessaires en fonction du niveau de risque environnemental, ce qui pourrait être applicable à l'évaluation des risques liés à l'utilisation d'un mélange de carburant au e-méthanol. Le RREEIECP régit l'évaluation environnementale des projets au Québec et définit les procédures pour évaluer leur impact sur l'environnement. Étant donné que notre projet concerne l'utilisation de carburants dans un écosystème fragile comme celui du Saint-Laurent, cet outil réglementaire peut être crucial pour évaluer les risques potentiels et proposer des mesures d'atténuation appropriées. La pertinence de cette loi et ses règlements pour notre projet réside dans leur capacité à fournir un cadre réglementaire clair pour évaluer les risques environnementaux, déterminer les démarches requises pour les activités présentant différents niveaux de risque, et garantir que les mesures d'atténuation appropriées sont prises pour protéger l'écosystème du Saint-Laurent contre les impacts néfastes de l'utilisation d'un mélange de carburant contenant du e-méthanol.

4.4 Synthèse de la revue des réglementations en fonction des catégories de risque

La revue réglementaire réalisée dans ce mémoire repose sur un travail d'analyse approfondie, mené sur plusieurs mois, afin d'identifier et d'évaluer les lois, normes et cadres réglementaires influençant l'adoption de l'e-méthanol dans le transport maritime. Cette recherche a nécessité un croisement minutieux entre les exigences réglementaires et les enjeux du mélange e-méthanol - biodiesel, en prenant en compte douze catégories de risques regroupées sous trois axes principaux, comme le mentionne la section 3.1.2 et le tableau 3.1. L'analyse réglementaire a nécessité une approche

multicritère pour comprendre comment chaque loi ou règlement s'applique aux enjeux identifiés, tout en tenant compte des particularités du Saint-Laurent et des exigences propres au contexte canadien. La difficulté de ce travail réside dans le chevauchement des réglementations, qui varient selon les juridictions (internationale, fédérale, provinciale) et qui sont souvent conçues pour des carburants traditionnels, ce qui complexifie leur application aux carburants alternatifs comme ceux du mélange contenant de l'e-méthanol. L'objectif principal a donc été de cartographier ces réglementations et de les associer aux différentes catégories de risque afin d'identifier les lacunes potentielles, les incohérences réglementaires et les freins majeurs à l'adoption du mélange e-méthanol - biodiesel.

4.4.1 Qualification des catégories de risques traitées dans les lois et règlements

Le tableau suivant présente une synthèse des relations entre les lois et règlements étudiés et les différentes catégories de risques associées. Afin de qualifier le niveau de prise en compte de chaque risque dans ces instruments réglementaires, un système de notation a été adopté :

- **Vide (0)** : Le risque n’est pas mentionné dans le texte réglementaire.
- **Niveau 1** : Le risque est mentionné, mais sans obligation formelle ou action requise.
- **Niveau 2** : Le risque est traité comme un sujet secondaire, avec certaines exigences ou recommandations.
- **Niveau 3** : Le risque constitue un sujet principal, assorti d’obligations ou d’actions précises imposées par la réglementation.

Par exemple, dans le cas de la convention MARPOL Annexe I qui vise spécifiquement la prévention de la pollution par les hydrocarbures provenant des navires, que ce soit lors des opérations normales ou lors d’incidents accidentels. Entrée en vigueur en 1983, cette annexe a été renforcée par les amendements de 1992, qui ont rendu obligatoire la construction à double coque pour les nouveaux pétroliers et imposé un calendrier de mise à niveau pour les navires existants. Cette exigence structurelle est une action réglementaire forte (Niveau 3) en matière de protection des eaux (EEAU) et de prévention des déversements (SPREV). La réglementation traite aussi indirectement des risques pour les sols côtiers (ESOL) en limitant les pollutions pouvant atteindre les rivages, et améliore la sécurité humaine (SHUM) en réduisant les risques de sinistres graves en mer. Le tableau ci-contre illustre ainsi la couverture réglementaire de chaque catégorie de risque, en distinguant les accords internationaux, les lois fédérales, et les lois provinciales applicables au

contexte maritime canadien. Cette grille d'analyse permet de visualiser les écarts, les redondances, et les zones moins couvertes dans le cadre réglementaire actuel, particulièrement en ce qui concerne l'introduction de nouveaux carburants comme l'e-méthanol.

Tableau 4.6 : Synthèse des relations entre les lois, règlements et catégories de risque

JURIDIC-TION	LOIS	RÈGLEMENTS	EEAU	EAIR	ESOL	ECAR	SHUM	SSÉC	SPREV	SFORM	$ECO	$INCIT	$INV	$RESP
ACCORDS INTERNATIONAUX	MARPOL de l'OMI	Annexe I	3		2	2	1	3	3					
		Annexe II	3		2		2	3	3					
		Annexe III	3		2		2	3	3					
		Annexe VI		3		2	2	1		1	2	2	2	1
	SEEMP (Gestion de l'efficacité énergétique des navires)		2	3		3	2	3	3	3	2	3	3	3
	Réglementation sur l'obligation de taxe d'émission sur les ports (OMI 2050)		2	3	3	3	3	2	3	1	3	3	3	3
	Réglementation sur la limite du soufre inférieure à 0,5% dans le fioul des navires (OMI 2020)		2	3	1	2	3	2	3	1	3	2	3	3
	SOLAS (Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer)	Certificats/Contrôle par l'état du port	2			2	3	3	3	3	2		3	3
		Construction –Structure, compartimentage et stabilité, machines et installations électriques – Protection contre les incendies -Détection et extinction des incendies	2			2	3	3	3	3			3	3
		Dispositifs de sauvetage	2			2	3	3	3	3			3	3
		Gestion de la sécurité	2			2	3	3	3	3			3	3
		Mesures spéciales pour rehausser la sécurité/sûreté maritime	2			2	3	3	3	3			3	3
	Code FTP - Procédures d'essais au feu pour les matériaux maritimes			2		3	3	3	3	2	2		2	3
	Réglementation sur la sécurité-incendie des navires (vessel fire safety regulations)			2		3	3	3	3	2	2		2	3
	Code ISM (Code international de gestion de la sécurité)	Système de gestion de la sécurité	3	2	3	2	3	3	3	3	3	2	2	3
		Politique de sécurité et de protection de l'environnement	3	3	2	2	3	3	3	3	3	2	2	3
		Responsabilités et autorité (Une personne désignée à terre doit être nommée pour assurer					3	3	3	3				3

JURIDIC-TION	LOIS	RÈGLEMENTS	EEAU	EAIR	ESOL	ECAR	SHUM	SSÉC	SPREV	SFORM	$ECO	$INCIT	$INV	$RESP
		la liaison entre l'entreprise et le navire)												
		Préparation aux situations d'urgence					3	3	3	3				3
		Signalement et analyse des non-conformités	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2		3
		Vérification et évaluation					2	3	3	3				3
	Le code maritime international des marchandises dangereuses (IMDG)		3		3		3	3	3	3	3		3	3
	Convention internationale sur les normes de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille (STCW)		3	1			3	3	3	3	3		2	3

Tableau 4.6 : Synthèse des relations entre les lois, règlements et catégories de risque. (Suite)

JURIDIC-TION	LOIS	RÈGLEMENTS	EEAU	EAIR	ESOL	ECAR	SHUM	SSÉC	SPREV	SFORM	$ECO	$INCIT	$INV	$RESP
LOIS FEDERALES	Loi sur la protection de l'environnement (1999) - Partie 7 – Contrôle de la Pollution et Gestion des déchets	Réglementation sur les carburants renouvelables (DORS/2010-189)	2	3	2	3	2	2	3		2	3	2	3
		Réglementation sur certaines substances toxiques interdites (2012) (DORS/2012-285)	3	3	3		3	2	3		2		2	3
		Réglementation limitant les émissions de dioxyde de carbone (DORS/2018-261)		3		3	2	2	3		3	2	3	3
		Réglementation No 1 concernant les renseignements sur les combustibles (C.R.C., ch. 407)	2	2	2	2	2	2	3		2		2	3
		Réglementation sur les systèmes de stockage de produits pétroliers et de produits apparentés (DORS/2008-197)	3	2	3		3	3	3		2		3	3
		Réglementation sur les urgences environnementales (2019) (DORS/2019-51)	3	3	3		3	3	3	2	2		3	3
		Normes pour les émissions des moteurs marins et les carburants (Règlement sur les émissions des moteurs hors route et des petits bateaux)	2	3	2	3	3	2	3	2	3	2	3	3
	Loi sur la marine marchande du Canada (LMMC 2001)	Réglementation sur la prévention de la pollution par les navires et sur les produits chimiques dangereux	3	2	2	2	3	3	3	2	2		3	3
		Réglementation sur l'intervention environnementale (DORS/2019-252) - PARTIE 2 - Installations de manutention d'hydrocarbures	3	2	3	2	3	3	3	2	2		3	3
		Réglementation sur les rapports relatifs au rejet de polluants (1995)	3	3	3	2	3	2	3		2		2	3

Tableau 4.6 : Synthèse des relations entre les lois, règlements et catégories de risque. (Suite)

JURIDIC-TION	LOIS	RÈGLEMENTS	EEAU	EAIR	ESOL	ECAR	SHUM	SSÉC	SPREV	SFORM	$ECO	$INCIT	$INV	$RESP
	Loi Maritime du Canada	Réglementation sur les biens de la voie maritime (DORS/2003-105)	3	2	3	2	3	3	3	2	2		3	3
		Réglementation sur l'exploitation des administrations portuaires (DORS/2000-55)	3	2	3	2	3	3	2	2	2		3	3
	Loi sur la responsabilité en matière maritime	Réglementation sur la responsabilité en matière maritime et les déclarations de renseignements (DORS/2016-307)	3	2	2	2	3	3	3		2		2	3
		Réglementation sur la responsabilité en matière maritime (DORS/2002-307)	3	2	2	2	3	3	3		2		2	3
	Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (LCEE) (2012)	Réglementation sur les émissions atmosphériques.	2	3	2	3	3	2	3		2	2	2	3
		Normes d'émissions pour les navires	2	3	2	3	3	2	3	2	3	2	3	3
		Normes sur les carburants propres	2	3	2	3	3	2	3	2	3	2	3	3
		Plan de gestion des produits chimiques du Canada	3	3	3	2	3	2	3	2	2	2	3	3
	Loi sur les eaux navigables canadiennes		3	2	2	2	3	3	3	2	2		3	3
LOIS PROVINCIALES	Loi sur la Qualité de l'Environnement	Réglementation sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement	3	3	3	2	3	3	3	2	2		3	3
		Réglementation relatif à l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement de certains projets	3	3	3	2	3	3	3	2	2		3	3

Légende : *Vide (0) : Le risque n'est pas mentionné dans le texte réglementaire ; Niveau 1 : Le risque est mentionné, mais sans obligation formelle ou action requise ; Niveau 2 : Le risque est traité comme un sujet secondaire, avec certaines exigences ou recommandations; Niveau 3 : Le risque constitue un sujet principal, assorti d'obligations ou d'actions précises imposées par la réglementation.*

4.4.2 Complémentarité et lacunes identifiées

L’utilisation d’un mélange de carburant maritime contenant de l’e-méthanol soulève plusieurs enjeux importants en matière de réglementation. Bien que des efforts aient été réalisés pour encadrer les carburants alternatifs dans le secteur maritime, il persiste des lacunes qui freinent l’adoption de ce carburant en particulier. L’analyse du cadre réglementaire actuel met en lumière des faiblesses, notamment sur les aspects économiques, financiers et sécuritaires, mais aussi des complémentarités qui peuvent servir de base pour une évolution harmonisée des normes.

L'une des lacunes les plus marquées réside dans le domaine économique. En effet, les réglementations actuelles se concentrent principalement sur les enjeux environnementaux et de sécurité, mais elles négligent largement les questions liées à la viabilité économique de l’utilisation d’un mélange de carburant contenant l’e-méthanol. Les coûts d’adaptation des infrastructures portuaires et des navires, ainsi que les dépenses liées à la production et à l’approvisionnement en e-méthanol, ne sont pas suffisamment abordés par les normes en vigueur. Il existe un besoin pressant d'un cadre réglementaire qui inclut des mesures précises pour faciliter la transition énergétique, en réduisant les coûts et en rendant l’e-méthanol économiquement viable à grande échelle. De plus, les incitations financières disponibles sont limitées. Actuellement, le système de crédits carbone est l'un des rares dispositifs qui permet de compenser une partie des coûts liés aux émissions de gaz à effet de serre. Toutefois, aucune réglementation ne prévoit de mécanisme direct pour encourager l'adoption de l'e-méthanol ou soutenir son développement. Les autorités publiques doivent instaurer des incitations spécifiques qui facilitent la transition vers ce carburant.

Par ailleurs, l’absence d’un cadre clair pour financer l’adaptation des infrastructures maritimes, qu’il s’agisse des ports ou des navires, représente également un obstacle majeur. Les gouvernements doivent mettre en place des mécanismes financiers et des incitations pour encourager les investissements nécessaires à la mise à niveau des équipements et à l’intégration du mélange e-méthanol – biodiesel dans les pratiques maritimes courantes. Sans cela, la transition vers ce carburant alternatif risque d’être lente et fragmentée. Il est indispensable que les acteurs privés et publics collaborent pour financer cette transition, en assurant un accompagnement adapté pour les entreprises maritimes.

Les risques liés à l’adoption du mélange e-méthanol - biodiesel ne se limitent cependant pas aux seuls enjeux économiques. Des questions de sécurité et de formation des équipages doivent

également être prises en compte. La convention STCW, qui régit la formation des marins, ne prévoit pas encore de modules spécifiques pour la gestion de l'e-méthanol, ce qui soulève un risque majeur en termes de sécurité. L'e-méthanol présente des caractéristiques particulières, notamment sa faible inflammabilité et sa solubilité dans l'eau, qui le rendent plus complexe à manipuler que les carburants traditionnels. De plus, les réglementations actuelles en matière de sécurité maritime ne couvrent pas de manière exhaustive les risques associés à l'utilisation de ce carburant. Il est donc crucial que des formations adaptées soient mises en place pour sensibiliser les équipages aux dangers spécifiques de l'e-méthanol et leur fournir les compétences nécessaires pour gérer ce carburant en toute sécurité.

Au niveau international, les conventions telles que MARPOL, SOLAS et le Code IMDG apportent un cadre normatif solide pour la gestion des émissions et la sécurité maritime. Ces textes abordent la réduction des émissions de gaz à effet de serre et les exigences en matière de sécurité, mais ne traitent pas spécifiquement d'un mélange e-méthanol et biodiesel. Si ces conventions constituent un socle de réglementation utile, il reste nécessaire de les adapter pour intégrer les caractéristiques particulières de carburants comme le mélange e-méthanol - biodiesel. Par ailleurs, le Code IGF, qui régit la sécurité des navires utilisant des carburants à faible point d'éclair, ne couvre pas explicitement les alcools comme le méthanol. Bien qu'il existe des principes généraux qui peuvent être appliqués, il serait pertinent de modifier ce code pour y inclure des normes spécifiques d'un mélange de carburant contenant l'e-méthanol, afin de garantir une sécurité accrue dans son utilisation.

Les cadres réglementaires canadiens et québécois apportent des compléments à cette structure internationale, mais présentent aussi des lacunes. Au niveau fédéral, le Canada a développé des lois environnementales et maritimes qui encouragent l'utilisation de carburants alternatifs, mais ces réglementations demeurent fragmentées et complexes, ce qui complique leur application dans le secteur maritime. De plus, bien que la province du Québec soutienne l'innovation environnementale, elle ne dispose pas encore de normes spécifiques concernant l'usage de carburants alternatifs dans le domaine maritime. Cette absence de cohérence entre les différents niveaux de réglementation ralentit la mise en place de solutions pratiques et efficaces pour l'adoption d'un mélange de carburant contenant l'e-méthanol.

En conclusion, bien que les réglementations internationales et nationales offrent un cadre solide en matière de sécurité maritime et de réduction des émissions de gaz à effet de serre, des ajustements sont nécessaires pour prendre en compte le mélange e-méthanol – biodiesel et les autres carburants alternatifs. L'absence de mesures adaptées pour soutenir financièrement la transition vers ces carburants, ainsi que le manque de formations et de normes de sécurité spécifiques, représentent des obstacles majeurs à leur adoption. Pour garantir une transition fluide et sécurisée vers l'utilisation d'un mélange de carburant contenant de l'e-méthanol, il est crucial que les législations soient révisées et adaptées afin de combler ces lacunes et de favoriser l'intégration de ce carburant dans le secteur maritime. Un effort coordonné à l'échelle internationale, nationale et locale est nécessaire pour surmonter ces défis et accélérer la transition énergétique dans l'industrie maritime.

Ce tableau récapitulatif (Tableau 4.7) met en lumière à la fois les forces et les faiblesses de ce cadre réglementaire. Il constitue un point d'ancrage pour comprendre les risques potentiels liés à l'adoption du mélange e-méthanol - biodiesel et oriente les recommandations futures pour une transition sécurisée et harmonisée.

Tableau 4.7 : Complémentarités et lacunes identifiés/angles morts

Cadres réglementaires clés	**Complémentarité**	**Lacunes / Angles morts / Contradictions**	**Niveau**
MARPOL, SOLAS, STCW, Code IMDG, Code IGF	- Convergence sur la réduction des émissions (MARPOL). - Normes claires pour la sécurité des navires (SOLAS, STCW). - Gestion des marchandises dangereuses (IMDG).	- Code IGF ne couvre pas explicitement les carburants liquides alternatifs (e-méthanol). - Pas d'harmonisation pour les procédures spécifiques au e-méthanol (faible point éclair).	International
LCPE, Loi sur la Marine Marchande, Loi sur la responsabilité maritime, Règlements sur les déversements	- Flexibilité avec les « Decision Numbers » (exemptions conditionnelles) - Alignement progressif avec les objectifs climatiques de l'OMI	- Approche « cas par cas » ralentit l'adoption massive - Processus réglementaire complexe pour les carburants émergents - Méthodologies incomplètes pour évaluer les carburants de synthèse	Fédéral (Canada)

Tableau 4.7 : Complémentarités et lacunes identifiés/angles morts. (Suite)

LQE, REAFIE, Règlement sur les émissions	- Environnement favorable à l'innovation verte - Potentiel d'appui financier et réglementaire pour des projets pilotes	- Pas de normes spécifiques aux carburants alternatifs maritimes - Manque d'intégration dans les règlements portuaires actuels	Provincial (Québec)
Interaction entre niveaux	- Complémentarité entre MARPOL (pollution) et LCPE (réduction GES) - Sécurité encadrée par SOLAS (international) et par les lois canadiennes (national)	- Contradiction entre exigences de sécurité (rigides) et flexibilité nécessaire pour les carburants à faible point d'éclair - Angles morts sur la formation spécifique au e-méthanol (STCW non mis à jour)	Cadres combinés

4.4.3 Conclusion

Ainsi, cette revue des lois et réglementations applicables met en évidence les cadres légaux qui encadrent déjà l'utilisation des carburants maritimes, mais aussi certaines lacunes et ajustements nécessaires pour intégrer efficacement un mélange contenant de l'e-méthanol. Toutefois, au-delà des exigences réglementaires, l'adoption de ce nouveau carburant soulève également des enjeux opérationnels, environnementaux, économiques et de sécurité qui doivent être analysés en détail.

C'est pourquoi, dans le chapitre suivant, nous allons nous intéresser à l'analyse des facteurs de risque associés à l'utilisation de ce mélange, en identifiant les défis spécifiques et les mesures d'atténuation qui peuvent être mises en place pour sécuriser et accompagner cette transition énergétique.

CHAPITRE 5 ANALYSE DES FACTEURS DE RISQUES ET DES MESURES D'ATTÉNUATION LIÉS À L'UTILISATION DU E-METHANOL COMME CARBURANT MARITIME

Ce chapitre présente l'analyse qui a permis de mettre en évidence 12 facteurs de risques regroupés en trois grandes catégories : les risques environnementaux (pollution de l'eau, de l'air, du sol, ainsi que l'empreinte carbone), les risques liés à la santé et la sécurité (impacts sur la santé humaine, sécurité des opérations, gestion des risques et formation), ainsi que les enjeux économiques et de responsabilité. Ces risques ont été qualifiés en s'appuyant sur deux principales sources d'information : l'analyse réglementaire des lois et normes applicables, ainsi que les résultats des entrevues avec chaque partie prenante du projet. L'étude a également permis d'identifier les implications spécifiques de l'utilisation d'un mélange de carburant contenant de l'e-méthanol pour chaque facteur de risque, en mettant en avant les enjeux techniques, environnementaux et économiques associés. Enfin, des mesures d'attaque ont été proposées pour minimiser ces risques, en intégrant des solutions réglementaires, technologiques et organisationnelles adaptées au contexte maritime.

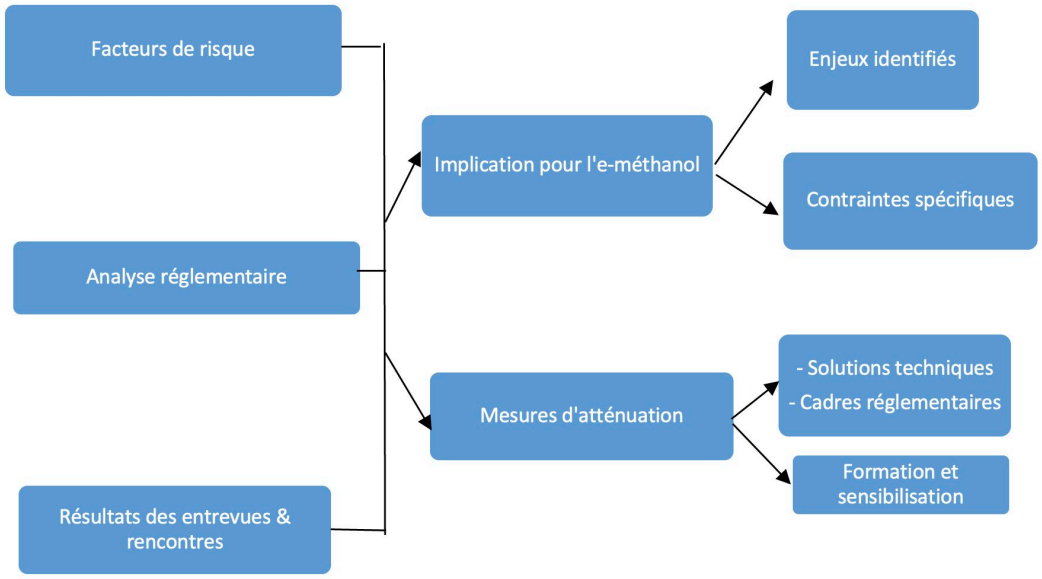

Figure 5.1 : Approche analytique

5.1 Aspects environnementaux

L'utilisation du mélange e-méthanol - biodiesel doit répondre aux réglementations environnementales internationales et nationales visant à réduire les émissions polluantes et les risques écologiques.

5.1.1 EEAU = Pollution de l'eau

L'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol comme carburant alternatif comporte des risques de déversement et de fuite qui pourraient affecter les écosystèmes aquatiques et perturber les opérations portuaires. La nature hydrosoluble de l'e-méthanol pur lui permet de se diluer rapidement dans l'eau, notamment l'impact visible des marées noires, mais altérant les risques d'écotoxicité pour la faune et la flore marine.

Réglementations applicables

- Convention MARPOL (OMI) – annexes I, II, III et VI : réglemente le transport de substances nocives et impose des mesures pour limiter les risques de pollution marine. (OMI, 2010).
- Loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE, 1999) : encadre la gestion des substances toxiques et impose des mesures de prévention contre les contaminations aquatiques. (E. et C. climatique Canada, 2014).

Implications pour l'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

- Respect des normes environnementales : l'e-méthanol pur, étant classé comme une substance dangereuse selon le code IMDG, doit respecter les normes de biodégradabilité et les seuils de rayonnement définis par la réglementation internationale et nationale.
- Plans d'urgence et confinement : la mise en place de systèmes de confinement avancés et de procédures de réponse rapide aux déversements est essentielle pour éviter la contamination des eaux en cas de fuite accidentelle.
- Surveillance et détection des fuites : des technologies de détection doivent être intégrées aux infrastructures de stockage et aux systèmes de transfert pour limiter les risques de contamination des zones portuaires.

Mise en place et atténuations potentielles

- En tant que producteur potentiel de carburant, la partie prenante a confirmé que son PMU inclut des procédures spécifiques en cas de déversement d'éthanol, conformes aux exigences réglementaires.
- L'administration portuaire impose une conformité stricte aux normes MARPOL avant d'autoriser l'avitaillement au mélange e-méthanol - biodiesel, ce qui implique des études préalables sur les risques de pollution marine et des exigences en matière de prévention des déversements.
- L'armateur a soulevé des préoccupations sur la nécessité d'adapter les procédures d'intervention pour prendre en compte les particularités du mélange e-méthanol – biodiesel, notamment sa préférence et son interaction avec l'eau.

5.1.2 EAIR = Pollution de l'air

L'utilisation de l'e-méthanol comme carburant alternatif permet **une réduction significative des émissions de NO_x et de SO_x** par rapport aux carburants fossiles traditionnels comme le HFO et le MGO. Toutefois, son cycle de vie (production, transport et combustion) génère encore des émissions de GES, notamment du CO_2 si la production ne repose pas sur des sources renouvelables.

Réglementations applicables

- Convention MARPOL – Annexe VI (OMI) : réglemente les émissions atmosphériques problématiques du transport maritime, notamment en imposant des limites strictes sur la teneur en soufre des carburants et les rejets de NOx. (*MARPOL - 2024 - Amendements à l'Annexe au Protocole de 1997 modifi.pdf*, s. d.).
- Loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE, 2023) : encadre la réduction des émissions de GES et impose des normes spécifiques pour limiter la pollution atmosphérique liée aux combustibles. (E. et C. climatique Canada, 2014).

Implications pour l'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

- Réduction des polluants atmosphériques : contrairement aux carburants fossiles, l'e-méthanol ne contient pas de soufre, notamment les émissions de SOx à quasiment zéro. Il permet également une baisse des NO_x grâce à une combustion plus propre.

- Surveillance des émissions : les réglementations imposent un suivi des émissions des navires, ce qui nécessite des systèmes de surveillance embarqués pour quantifier les réductions de GES liées à l'utilisation du mélange contenant de l'e-méthanol.
- Encouragement de méthodes de production durable : pour maximiser son potentiel de décarbonatation, l'e-méthanol pur doit être produit à partir d'hydrogène vert et de CO_2 capté, provoquant ainsi les émissions liées à une production basée sur du gaz naturel fossile.
- Incitations et réglementation favorable : un cadre réglementaire incitatif (subventions, crédits carbone) pourrait accélérer l'adoption du mélange e-méthanol – biodiesel dans le secteur maritime, en fonction de l'écart de compétitivité avec les carburants conventionnels.

Mise en place et atténuations potentielles

- Le potentiel producteur du carburant cherche à faire valider des subventions et incitatifs financiers pour produire de l'e-méthanol bas carbone, intégrant l'hydrogène vert et le captage de CO_2 dans ses processus.
- L'administration portuaire vise un alignement avec les exigences internationales en matière de réduction des GES, notamment en développant un corridor vert favorisant les navires fonctionnant aux carburants alternatifs.
- L'armateur des navires évalue l'impact des nouvelles exigences environnementales sur la transition de sa flotte et les technologies de propulsion disponibles.

5.1.3 ESOL = Pollution du sol

L'utilisation du mélange e-méthanol - biodiesel comme carburant alternatif dans le secteur maritime implique des risques potentiels de contamination des sols, notamment lors des opérations de stockage, de soutien et de manutention dans les infrastructures portuaires. Les fuites accidentelles ou les déversements à quai peuvent entraîner une infiltration dans le sol, affectant ainsi la qualité des terrains environnants et pouvant contaminer les nappes phréatiques. De plus, la nature chimique de l'e-méthanol pur nécessite une gestion rigoureuse pour éviter la corrosion des infrastructures et assurer une manipulation sécuritaire. Il est donc essentiel d'adopter des mesures préventives et des protocoles de réponse rapide afin de minimiser les impacts environnementaux et de respecter les réglementations en vigueur.

Réglementations applicables

- Règlement sur les systèmes de stockage de produits pétroliers et de produits apparentés (DORS/2008-197) : ce règlement impose des normes strictes pour la conception, l'exploitation et l'entretien des installations de stockage afin de minimiser les risques de contamination des sols. (Justice, 2020a).
- Loi sur la qualité de l'environnement (LQE, Québec) : cette loi encadre les obligations des entreprises en matière de prévention des déversements et de gestion des sols contaminés en cas de fuite accidentelle. Elle impose également des mesures de surveillance et de remédiation des sites pollués. (Gouvernement du Québec, 2018).

Implications pour l'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

- Besoin d'infrastructures adaptées : le stockage du mélange e-méthanol – biodiesel nécessite des réservoirs et canalisations résistants à la corrosion pour éviter toute fuite pouvant contaminer les sols.
- Normes spécifiques aux liquides inflammables : l'e-méthanol pur étant un liquide inflammable, sa manipulation doit suivre des protocoles de sécurité stricts pour limiter les risques de déversement et assurer une récupération rapide en cas d'accident.
- Gestion des déchets et résidus : des procédures de traitement doivent être mises en place pour éviter que des résidus du mélange e-méthanol - biodiesel ne s'infiltrent dans le sol.
- Installation de systèmes de confinement : des bacs de rétention et des revêtements étanches doivent être prévus pour empêcher l'infiltration du mélange e-méthanol - biodiesel dans le sol.
- Détection et prévention : mise en place de capteurs de fuite et de procédures de réponse rapide en cas de déversement accidentel.
- Adaptation des infrastructures portuaires : vérification et mise à niveau des installations existantes pour s'assurer de leur compatibilité avec le mélange e-méthanol - biodiesel.

Mise en place et atténuations potentielles

- L'armateur des navires a exprimé des préoccupations sur les risques de corrosion et d'incompatibilité des infrastructures portuaires avec le mélange e-méthanol - biodiesel, notamment en ce qui concerne les matériaux utilisés dans les réservoirs et les pipelines.

- L’administration portuaire a souligné l'importance d'avoir une stratégie claire de gestion des fuites pour éviter toute contamination des sols portuaires, notamment en raison de la proximité des zones urbaines.

5.1.4 ECAR = Impact carbone et environnemental

La transition énergétique du secteur maritime repose sur la réduction des émissions de GES et l'adoption de carburants plus propres. L'e-méthanol pur, lorsqu'il est produit à partir de sources renouvelables, offre un potentiel significatif de réduction de l'empreinte carbone par rapport aux carburants fossiles traditionnels. Son utilisation pourrait ainsi contribuer aux objectifs internationaux de décarbonation du transport maritime, notamment ceux fixés par l’OMI et les politiques environnementales nationales et régionales. Toutefois, pour que cette transition soit efficace, des incitatifs financiers et un cadre réglementaire favorable sont nécessaires afin d'encourager son adoption à grande échelle.

Réglementations applicables

- Système de plafonnement et d'échange du carbone au Canada : ce système encourage la réduction des émissions en imposant un coût sur le carbone et en offrant des crédits aux entreprises qui adoptent des solutions moins polluantes. (OMI, 2022).

Implications pour l'utilisation d’un mélange contenant de l’e-méthanol

- Le mélange e-méthanol – biodiesel pourrait bénéficier de crédits carbone et d'incitatifs financiers, ce qui améliorerait sa compétitivité par rapport aux carburants fossiles.
- Un cadre réglementaire clair et incitatif est nécessaire pour accélérer son adoption dans l'industrie maritime.
- L'adoption du mélange e-méthanol - biodiesel dans le secteur maritime québécois contribuerait aux objectifs climatiques en particulier l'empreinte carbone des activités portuaires et maritimes.
- Cette transition renforcerait la position du projet GREENMET en tant qu'initiative alignée avec les politiques de décarbonation et les normes environnementales internationales.

Mise en place et atténuations potentielles

- L’administration portuaire exprime un intérêt pour l'intégration du mélange e-méthanol - biodiesel dans ses stratégies de corridors verts et ses incitatifs environnementaux pour encourager les armateurs à utiliser des carburants alternatifs.

5.2 Santé et Sécurité

La sécurité et la santé des travailleurs et des communautés doivent être garanties lors du transport, du stockage et de l'utilisation du mélange e-méthanol - biodiesel.

5.2.1 SHUM = Risques sanitaires

Le mélange e-méthanol - biodiesel, en tant que carburant alternatif, présente des avantages en matière de réduction des émissions polluantes, mais son utilisation implique également des risques pour la santé humaine. Lors des opérations de manutention, de stockage ou de transport, les travailleurs peuvent être exposés à ses vapeurs toxiques, qui peuvent entraîner des effets nocifs à court et à long terme. Une gestion rigoureuse des risques est donc essentielle pour assurer la sécurité des travailleurs et des opérateurs portuaires.

Réglementations applicables

- Code IMDG : réglemente le transport maritime des substances dangereuses, y compris l'e-méthanol pur, en imposant des exigences strictes en matière d'emballage, d'étiquetage et de stockage. (I. C. OMI, 2025).
- Réglementation sur le transport des marchandises dangereuses (TMD, Canada) : encadre la manipulation et le transport des substances classées comme dangereuses au Canada, incluant l'e-méthanol pur, et impose des formations obligatoires pour les travailleurs exposés. (Across Logistics, 2024).

Implications pour l'utilisation d’un mélange contenant de l’e-méthanol

- En raison de sa légèreté, le mélange e-méthanol – biodiesel nécessite des mesures strictes de manipulation, incluant des équipements de protection individuelle et des protocoles de ventilation adéquats.
- Une formation spécialisée est requise pour tous les travailleurs impliqués dans son stockage, son transport et son avitaillement afin de minimiser les risques d'exposition.

- La mise en place de programmes de formation et de certification pour le personnel maritime et portuaire sera essentielle pour garantir la sécurité des opérations impliquant le mélange e-méthanol - biodiesel.
- Un cadre réglementaire clair et strict facilitera l'acceptabilité du carburant en démontrant qu'il peut être manipulé en toute sécurité sans risque pour la santé humaine.

Mise en place et atténuations potentielles

- Formation obligatoire des travailleurs aux bonnes pratiques de manipulation et aux mesures d'urgence en cas de fuite ou d'inhalation accidentelle.
- Utilisation d'équipements de protection individuelle adaptés, comme des gants, des lunettes et des masques filtrants pour réduire les risques d'exposition.
- Surveillance de la qualité de l'air dans les espaces clos où le mélange e-méthanol - biodiesel est stocké ou transféré afin d'éviter une concentration dangereuse de vapeurs toxiques.
- Le producteur de carburant met en place des programmes de formation réguliers pour ses employés sur la gestion des produits chimiques et le respect des réglementations de sécurité.
- L'administration portuaire implique des certifications strictes pour les opérateurs manipulant des carburants, garantissant ainsi une gestion sécuritaire des produits dangereux.

5.2.2 SSÉC = Sécurité des opérations

Le mélange e-méthanol – biodiesel présente un risque accru en matière de sécurité en raison de son faible point d'éclair, ce qui le rend plus volatil et inflammable que certains carburants fossiles. Lorsqu'il est stocké ou manipulé dans des espaces confinés, comme les cales des navires ou les installations portuaires, des risques d'accumulation de vapeurs inflammables existants, présentent ainsi les dangers d'incendie et d'explosion. L'adoption de protocoles de sécurité stricts est donc essentielle pour minimiser ces risques.

Réglementations applicables

- Convention SOLAS – Chapitre II-2 : établit des exigences en matière de prévention et de lutte contre les incendies à bord des navires, en imposant des mesures spécifiques pour les carburants inflammables. (S. OMI, 2002).

- Réglementation canadienne sur la sécurité des navires : encadre la sécurité des opérations maritimes, y compris la manipulation et le stockage des carburants dangereux, en exigeant la conformité aux normes de protection contre l'incendie. (D. des services législatifs Canada, 2007).

Implications pour l'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

- Infrastructures adaptées : les réservoirs de stockage et les systèmes de distribution doivent être équipés de matériaux résistants aux vapeurs inflammables et respecter les normes antidéflagrantes.
- Systèmes de prévention des incendies : besoin de détecteurs de gaz, de dispositifs de ventilation sécurisés et de systèmes d'extinction adaptés aux feux d'alcool (poudre chimique ou mousse AFFF, non efficaces avec l'eau seule).
- Gestion des espaces confinés : surveillance augmentation des concentrations de vapeurs du mélange e-méthanol - biodiesel et interdiction des sources d'inflammation dans ces zones.
- La mise en place d'exigences strictes en matière de sécurité et de prévention des incendies sera un élément clé pour l'acceptabilité du mélange e-méthanol – biodiesel dans le secteur maritime.
- Des études de risques approfondies seront nécessaires pour adapter les infrastructures portuaires et navales à l'utilisation sécurisée de ce carburant.
- Une coopération entre les armateurs, les fournisseurs de carburant et les autorités maritimes sera essentielle pour définir des protocoles de sécurité robustes et assurer la conformité aux réglementations existantes.

Mise en place et atténuations potentielles

- Installation de capteurs de détection de vapeurs inflammables dans les zones de stockage et de transfert de carburant.
- Mise en place de protocoles de sécurité spécifiques pour la manutention et l'avitaillement, incluant des exigences de ventilation renforcée.
- Formation obligatoire des travailleurs aux risques d'incendie et d'explosion associés à l'e-méthanol et aux méthodes d'intervention en cas d'urgence.

- L’armateur des navires a exprimé la nécessité d'avoir des certifications moteur spécifiques avant d'intégrer le mélange e-méthanol - biodiesel comme carburant, afin d'assurer la compatibilité avec les systèmes existants.
- L’administration portuaire confirme que l'avitaillement au mélange e-méthanol – biodiesel ne pourra être autorisé qu'après des études de risques approfondies, en tenant compte des exigences en matière de stockage sécurisé et de gestion des risques incendie.

5.2.3 SPREV = Gestion des risques et prévention

Le mélange e-méthanol - biodiesel, en tant que carburant alternatif, nécessite une adaptation des stratégies de gestion des risques dans les installations portuaires et à bord des navires. Sa manipulation, sa libération et son faible point d'éclair imposent des protocoles spécifiques pour prévenir les incidents et réagir efficacement en cas d'urgence. Un manque de plans d'intervention adaptés aux caractéristiques du mélange e-méthanol - biodiesel pourrait augmenter les risques d'incendie, de contamination et de non-conformité réglementaire.

Réglementations applicables

- Code ISM : cadre obligatoire pour la gestion de la sécurité à bord des navires, incluant la gestion des risques liés aux carburants dangereux et les procédures d'intervention en cas d'urgence. (Transport Canada, 2011), (I. C. OMI, 2015).
- Règlement sur les urgences environnementales (2019) (DORS/2019-51) : ce règlement impose aux entreprises utilisant des substances dangereuses de développement et mettre en œuvre des plans d'urgence environnementale, incluant la prévention des déversements, les mesures de confinement et les procédures d'intervention rapide en cas d'incident. (Justice, 2019b). Il s'applique aux installations industrielles et maritimes manipulant des substances inflammables et toxiques comme l'e-méthanol. Cette réglementation complète bien le code ISM, en assurant que les plans de gestion des risques spécifiques à l'e-méthanol sont mis en place dans les ports et à bord des navires

Implications pour l'utilisation d’un mélange contenant de l’e-méthanol

- Plans de gestion de crise adaptés : les plans d'urgence doivent inclure des protocoles spécifiques au mélange e-méthanol - biodiesel, notamment l'utilisation de mousse anti-alcool pour les incendies et des procédures de confinement des fuites.

- Inspections et maintenance préventive : les infrastructures de stockage et de distribution de l'éthanol ont périodiquement des inspections fréquentes pour détecter d'éventuelles corrosions ou fuites pouvant nuire à la sécurité des opérations.
- Renforcement des exigences réglementaires pour assurer une gestion proactive des risques liés au mélange e-méthanol - biodiesel.
- Mise en place de protocoles de sécurité communs entre les différents acteurs du projet GREENMET.
- Développement de synergies entre les producteurs de carburants, les armateurs et les ports pour établir des normes harmonisées de gestion des risques et de prévention des incidents.

Mise en place et atténuations potentielles

- Élaboration de plans d'urgence spécifiques pour les ports et les navires intégrant les risques propres au mélange e-méthanol - biodiesel.
- Réalisation de simulations d'incidents réguliers (exercices de confinement de fuite, lutte contre les incendies de carburant alcoolisé, protocoles d'évacuation).
- Formation obligatoire des travailleurs à la manipulation sécuritaire du mélange e-méthanol – biodiesel et aux procédures de gestion des risques.
- Surveillance continue des infrastructures avec des systèmes de détection de fuite et de ventilation adaptés.
- Le fournisseur de carburant met déjà en place des inspections régulières et des exercices de simulation pour améliorer la sécurité et la gestion des incidents liés aux carburants alternatifs.
- L'administration portuaire exige que les fournisseurs de carburant respectent les certifications ISO et les normes internationales en matière de prévention des risques industriels avant d'autoriser l'avitaillement du mélange e-méthanol - biodiesel.

5.2.4 SFORM = Formation portuaire et maritime

L'introduction du mélange e-méthanol - biodiesel dans le secteur maritime nécessite une montée en compétences des travailleurs afin de garantir une manipulation sécuritaire du carburant. Contrairement aux carburants traditionnels, le mélange e-méthanol - biodiesel présente des risques spécifiques, notamment sa légèreté et son faible point d'éclair, ce qui impose des formations adaptées pour les équipages, le personnel portuaire et les fournisseurs de carburant.

Réglementations applicables

- STCW (Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers) : normes internationales régissant la formation et la certification des marins. (Transport Canada, 2010), (S. OMI, 1984).
- Règlement sur le transport des marchandises dangereuses (TMD, Canada) : ce règlement impose des exigences de formation pour toute personne manipulant, transportant ou surveillant le transport de marchandises dangereuses, y compris les carburants alternatifs comme le mélange e-méthanol - biodiesel. (Across Logistics, 2024). Il couvre la manipulation sécuritaire, l'identification des dangers, les procédures d'intervention en cas d'incident et la conformité aux normes internationales telles que le Code IMDG.

Implications pour l'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

- Obligation de formation des équipages et du personnel portuaire pour assurer une manipulation sécuritaire du carburant.
- Création de modules de formation spécialisés intégrant les propriétés spécifiques du mélange e-méthanol - biodiesel (toxicité, inflammabilité, gestion des déversements).
- Renforcement des certifications et des simulations d'urgence pour préparer les travailleurs à répondre efficacement en cas d'incident.

L'élaboration de programmes de formation spécifiques constitue un levier stratégique pour assurer une transition sécurisée vers le mélange e-méthanol - biodiesel. Cette exigence doit être intégrée aux recommandations du projet GREENMET pour garantir une adoption conforme aux normes internationales et aux attentes des parties prenantes.

Mise en place et atténuations potentielles

- La mise en place de formations continue pour les opérateurs manipulant le mélange e-méthanol - biodiesel, en lien avec les réglementations STCW et les normes canadiennes.
- Développement de programmes spécifiques en partenariat avec les autorités maritimes, les écoles de formation maritime et les centres de recherche.
- Simulations et exercices réguliers dans les installations portuaires et à bord des navires pour tester les procédures de sécurité.

- L’autorité portuaire considère que la formation des opérateurs est une condition essentielle avant toute introduction du e-méthanol dans ses opérations.
- L’armateur des bateaux a soulevé la nécessité de former les équipages sur la compatibilité des moteurs et la gestion des risques spécifiques au mélange e-méthanol - biodiesel.
- Le fournisseur de carburant intègre déjà des programmes de formation pour ses employés sur la manipulation des carburants alternatifs et prévoit d'adapter ses formations au mélange e-méthanol - biodiesel.

5.3 Aspects économiques & responsabilité

L'intégration du mélange e-méthanol - biodiesel pose des défis financiers liés aux coûts d'infrastructure, aux incitatifs économiques et aux obligations légales.

5.3.1 $ECO = Impact économique

L’intégration du mélange e-méthanol - biodiesel dans le secteur maritime pose des défis économiques majeurs, notamment en ce qui concerne les coûts d’exploitation et les investissements en infrastructures. La conversion des navires et des installations portuaires pour l’adoption de ce carburant implique des coûts initiaux élevés, qui pourraient être atténués par des incitations financières et des partenariats stratégiques.

Réglementations applicables

- Politique énergétique 2030 du Québec : encourage la transition vers des carburants plus propres et prévoit des incitatifs pour les entreprises adoptant des solutions énergétiques durables. (Gouvernement du Québec, 2023a).
- Plan climatique fédéral 2030-2050 : vise la réduction des émissions de GES et propose des mécanismes de financement pour la transition énergétique dans le secteur maritime. (S. Canada, 2022), (E. et C. climatique Canada, 2024).

Implications pour l'utilisation d’un mélange contenant de l’e-méthanol

- Accès à des subventions et incitatifs financiers pour réduire les coûts initiaux liés à la production et à l’adoption du mélange e-méthanol - biodiesel.
- Développement d’un marché compétitif, avec une réglementation qui favorise l’alignement des prix entre carburants fossiles et alternatifs.

- Investissements dans l'infrastructure portuaire, incluant des réservoirs de stockage et des équipements adaptés à la distribution du mélange e-méthanol - biodiesel.

L'adoption du mélange e-méthanol - biodiesel dans le secteur maritime québécois nécessite une approche intégrée combinant soutien financier, stratégies de marché et collaboration entre les acteurs de l'industrie. La mise en place d'un cadre économique incitatif sera essentielle pour accélérer l'investissement dans les infrastructures et favoriser l'acceptation du mélange e-méthanol – biodiesel comme alternative viable aux carburants fossiles.

Mise en place et atténuations potentielles

- Modèles économiques basés sur le partage des coûts, impliquant armateurs, fournisseurs de carburants et autorités portuaires.
- Mise en place de tarifs préférentiels pour les opérateurs maritimes utilisant des carburants alternatifs.
- Incitations fiscales pour encourager la conversion des flottes et la modernisation des infrastructures portuaires.
- Le producteur de carburant a souligné que des subventions sont essentielles pour rendre la production du mélange e-méthanol - biodiesel économiquement viable et compétitive.
- L'autorité portuaire explore des mécanismes pour intégrer le mélange e-méthanol - biodiesel dans ses stratégies tarifaires, notamment via des incitatifs financiers pour les armateurs réduisant leurs émissions de GES.
- L'armateur a mis en avant les coûts élevés de conversion des moteurs et la nécessité d'un soutien financier pour accompagner la transition.

5.3.2 $INCIT = Incitatifs financiers et subventions

L'adoption du mélange e-méthanol – biodiesel dans le secteur maritime dépend fortement de mécanismes financiers incitatifs pour compenser les coûts élevés liés à la conversion des flottes et à la modernisation des infrastructures. Sans soutien financier adéquat, la transition énergétique risque d'être ralentie par les contraintes budgétaires des opérateurs maritimes et des ports.

Réglementations applicables

- Système de crédits carbone canadien : permet aux entreprises de générer et d'échanger des crédits d'émission, encourageant ainsi l'investissement dans des solutions à faible émission de carbone. (E. et C. climatique Canada, 2022).
- Programme de financement pour la transition énergétique : mis en place par le gouvernement fédéral et certaines provinces pour soutenir l'adoption de technologies vertes dans le transport et l'industrie. (E. et C. climatique Canada, 2022).

Implications pour l'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

- Accès à des financements publics pour soutenir l'installation d'infrastructures adaptées au stockage et à la distribution du mélange e-méthanol - biodiesel.
- Possibilité pour les armateurs de bénéficier de crédits d'impôt ou de subventions pour compenser les coûts d'adaptation des moteurs et des navires.
- Création d'un environnement économique favorable, où les carburants alternatifs deviennent plus compétitifs face aux combustibles fossiles traditionnels.

Pour garantir l'intégration efficace du mélange e-méthanol – biodiesel dans le transport maritime québécois, il est crucial de mettre en place des incitatifs financiers durables. Un cadre économique avantageux encouragerait non seulement l'adoption du mélange par les armateurs, mais permettrait également d'accélérer la modernisation des infrastructures portuaires, assurant ainsi le succès du projet GREENMET dans un contexte de transition énergétique.

Mise en place et atténuations potentielles

- Collaboration avec les gouvernements pour développer des incitatifs financiers dédiés aux carburants alternatifs.
- Mise en place de réductions tarifaires pour les navires utilisant le mélange e-méthanol - biodiesel, par exemple via une diminution des frais d'accostage dans les ports.
- Développement de partenariats public-privé, permettant aux entreprises maritimes d'accéder à des financements pour moderniser leurs flottes.
- L'autorité portuaire propose déjà des incitatifs tarifaires pour les navires impliquant leurs émissions de GES et pourraient étendre ces mesures à l'utilisation du mélange contenant de l'e-méthanol.

- Le producteur de carburant a rencontré en avant la nécessité de subventions pour stimuler la production locale du mélange e-méthanol - biodiesel et réduire son coût pour les opérateurs.
- L'exploitant du navire souligne que le coût initial élevé de conversion des moteurs constitue un frein majeur, nécessitant un soutien financier à long terme.

5.3.3 $INV = Investissements / infrastructure

L'intégration du mélange e-méthanol - biodiesel dans le secteur maritime nécessite des investissements substantiels pour adapter les infrastructures portuaires et moderniser les navires existants. Ces investissements sont essentiels pour garantir une transition efficace vers ce carburant alternatif tout en respectant les exigences de sécurité et de performance.

Réglementations applicables

- Loi maritime du Canada : Elle régit la gestion des administrations portuaires, l'exploitation des ports et certaines infrastructures reliées à la voie navigable, notamment la voie maritime du Saint-Laurent. Elle est cruciale pour organiser et superviser les activités maritimes au Canada, garantissant une gestion efficace des installations portuaires et des voies navigables du pays. (Justice, 2020b).

Implications pour l'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

- Besoin de nouvelles infrastructures de stockage et de distribution dans les ports, incluant des réservoirs adaptés aux caractéristiques chimiques du mélange e-méthanol - biodiesel.
- Adaptation des équipements portuaires et des navires pour répondre aux exigences de sécurité et aux normes internationales.
- Développement de corridors verts intégrant le mélange e-méthanol – biodiesel pour répondre aux objectifs de réduction des émissions.

Pour assurer le succès du projet, il est essentiel de mettre en place un cadre d'investissement structuré, impliquant à la fois les acteurs publics et privés. La mise en œuvre de solutions progressives d'infrastructures, en lien avec la demande croissante de carburants alternatifs, permettra d'accélérer la transition énergétique tout en minimisant les risques économiques.

Mise en place et atténuations potentielles

- Mobilisation de fonds publics et privés pour financer la modernisation des ports et des équipements de soutien.
- Collaboration avec les armateurs pour évaluer la faisabilité de la conversion des navires existants.
- Création d'un plan d'investissement progressif, permettant une transition par étapes en fonction de la demande et des capacités technologiques.
- L'armateur a souligné les défis liés à l'adaptation des moteurs et réservoirs des remorqueurs existants, nécessitant des ajustements techniques et réglementaires.
- L'autorité portuaire a exprimé son intérêt pour le développement d'infrastructures adaptées, mais insiste sur la nécessité de garantir une demande suffisante pour justifier ces investissements.
- Le fournisseur de carburant a mis en avant la nécessité d'une coordination entre les fournisseurs de carburants, les autorités portuaires et les armateurs pour assurer une transition efficace.

5.3.4 $RESP = Responsabilités légales

L'introduction du mélange e-méthanol – biodiesel dans le secteur maritime implique des obligations légales accrues pour les exploitants, les fournisseurs de carburant et les autorités portuaires. En cas d'incident environnemental ou de non-conformité, la responsabilité des acteurs impliqués doit être clairement définie afin d'assurer une gestion efficace des risques et des impacts.

Réglementations applicables

- Loi sur la marine marchande du Canada (2001) : établit les obligations des exploitants en matière de sécurité, d'exploitation maritime et de prévention des dommages environnementaux. (D. des services législatifs Canada, 2023a).
- Code IMDG (International Maritime Dangerous Goods Code) : définit les règles pour le transport des marchandises dangereuses, y compris les exigences de manipulation et d'emballage du méthanol. (Foster, 2024).

- Convention MARPOL (Annexe III et V) : réglemente la prévention des pollutions par les substances nocives transportées en mer et la gestion des déchets issus de leur utilisation. (OMI, 2010)

Implications pour l'utilisation d'un mélange contenant de l'e-méthanol

- Obligation pour les exploitants de démontrer leur conformité aux réglementations en vigueur concernant le stockage, la manipulation et le transport du mélange e-méthanol - biodiesel.
- Mise en place d'un suivi environnemental strict, incluant la traçabilité des carburants, la prévention des fuites et la gestion des déchets liés au mélange e-méthanol - biodiesel.
- Renforcement des exigences en matière d'assurance pour couvrir les risques liés aux incidents environnementaux ou aux dommages matériels causés par l'utilisation du carburant.

L'intégration du mélange e-méthanol - biodiesel dans le transport maritime nécessite une réévaluation des responsabilités juridiques et des cadres de conformité pour s'assurer que les exploitants, les fournisseurs et les autorités respectent les normes environnementales et de sécurité. Des assurances adaptées et des procédures de gestion des risques doivent être mises en place pour garantir la viabilité du projet et minimiser les risques financiers et environnementaux.

Mise en place et atténuations potentielles

- Clarifier les responsabilités des parties prenantes, y compris les fournisseurs, les exploitants maritimes et les autorités portuaires.
- Renforcer les mécanismes de conformité et d'assurance pour garantir que les coûts liés aux incidents ne reposent pas uniquement sur un seul acteur.
- Mise en place de protocoles d'intervention d'urgence en cas de fuite, de déversement ou d'accident impliquant le mélange e-méthanol - biodiesel.
- Le producteur de carburant a confirmé que l'entreprise intègre déjà des mécanismes de suivi et de gestion des risques environnementaux liés à l'e-méthanol pur.
- L'autorité portuaire a indiqué qu'une vigilance accrue sera requise pour garantir que les navires respectent les normes internationales avant d'autoriser l'avitaillement.

- L’armateur a soulevé la question de la responsabilité en cas de corrosion des infrastructures ou de problèmes techniques liés aux moteurs, nécessitant des garanties supplémentaires avant une adoption à grande échelle.

5.4 Discussion sur les mitigations /atténuations

L'adoption du mélange e-méthanol - biodiesel comme carburant maritime ayant un faible point d’éclair repose sur une combinaison de plusieurs éléments essentiels : des infrastructures adaptées, un cadre réglementaire souple et évolutif, ainsi que l'engagement des acteurs du secteur maritime, y compris les armateurs, les ports et les autorités réglementaires. Une approche intégrée est donc nécessaire pour assurer une transition efficace et sécurisée vers ce carburant alternatif. Les entrevues réalisées avec les parties impliquées, ainsi que l'analyse des réglementations existantes, montrent que des ajustements sont envisageables pour faciliter cette transition. En particulier, les *decision numbers* réglementaires rendues par le *Marine Technical Review Board* (MTRB) démontrent que des dérogations aux normes actuelles peuvent être accordées par Transports Canada, à condition que les mesures de sécurité soient appropriées mises en place.

5.4.1 Rôle des « *Decision Numbers* » et leur impact sur l'adoption du mélange contenant de l'e-méthanol

Dans le cadre de la réglementation canadienne, Transports Canada dispose de la possibilité d'accorder des dérogations (appelées « *decision numbers* ») à certaines exigences normatives strictes, lorsque des opérateurs de sécurité démontrent qu'ils peuvent garantir un niveau d’équivalent ou supérieur à celui requis. Cette flexibilité réglementaire, prévue à l'article 106 1(a) de la loi de 2001 sur la marine marchande du Canada, permet notamment aux armateurs d'expérimenter l'utilisation de carburants à faible point d'éclair dans des conditions spécifiques. Les *decision numbers* M17353, M17966 et M18127 illustrent bien cette approche. Ces *decision numbers* ont permis à des navires d'utiliser des carburants ayant un faible point d'éclair, à condition que des infrastructures et des mesures de sécurité adéquates soient mises en place. Ces exemptions sont particulièrement pertinentes dans des contextes où l'utilisation de nouveaux carburants, comme le mélange e-méthanol - biodiesel, peut apporter des avantages environnementaux significatifs sans nuire à la sécurité.

5.4.2 Exigences techniques et adaptations réglementaires

L'analyse de ces *decision numbers* permet d'identifier les exigences précises qui pourraient s'appliquer au mélange e-méthanol - biodiesel.

- Modernisation des infrastructures : l'utilisation d'un carburant comme le mélange e-méthanol - biodiesel nécessite des réservoirs de stockage sécurisés, dotés de systèmes de ventilation spécifiques pour éviter l'accumulation de vapeurs inflammables. Ces modifications sont essentielles pour assurer la sécurité à bord des navires et dans les installations portuaires.
- Détection et prévention des fuites : la mise en place de systèmes de détection avancés et de protocoles de réponse rapide en cas de fuite est indispensable. L'expérience des navires ayant bénéficié des exemptions montre que ces technologies sont un prérequis pour l'approbation réglementaire.
- Mise en place de corridors maritimes dédiés : les décisions précédentes indiquant que des zones spécifiques pourraient être définies pour l'utilisation du mélange e-méthanol - biodiesel, facilitant ainsi son adoption progressive.

5.4.3 Défis économiques et incitatifs financiers

Malgré ces réglementations avancées, les résultats des entrevues montrent que le principal frein à l'adoption de l'e-méthanol reste son coût élevé par rapport aux carburants traditionnels. La *decision number* M17353, par exemple, souligne que l'exemption accordée à certains navires était conditionnée à une utilisation restreinte du carburant sur certaines routes, ce qui limite son impact à grande échelle. Pour que le mélange e-méthanol - biodiesel devienne une alternative viable, il est essentiel que des mécanismes financiers soient mis en place, notamment :

- Des subventions et crédits carbone : inspirés du modèle européen FuelEU Maritime, ces incitations viseraient à encourager les armateurs à adopter des carburants propres.
- Des réductions tarifaires dans les ports : certains ports, comme celui de Montréal, envisagent déjà des incitatifs pour les navires utilisant des carburants alternatifs, une mesure qui pourrait être renforcée au niveau national.

5.4.4 Recommandations pour une transition efficace

En s'appuyant sur les *decision numbers* existantes et les entretiens menés avec les parties prenantes, plusieurs pistes d'action sont proposées pour assurer une transition réussie vers le mélange e-méthanol - biodiesel;

- Renforcement des infrastructures : investir dans la modernisation des ports et des navires pour garantir la compatibilité avec le mélange e-méthanol - biodiesel.
- Collaboration multipartite : encourager un dialogue continu entre les producteurs de carburants, les opérateurs maritimes et les autorités portuaires pour harmoniser les réglementations et faciliter la transition.
- Incitations économiques : développer des subventions et des crédits carbones pour compenser les coûts de conversion et d'adaptation des infrastructures.
- Validation technique par les motoristes : il est impératif que les constructeurs de moteurs effectuent des tests et certifient l'utilisation du mélange e-méthanol - biodiesel sur différentes catégories de navires.

L'analyse des *decision numbers* M17353, M17966 et M18127 prouve que des ajustements réglementaires sont envisageables sous certaines conditions. Le succès du mélange e-méthanol – biodiesel dépendra de la capacité des acteurs du secteur maritime à répondre aux exigences de sécurité tout en bénéficiant d'un cadre financier et réglementaire favorable. Ce chapitre met ainsi en évidence les conditions essentielles pour une adoption réussie, tout en identifiant les leviers d'action concrets pour garantir le succès du projet GREENMET dans le secteur maritime québécois et canadien.

CHAPITRE 6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

6.1 Contributions et apports de l'étude

L'analyse réglementaire permet d'évaluer de manière exhaustive la pertinence (faisabilité) technique, environnementale, économique et sociale de l'intégration du mélange contenant du e-méthanol comme carburant alternatif dans le secteur maritime. Elle s'inscrit dans les objectifs globaux du projet GREENMET, qui vise à réduire l'impact environnemental du transport maritime en adoptant des carburants alternatifs conformes aux normes internationales, à assurer la sécurité opérationnelle en analysant les risques associés au mélange e-méthanol - biodiesel, tels que les fuites, incendies ou impacts sur la santé humaine, et en proposant des mesures d'atténuation, ainsi qu'à développer des recommandations économiques et stratégiques pour guider les acteurs du secteur maritime (armateurs, ports, producteurs de carburants) dans la transition vers des solutions durables.

L'analyse réglementaire est justifiée par son rôle clé dans l'identification des exigences légales liées à l'utilisation du mélange e-méthanol - biodiesel en tant que carburant alternatif, que ce soit pour le transport maritime national ou international. Elle permet d'évaluer les lacunes réglementaires et de proposer les ajustements nécessaires pour soutenir la transition énergétique. De plus, elle anticipe les défis de conformité afin de minimiser les risques opérationnels, financiers et environnementaux.

La contribution spécifique de la méthodologie adoptée réside dans sa perspective multidimensionnelle, permettant de croiser les aspects environnementaux, de santé et de sécurité, ainsi que les considérations économiques, pour dresser un tableau complet des implications du mélange e-méthanol - biodiesel. Par exemple, en combinant les normes de Transport Canada (sécurité et manipulation) avec celles de l'OMI (réduction des GES), l'analyse fournit une vue d'ensemble claire sur les exigences pour les opérateurs maritimes et les ports. En intégrant des données locales et des lois nationales, cette méthode s'adapte au contexte québécois afin de s'assurer que les solutions proposées sont compatibles avec les réalités économiques et environnementales du Québec. Cela inclut, par exemple, l'analyse des incitatifs financiers disponibles pour la production et la distribution de l'e-méthanol au niveau provincial et fédéral. De plus, cette méthode ne se limite pas à une évaluation théorique des lois, mais vise à développer des recommandations stratégiques pratiques, telles que la mise en place d'infrastructures portuaires

adaptées, des stratégies pour encourager l'adoption par les armateurs et des propositions de modifications réglementaires pour soutenir les objectifs de décarbonation.

La méthode adoptée est la mieux adaptée en raison de son évaluation systématique des facteurs de risque. Les colonnes définies (environnementales, santé/sécurité, économiques) permettent de structurer les analyses et d'identifier les enjeux prioritaires. Par exemple, le risque de contamination marine (EEAU) est directement croisé avec les règlements sur les déversements dangereux. La méthode garantit également l'alignement avec les parties prenantes, en prenant en compte les perspectives des principaux acteurs dans un cadre juridique. Les résultats permettent une meilleure coordination entre les producteurs de carburants, les opérateurs maritimes et les autorités portuaires. De plus, la méthodologie développée pour le mélange e-méthanol – biodiesel peut être facilement appliquée à d'autres carburants alternatifs (hydrogène, ammoniac, GNL), assurant ainsi sa pertinence à long terme pour d'éventuels projets futurs.

6.2 Limitations de l'étude et axes d'amélioration

Bien que cette étude propose une analyse approfondie et des recommandations adaptées, certaines limites doivent être prises en compte pour mieux cerner les défis et les perspectives liés à l'adoption du mélange e-méthanol - biodiesel.

6.2.1 Limites potentielles de la méthode

Le nombre limité d'entrevues restreint la diversité des points de vues recueillis, ce qui peut limiter la représentativité des résultats. La complexité du cadre réglementaire, marqué par une superposition de normes internationales, nationales et régionales, peut entraîner des difficultés d'interprétation et de mise en conformité. De plus, la disponibilité des données demeure un enjeu, notamment en ce qui concerne les émissions spécifiques du cycle de vie du mélange e-méthanol - biodiesel et les coûts précis des infrastructures nécessaires à son adoption. L'évolution rapide des réglementations, notamment en matière de réduction des émissions de CO_2, pourrait nécessiter des ajustements continus pour assurer la pertinence des conclusions de cette étude.

6.2.2 Limites liées à l'expérimentation et aux infrastructures

L'expérimentation et l'implantation des infrastructures adaptées au mélange e-méthanol – biodiesel présentent également des défis. Le manque de retours d'expérience concrète limite la capacité à anticiper précisément les impacts de son utilisation à grande échelle dans le transport maritime.

L'adoption de ce carburant repose fortement sur des investissements conséquents pour l'adaptation des moteurs et des installations portuaires, ce qui peut ralentir la transition. En dépit de ces contraintes, cette recherche constitue une base solide pour guider les acteurs du secteur maritime dans leur prise de décision. L'approche méthodologique adoptée permet de structurer l'analyse de manière rigoureuse et intégrée en abordant les enjeux environnementaux, économiques, techniques et réglementaires. Cette démarche garantit des recommandations cohérentes avec les objectifs du projet GREENMET et fournit aux décideurs des éléments concrets pour anticiper les défis de l'intégration du mélange e-méthanol - biodiesel dans le secteur maritime du Saint-Laurent.

6.3 Perspectives et recommandations pour la transition énergétique

Une transition énergétique réussie vers le mélange e-méthanol - biodiesel nécessite des actions concrètes à court terme, une adaptation progressive du cadre réglementaire et une implication active des parties prenantes. Afin de structurer cette transition, plusieurs mesures stratégiques peuvent être mises en place pour accélérer l'adoption de ce carburant alternatif tout en assurant la conformité aux exigences environnementales et opérationnelles.

6.3.1 Actions à entreprendre à court terme

L'adoption du mélange e-méthanol – biodiesel nécessite une approche progressive intégrant des évaluations techniques, des projets pilotes et des ajustements réglementaires. Une collaboration étroite entre les motoristes et les armateurs permettra d'évaluer la faisabilité de ce carburant sur différents types de navires, tandis que des expérimentations sur des corridors maritimes spécifiques, inspirées des essais réalisés avec le GNL, faciliteraient sa mise en œuvre. L'établissement d'un cadre réglementaire évolutif, en concertation avec Transports Canada et l'OMI, assurerait une transition progressive et sécurisée en anticipant les adaptations nécessaires aux normes existantes.

6.3.2 Évolution du cadre réglementaire

Le cadre réglementaire doit évoluer en fonction des avancées internationales et des spécificités canadiennes afin de garantir une adoption cohérente du mélange e-méthanol - biodiesel. L'intégration des nouvelles exigences, notamment celles pouvant être introduites dans la 7e annexe de MARPOL, permettrait d'harmoniser la réglementation maritime avec les exigences environnementales actuelles. L'élaboration de normes spécifiques au Canada, inspirées des

initiatives telles que FuelEU Maritime, offrirait un cadre structurant pour encourager la transition vers des carburants à faible empreinte carbone et faciliter leur adoption par les acteurs de l'industrie maritime. (Wärtsilä, 2025), (Pole Star Global, 2025).

6.3.3 Implication des parties impliquées

L'implication des parties prenantes constitue un levier clé pour assurer la viabilité économique et sécuritaire du mélange e-méthanol – biodiesel dans le secteur maritime. La mise en place d'investissements conjoints entre les producteurs de carburants, les ports et les armateurs permettrait de répartir les coûts liés aux infrastructures et de minimiser les risques financiers. Une formation adaptée des travailleurs maritimes et portuaires garantirait une manipulation sécurisée du carburant et réduirait les risques opérationnels. Des incitatifs financiers, tels que des crédits carbones et des réductions de frais d'accostage, favoriseraient une adoption plus rapide et encourageraient les armateurs à opter pour cette alternative énergétique.

Cette approche intégrée, combinant innovation technologique, adaptation réglementaire et collaboration entre acteurs clés, constitue une opportunité majeure pour la décarbonation du transport maritime au Québec et au Canada.

6.3.4 Conclusion et perspectives

Cette étude met en évidence les opportunités et défis liés à l'introduction du mélange e-méthanol – biodiesel dans le transport maritime. En intégrant les aspects réglementaires, environnementaux, économiques et de sécurité, elle propose des leviers d'action concrets pour faciliter la transition énergétique. L'implication des acteurs institutionnels, industriels et réglementaires sera essentielle pour garantir une adoption progressive, sécurisée et économiquement viable. En poursuivant le développement des corridors maritimes verts et des infrastructures adaptées, le projet GREENMET pourrait jouer un rôle clé dans la décarbonation du transport maritime au Québec et au Canada.

RÉFÉRENCES

A review of cleaner alternative fuels for maritime transportation. (2021). *Energy Reports*, *7*, 1962-1985. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.03.036

Across Logistics. (2024). *IMDG Code. IMO classification of dangerous goods*. https://acrosslogistics.com/blog/en/code-imdg-classification-imo-of-dangerous-goods

AFP. (2025). Norvège : Un navire va pour la première fois capter et stocker son CO2. *Techniques de l'Ingénieur*. https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/norvege-un-navire-va-pour-la-premiere-fois-capter-et-stocker-son-co2-141931/

Baribeau, C., & Royer, C. (2012). L'entretien individuel en recherche qualitative : Usages et modes de présentation dans la Revue des sciences de l'éducation. *Revue des sciences de l'éducation*, *38*(1), 23-45. https://doi.org/10.7202/1016748ar

Blomerus, P. (2022a). *Décarbonation du transport maritime : Des carburants propres pour un avenir plus vert? – Clear Seas*. https://clearseas.org/fr/insights/decarbonisation-du-transport-maritime-des-carburants-propres-pour-un-avenir-plus-vert/

Blomerus, P. (2022b). *Le gaz naturel liquéfié (GNL) comme carburant marin pour l'arctique canadien – Clear Seas*. https://clearseas.org/fr/research/le-gaz-naturel-liquefie-gnl-comme-carburant-marin-pour-larctique-canadien/

Bouman, E. A., Lindstad, E., Rialland, A. I., & Strømman, A. H. (2017). State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *52*, 408-421. https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.03.022

Bouman, E., Lindstad, E., Rialland, A., & Strømman, A. (2017). State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping—A review. *Transportation Research Part D Transport and Environment*, *52*, 408. https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.03.022

boxcar-admin. (2021a). A step forward for "green" methanol and its potential to deliver deep GHG reductions in maritime shipping. *International Council on Clean Transportation*. https://theicct.org/a-step-forward-for-green-methanol-and-its-potential-to-deliver-deep-ghg-reductions-in-maritime-shipping /

boxcar-admin. (2021b, septembre 1). A step forward for "green" methanol and its potential to deliver deep GHG reductions in maritime shipping. *International Council on Clean Transportation*. https://theicct.org/a-step-forward-for-green-methanol-and-its-potential-to-deliver-deep-ghg-reductions-in-maritime-shipping /

Branch, L. S. (2006). *Consolidated federal laws of Canada, Dangerous Goods Shipping Regulations*. https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/SOR-81-951/20060322/P1TT3xt3.html?wbdisable=true

Browne, A., & O'Leary, A. (2022). *Guide des ports pour un transport maritime « zéro émission »*.

Brynolf, S., Fridell, E., & Andersson, K. (2014). Environmental assessment of marine fuels : Liquefied natural gas, liquefied biogas, methanol and bio-methanol. *Journal of Cleaner Production*, *74*, 86-95. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.052

Canada, E. et C. climatique. (2014). *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) : Partie 7* [Loi]. https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-

climatique/services/registre-environnemental-loi-canadienne-protection/publications/loi-canadienne-protection-environnement-1999/partie-7.html

Canada, E. et C. climatique. (2022). *Programme d'incitation à la décarbonisation : Ce qu'il faut savoir*. https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/carbone-pollution-tarification-revenus-programmation/fonds-produits-systeme-tarification-fonde-rendement/programme-incitation-decarbonisation/ce-quil-faut-savoir.html

Canada, E. et C. climatique. (2022). *Système de création et de suivi des crédits (RCP-SCSC)—Foire aux questions sur l'enregistrement*. https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/gestion-pollution/production-energie/reglement-carburants/reglement-combustibles-propres/conformite/systeme-creation-suivi-credits-faq-enregistrement.html

Canada, E. et C. climatique. (2024). *Plan climatique du Canada*. https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/campagnes/plan-climatique.html

Canada, D. des services législatifs. (2007). *Lois codifiées, Règlement sur la prévention de la pollution par les hydrocarbures*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-93-3/page-1.html

Canada, D. des services législatifs. (2012). *Lois codifiées, Règlement sur les rapports relatifs au rejet de polluants (1995)*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-95-351/page-1.html

Canada, D. des services législatifs. (2017). *Lois codifiées, Règlement no 1 concernant les renseignements sur les combustibles*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/C.R.C.,_ch._407/index.html

Canada, D. des services législatifs. (2019). *Lois codifiées, Règlement sur l'intervention environnementale*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2019-252/page-1.html

Canada, D. des services législatifs. (2020). *Lois codifiées, Règlement sur les systèmes de stockage de produits pétroliers et de produits apparentés*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2008-197/page-5.html#h-734255

Canada, D. des services législatifs. (2021). *Lois codifiées, Règlement sur certaines substances toxiques interdites (2012)*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2012-285/page-1.html#h-776933

Canada, D. des services législatifs. (2022a). *Lois codifiées, Règlement sur les carburants renouvelables*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2010-189/index.html

Canada, D. des services législatifs. (2022b). *Lois codifiées, Règlement sur les émissions des moteurs hors route à allumage par compression (mobiles et fixes) et des gros moteurs hors route à allumage commandé*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2020-258/index.html

Canada, D. des services législatifs. (2023a). *Lois codifiées, Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/C-10.15/

Canada, D. des services législatifs. (2023b). *Lois codifiées, Loi sur la responsabilité en matière maritime*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/m-0.7/TexteComplet.html?utm_source=chatgpt.com

Canada, D. des services législatifs. (2023c). *Lois codifiées, Loi sur la responsabilité en matière maritime*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/M-0.7/

Canada, D. des services législatifs. (2024). *Lois codifiées, Règlement sur la santé et la sécurité au travail en milieu maritime*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2010-120/TexteComplet.html

Canada, S. (2009). *Plan de gestion des produits chimiques du Canada : Un aperçu* [Description de programme]. https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/substances-chimiques/fiches-renseignements/plan-gestion-produits-chimiques-canada-apercu.html

Canada, S. (2022). *Le Plan de réduction des émissions du Canada pour 2030—Chapitre 1*. https://www.canada.ca/fr/services/environnement/meteo/changementsclimatiques/plan-climatique/survol-plan-climatique/reduction-emissions-2030/plan/chapitre-1.html

Canada, T. (2010). *Normes de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille (STCW)*. Transports Canada. https://tc.canada.ca/fr/transport-maritime/securite-maritime/normes-formation-gens-mer-delivrance-brevets-veille-stcw

Canada, T. (2011). *International Safety Management (ISM) Code*. Transport Canada. https://tc.canada.ca/en/marine-transportation/marine-safety/international-safety-management-ism-code

Canada, T. (2024a). *Examen législatif de la Loi sur les eaux navigables canadiennes : Document de discussion*. 20150573. https://tc.canada.ca/fr/services-generaux/consultations/examen-

legislatif-loi-eaux-navigables-canadiennes/examen-legislatif-loi-eaux-navigables-canadiennes-document-discussion

Canada, T. (2024b). *Examen législatif de la Loi sur les eaux navigables canadiennes : Document de discussion*. 20150573. https://tc.canada.ca/fr/services-generaux/consultations/examen-legislatif-loi-eaux-navigables-canadiennes/examen-legislatif-loi-eaux-navigables-canadiennes-document-discussion

Canada, T. (2025). *Plan de protection des océans*. AE 18058748; AE. https://tc.canada.ca/fr/campagnes/protegeons-nos-cotes-plan-protection-oceans

Christodoulou, A., & Cullinane, K. (2023). The prospects for, and implications of, emissions trading in shipping. *Maritime Economics & Logistics*, *26*, 1-17. https://doi.org/10.1057/s41278-023-00261-1

Clear Seas. (2024). *Pollution atmosphérique | Clear Seas*. https://clearseas.org/pollution-atmospherique/

Clear Seas. (2025). *Intervention en Cas de Déversement – Centre for Responsible Marine Shipping*. https://clearseas.org/intervention-en-cas-de-deversement/

Clear Seas, Lasserre, F., & Yaya, C. (2023). Changements climatiques et transition énergétique dans l'industrie du transport maritime : Regard sur la région du fleuve Saint-Laurent. *Clear Seas*. https://clearseas.org/fr/blogue/changements-climatiques-et-transition-energetique-dans-lindustrie-du-transport-maritime-regard-sur-la-region-du-fleuve-saint-laurent/

Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (MARPOL). (s. d.). Consulté 28 décembre 2023, à l'adresse

https://www.imo.org/fr/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx

Deniz, C., & Zincir, B. (2016). Environmental and economical assessment of alternative marine fuels. *Journal of Cleaner Production*, *113*, 438-449. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.089

Descamps, A. (2020). *Transport maritime : Le grand consensus autour de l'ammoniac*. https://www.actu-transport-logistique.fr/journal-de-la-marine-marchande/shipping/transport-maritime-le-grand-consensus-autour-de-lammoniac-747919.php

Dias De Oliveira, M. E., Vaughan, B. E., & Rykiel, E. J. (2005). Ethanol as Fuel : Energy, Carbon Dioxide Balances, and Ecological Footprint. *BioScience*, *55*(7), 593-602. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0593:EAFECD]2.0.CO;2

EMSA. (2023). *Investigates Hydrogen as a Sustainable Fuel Option for the Shipping Industry—Fuelcellsworks*. https://fuelcellsworks.com/news/emsa-investigates-hydrogen-as-a-sustainable-fuel-option-for-the-shipping-industry

ENGIE. (2024). *Hydrogène gris : Définition, utilisation et impact carbone | ENGIE*. https://particuliers.engie.fr/pourquoi-choisir-engie/conseils-transition-energetique/conseils-gaz-vert-biogaz/hydrogene-gris.html

Environnement et Santé—2011—Plan de gestion des produits chimiques.pdf. (s. d.). Consulté 8 février 2024, à l'adresse https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/sc-hc/H14-168-2011-fra.pdf

European Commission. (2025). *Réduire les émissions du secteur maritime—Commission européenne*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-shipping-sector_en

Fagerlund, P. (2014). *Methanol as a Marine Fuel*.

Fatih, B. (2021). *World Energy Outlook 2021 – Analysis*. IEA. https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021

FCBI Energy et Karin andersson—2015—Methanol as a Marine fuel report.pdf. (s. d.). Consulté 31 juillet 2024, à l'adresse https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2018/03/FCBI-Methanol-Marine-Fuel-Report-Final-English.pdf

Foster, B. (2024). Segregating Dangerous Goods under the IMDG Code | ICC Compliance Center. *ICC Compliance Center Inc - Canada*. https://www.thecompliancecenter.com/ca/segregating-dangerous-goods-under-the-imdg-code/

Gasum. (2025). *Conformité maritime sécurisée FuelEU grâce à la mise en commun*. Gasum. https://www.gasum.com/en/gas-for-transport/maritime-transport/pooling/

Geels, F. W., Sovacool, B. K., Schwanen, T., & Sorrell, S. (2017). The Socio-Technical Dynamics of Low-Carbon Transitions. *Joule*, *1*(3), 463-479. https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.09.018

Gouvernement du Canada. (2023a). *Détails de la décision numéro M17353*. https://wwwapps.tc.gc.ca/Saf-Sec-Sur/4/mtrbq-sridb/eng/decisions/details/17353

Gouvernement du Canada. (2023b). *Détails de la décision numéro M17966*. https://wwwapps.tc.gc.ca/Saf-Sec-Sur/4/mtrbq-sridb/eng/decisions/details/17966

Gouvernement du Canada. (2023c). *Détails de la décision numéro M18127*. https://wwwapps.tc.gc.ca/Saf-Sec-Sur/4/mtrbq-sridb/eng/decisions/details/18127

Gouvernement du Canada, E. et C. climatique C. (2016a). *Environnement et Changement climatique Canada - Lois et règlements - Norme sur les carburants propres : Document de travail*. https://ec.gc.ca/lcpe-cepa/default.asp?lang=Fr&xml=D7C913BB-13D0-42AF-9BC7-FBC1580C2F4B

Gouvernement du Canada, E. et C. climatique C. (2016b). *Environnement et Changement climatique Canada - Lois et règlements - Norme sur les carburants propres : Document de travail*. https://ec.gc.ca/lcpe-cepa/default.asp?lang=Fr&xml=D7C913BB-13D0-42AF-9BC7-FBC1580C2F4B

Gouvernement du Canada, T. publics et S. gouvernementaux C. (2020). *La Gazette du Canada, Partie 2, volume 154, numéro 7 : Règlement visant le maintien de la sécurité des personnes dans les ports et la voie maritime*. Gouvernement du Canada, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, Direction générale des services intégrés, Gazette du Canada. https://gazette.gc.ca/rp-pr/p2/2020/2020-04-01/html/sor-dors54-fra.html

Gouvernement du Québec. (2018). *La Loi sur la qualité de l'environnement : Faire avancer le Québec de façon responsable au bénéfice de tous*. https://www.environnement.gouv.qc.ca/lqe/autorisations/index.htm

Gouvernement du Québec. (2023a). *Plan de mise en œuvre 2023-2028 du Plan pour une économie verte 2030—Plus de 9 G$ pour accélérer notre transition climatique et énergétique et faire prospérer notre économie*. Gouvernement du Québec. https://www.quebec.ca/nouvelles/actualites/details/plan-de-mise-en-oeuvre-2023-2028-

du-plan-pour-une-economie-verte-2030-plus-de-9-g-pour-accelerer-notre-transition-climatique-et-energetique-et-faire-prosperer-notre-economie-48013

Gouvernement du Québec. (2023b). *Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement (REAFIE)*. https://www.environnement.gouv.qc.ca/lqe/autorisations/reafie/index.htm

Government du Canada, G. côtière canadienne. (2019). *Plan d'urgence pour les déversements en mer*. https://www.ccg-gcc.gc.ca/publications/environmental-environnementale/marine-pollution-deversements-en-mer/s04-fra.html

Government of Canada, P. W. and G. S. C. (2017). *Canada Gazette – Vessel Fire Safety Regulations*. Government of Canada, Public Works and Government Services Canada, Integrated Services Branch, Canada Gazette. https://gazette.gc.ca/rp-pr/p2/2017/2017-02-22/html/sor-dors14-eng.html

Green Maritime Methanol, Erik, G., & Jorrit, H. (2023). *Du méthanol vert pour le transport maritime – un appel à l'action – le méthanol maritime vert*. https://greenmaritimemethanol.nl/news/green-methanol-for-shipping-a-call-to-action/

Hansson, J., Månsson, S., Brynolf, S., & Grahn, M. (2019). Alternative marine fuels : Prospects based on multi-criteria decision analysis involving Swedish stakeholders. *Biomass and Bioenergy*, *126*, 159-173. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.05.008

HAROPA PORT. (2023). *Des quais sous haute tension | HAROPA PORT*. https://www.haropaport.com/fr/actualites/des-quais-sous-haute-tension

Innovation Maritime, I. (2021). *Étude sur les carburants alternatifs dans le transport maritime au Québec*. https://tmq.ca/wp-content/uploads/2022/05/Carburants-Alternatifs-au-Quebec-MeRLIN-IMAR.pdf

Innovation Maritime—2021—Étude sur les carburants alternatifs dans le trans.pdf. (s. d.). Consulté 1 août 2024, à l'adresse https://tmq.ca/wp-content/uploads/2022/05/Carburants-Alternatifs-au-Quebec-MeRLIN-IMAR.pdf

International Chamber of Shipping. (2019). *Guidelines on the Application of the IMO International Safety Management (ISM) Code*. https://www.ics-shipping.org/resource/guidelines-on-the-application-of-the-imo-international-safety-management-ism-code/

International Institutefor sustainable for Development. (2017). *Norme sur les carburants propres : Résumé des commentaires écrits des intervenants sur le document de travail*.

Irosoft, architecture de gestion de l'information législative-legal information management system. (2024). - *Loi sur la santé et la sécurité du travail*. https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/lc/s-2.1?utm_source=chatgpt.com

Jang, H., Jeong, B., Zhou, P., Ha, S., & Nam, D. (2021). Demystifying the lifecycle environmental benefits and harms of LNG as marine fuel. *Applied Energy*, *292*, 116869. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116869

Joanne, E., & Kim, T. (2018). *Study on the use of ethyl and methyl alcohol as alternative fuels in shipping*. EIBIP. https://eibip.eu/publication/study-use-ethyl-methyl-alcohol-alternative-fuels-shipping/

Johnny, D. (2021). *Le stockage, un verrou majeur de la filière hydrogène*. Polytechnique Insights. https://www.polytechnique-insights.com/dossiers/energie/lhydrogene-vert-doit-encore-faire-ses-preuves/le-stockage-un-verrou-majeur-de-la-filiere-hydrogene/

Justice, M. de la. (2016). *Lois codifiées Règlements codifiés*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2002-307/index.html

Justice, M. de la. (2019a). *Lois codifiées Règlements codifiés*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2018-261/index.html

Justice, M. de la. (2019b). *Lois codifiées Règlements codifiés*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2019-51/index.html

Justice, M. de la. (2019c). *Lois codifiées Règlements codifiés*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2003-105/index.html

Justice, M. de la. (2019d). *Lois codifiées Règlements codifiés*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/C-15.21/

Justice, M. de la. (2020a). *Lois codifiées Règlements codifiés*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2008-197/index.html

Justice, M. de la. (2020b). *Lois codifiées Règlements codifiés*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/C-6.7/

Justice, M. de la. (2020c). *Lois codifiées Règlements codifiés*. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2000-55/index.html

Knothe, G. (2010). Biodiesel and renewable diesel : A comparison. *Progress in Energy and Combustion Science*, *36*(3), 364-373. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2009.11.004

Levent, B. (2023). A systematic review on the acceptance of alternative marine fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *182*, 113367. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113367

Lundgren, A., & Wachsmann, A. (s. d.). *The potential of methanol as a competitive marine fuel*.

Malmborg, F. von. (2023). Advocacy coalitions and policy change for decarbonisation of international maritime transport : The case of FuelEU maritime. *Maritime Transport Research*, *4*, 100091. https://doi.org/10.1016/j.martra.2023.100091

MARPOL - 2024—Amendements à l'Annexe au Protocole de 1997 modifi.pdf. (s. d.). Consulté 7 janvier 2024, à l'adresse https://www.fedlex.admin.ch/filestore/fedlex.data.admin.ch/eli/fga/2012/1571/fr/pdf-a/fedlex-data-admin-ch-eli-fga-2012-1571-fr-pdf-a.pdf

MARPOL, A. I. (2004). *RÉSOLUTION MEPC.* http://reglementation-polmer.chez-alice.fr/Textes/marpol/Annexe1_revisee.htm

Martin Cames, Nora Wissner, & Jürgen Sutter. (2021). *Ammonia as Marine Fuel—NABU*. NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V. https://en.nabu.de/topics/traffic/30212.html

MAYER, N. (2024). L'utilisation de l'ammoniac dans les transports maritimes sera-t-elle une catastrophe environnementale ? *Révolution Énergétique*. https://www.revolution-energetique.com/lutilisation-de-lammoniac-dans-les-transports-maritimes-sera-t-elle-une-catastrophe-environnementale/

MTMD. (2021). *Avantage Saint-Laurent – La vision maritime du Québec—Transports et Mobilité durable Québec*. https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/ministere/role_ministere/avantage-st-laurent/Pages/avantage-st-laurent.aspx

Nemmour, A., Inayat, A., Janajreh, I., & Ghenai, C. (2023). Green hydrogen-based E-fuels (E-methane, E-methanol, E-ammonia) to support clean energy transition : A literature review. *International Journal of Hydrogen Energy*, *48*(75), 29011-29033. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.03.240

Netherlands Regulatory Framework (NeRF), M. (2012). *FTP-Code—2010 International Code for Application of Fire Test Procedures—Netherlands Regulatory Framework (NeRF) – Maritime*. https://puc.overheid.nl/nsi/doc/PUC_2420_14/2/

News, E. S. G. (2023). Maersk mène la durabilité maritime avec le premier porte-conteneurs vert propulsé au méthanol. *ESG News*. https://esgnews.com/fr/Maersk-m%C3%A8ne-la-durabilit%C3%A9-maritime-avec-le-premier-porte-conteneurs-vert-propuls%C3%A9-au-m%C3%A9thanol/

OMI. (2010). *A N N E X E I I I : Règles relatives à la prévention de la pollution par les substances nuisibles transportées par mer en colis*. http://reglementation-polmer.chez-alice.fr/Textes/marpol/Annexe3.htm

OMI. (2019). *Réduction significative des émissions d'oxydes de soufre des navires à compter du 1er janvier 2020*. https://www.imo.org/fr/MediaCentre/PressBriefings/pages/34-IMO-2020-sulphur-limit-.aspx

OMI. (2022). *Entrée en vigueur des règles relatives à l'intensité carbone des navires et au système de notation*. https://www.imo.org/fr/MediaCentre/PressBriefings/pages/CII-and-EEXI-entry-into-force.aspx

OMI. (2024a). *IMO 2020 – cutting sulphur oxide emissions*. https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx

OMI. (2024b). *Mesures climatiques*. https://www.imo.org/fr/OurWork/Environment/Pages/Decarbonization%20of%20shipping.aspx

OMI. (2024c). *Réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant des navires*. https://www.imo.org/fr/MediaCentre/HotTopics/pages/reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx

OMI. (2024d). *Travaux de l'OMI pour réduire les émissions de GES provenant des navires*. https://www.imo.org/fr/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx

OMI - 2021—Methodological issues under the Convention emissi.pdf. (s. d.). Consulté 31 juillet 2024, à l'adresse https://unfccc.int/sites/default/files/resource/202110271653---IMO%20submission%20to%20SBSTA%2052-55.pdf

OMI, Q. étude sur les gaz à effet de serre. (2020). *Fourth Greenhouse Gas Study 2020*. https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx

OMI, I. C. (2002). *INTERNATIONAL SAFETY MANAGEMENT CODE FOR SAFE OPERATION OF SHIPS AND FOR POLLUTION PREVENTION*. https://www.iaphworldports.org/n-iaph/wp-content/uploads/legal-db/A-17-INTERNATIONAL-SAFETY-MANAGEMENT.pdf

OMI, I. C. (2015). *International Safety Management (ISM) Code Requirements—ISM Code*. https://www.edumaritime.net/ism-code

OMI, I. C. (2024). *The International Safety Management (ISM) Code*. https://www.imo.org/en/ourwork/humanelement/pages/ISMCode.aspx

OMI, I. C. (2025). *The International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code*. https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/DangerousGoods-default.aspx

OMI, M. (2004). *A N N E X E II Règles relative à la prévention de la pollution par les substances liquides nocives transportées en vrac.* http://reglementation-polmer.chez-alice.fr/Textes/marpol/Annexe2_revisee.htm

OMI, M. (2025). *Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (MARPOL)*. https://www.imo.org/fr/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx

OMI, M. S. (2024). *IC844E Fire Test Procedures (FTP Code) 2012 Edition*. Marine Society Shop. https://www.marinesocietyshop.org/ic844e-fire-test-procedures-ftp-code-2012-edition-3

OMI, S. (1980). *Convention internationale de 1974 pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS)*. https://www.imo.org/fr/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx

OMI, S. (1984). *Convention internationale sur les normes de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille (STCW)*. https://www.imo.org/fr/about/Conventions/Pages/International-Convention-on-Standards-of-Training%2C-Certification-and-Watchkeeping-for-Seafarers-%28STCW%29.aspx?utm_source=chatgpt.com

OMI, S. (2002). *Summary of SOLAS chapter II-2*. https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/summaryofsolaschapterii-2-default.aspx

ONU commerce et développement, C. (2023). *Décarbonisation du transport maritime : Comment accélérer la transition et la rendre équitable ? | ONU commerce et développement*

(CNUCED). https://unctad.org/fr/news/decarbonisation-du-transport-maritime-comment-accelerer-la-transition-et-la-rendre-equitable?utm_source=chatgpt.com

Organization);, I. (International M. (2012). *FTP Code 2010 = International Code for Application of Fire Test Procedures, 2010 (resolution MSC.307 (88)), 2012 Edition* (London). IMO. //library.poltekpelsulut.ac.id%2Findex.php%3Fp%3Dshow_detail%26id%3D249%26keywords%3D

Pole Star Global. (2025). *Emissions Reporting & Analysis*. Pole Star Global. https://www.polestarglobal.com/use-cases/emissions-reporting-analysis/

Raunek. (2023). What is International Safety Management Code or ISM Code for Ships? *Marine Insight*. https://www.marineinsight.com/maritime-law/what-is-international-safety-management-code-or-ism-code-for-ships/

Report_fra.pdf. (s. d.). Consulté 7 février 2024, à l'adresse https://www.ec.gc.ca/doc/media/m_124/report_fra.pdf

Riela, Y. (2023). *The International Safety Management (ISM) Code*. Riela Yachts. https://riela-yachts.com/the-international-safety-management-ism-code/

SODES, B. d'information maritime. (2015). *Les émissions atmosphériques | SODES – Bureau d'information maritime*. https://www.st-laurent.org/bim/connaitre-lindustrie-maritime/environnement/reglementation-et-exigences-environnementales/emissions-atmospheriques/

Stratégie québécoise sur l'hydrogène vert et les bioénergies. (s. d.). Gouvernement du Québec. Consulté 29 janvier 2025, à l'adresse https://www.quebec.ca/gouvernement/politiques-orientations/strategie-hydrogene-vert-bioenergies

Tan, E. C. D., Harris, K., Tifft, S. M., Steward, D., Kinchin, C., & Thompson, T. N. (2022). Adoption of biofuels for marine shipping decarbonization : A long-term price and scalability assessment. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, *16*(4), 942-961. https://doi.org/10.1002/bbb.2350

Tang, M. (2023). *GUIDELINES ON IMPLEMENTATION OF THE INTERNATIONAL SAFETY MANAGEMENT (ISM) CODE BY ADMINISTRATIONS*.

’t Hart, P. A.-P., JFJ AU-Ferrari, Felipe. (2023). *Rapport final – Le bioéthanol comme carburant alternatif pour les navires*.

Transport, E.-. (2024). Comment arriver à la décarbonisation des ports et des terminaux? *Transport Naval*. https://transportnaval.com/les-ports/les-ports-et-terminaux-maritimes-face-au-defi-de-la-decarbonisation/

Travaux de l’OMI pour réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant des navires. (s. d.). Consulté 4 mars 2024, à l’adresse https://www.imo.org/fr/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx

Travaux de l’OMI pour réduire les émissions de GES provenant des navires. (s. d.). Consulté 15 décembre 2024, à l’adresse https://www.imo.org/fr/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx

Tvinnereim, E., & Mehling, M. (2018). Carbon pricing and deep decarbonisation. *Energy Policy*, *121*, 185-189. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.06.020

United Nations Climate Change. (2024). *L’Accord de Paris | CCNUCC*. https://unfccc.int/fr/a-propos-des-ndcs/l-accord-de-paris

Wang, T., Cheng, P., & Zhen, L. (2023). Green development of the maritime industry : Overview, perspectives, and future research opportunities. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *179*, 103322. https://doi.org/10.1016/j.tre.2023.103322

Wang, Y., & Wright, L. A. (2021). A Comparative Review of Alternative Fuels for the Maritime Sector : Economic, Technology, and Policy Challenges for Clean Energy Implementation. *World*, *2*(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/world2040029

Wärtsilä. (2022). *Does hydrogen have what it takes to be a future marine fuel?* Wartsila.com. https://www.wartsila.com/insights/article/hydrogen-fuel-for-thought-in-our-q-a

Wärtsilä. (2024). *Ethanol as a fuel for ships—Wärtsilä quick guide*. Wartsila.com. https://www.wartsila.com/marine/decarbonisation/future-fuels-development/alternative-fuels-quick-guide-ethanol

Wärtsilä. (2025). *EU Emissions Compliance Application—Wärtsilä*. Wartsila.com. https://www.wartsila.com/marine/products/fleet-optimisation/compliance-reporting/eu-emissions-compliance-application

Wikipedia. (2025). *International Maritime Dangerous Goods Code*. In *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=International_Maritime_Dangerous_Goods_Code&oldid=1267051937

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

Yadav, A., & Jeong, B. (2022). *Yadav : Évaluation de la sécurité de l'utilisation de l'ammoniac comme... - Google Scholar*.

https://scholar.google.com/scholar_lookup?author=A.+Yadav&author=B.+Jeong&publication_year=2022&title=Safety%20evaluation%20of%20using%20ammonia%20as%20marine%20fuel%20by%20analysing%20gas%20dispersion%20in%20a%20ship%20engine%20room%20using%20CFD&journal=J.+Int.+Maritime+Safety+Environ.+Affairs+Shipping&volume=6&pages=99

Zhang, Z., Tian, J., Li, J., Ji, H., Tan, D., Luo, J., Jiang, Y., Yang, D., & Cui, S. (2021). Effects of Different Mixture Ratios of Methanol-Diesel on the Performance Enhancement and Emission Reduction for a Diesel Engine. *Processes*, *9*(8), Article 8. https://doi.org/10.3390/pr9081366

Κουμνιώτης, K., & Koumniotis, K. (2022). *Ammonia as a marine fuel* [Master Thesis, Πανεπιστήμιο Πειραιώς]. https://doi.org/10.26267/unipi_dione/1833

ANNEXE A SUPPORT AUX ENTREVUES AVEC LE POTENTIEL PRODUCTEUR/FOURNISSEUR DE CARBURANT

En guise de préparation, voici les questions qui vous seront posées lors de la rencontre (avec possibilité d'étendre à d'autres éléments).

Réglementations et normes applicables :

Comment assurez-vous que les carburants que vous fournissez sont conformes aux normes internationales sur les émissions de soufre et autres polluants ?

Pouvez-vous expliquer les processus de certification et de vérification que vous utilisez pour garantir la qualité et la conformité de vos carburants ?

Comment assurez-vous que la production et l'utilisation du mélange e-méthanol – biodiesel respectent les réglementations environnementales et de sécurité actuelles ?

Quelles normes spécifiques ou protocoles suivez-vous pour minimiser les impacts environnementaux pendant la production et l'utilisation du mélange e-méthanol - biodiesel ?

Sécurité des opérations :

Pouvez-vous détailler les mesures de sécurité que vous avez mises en place pour prévenir les incidents pendant le transport, le stockage, et l'utilisation du mélange e-méthanol - biodiesel?

Comment gérez-vous les risques associés à la manipulation du mélange e-méthanol - biodiesel, notamment en cas de déversement ou de fuite ?

Soutien en matière de transition énergétique :

Quels types de carburants alternatifs ou plus écologiques proposez-vous pour aider les armateurs à réduire leur empreinte carbone ?

Avez-vous des programmes ou des partenariats en place pour promouvoir l'utilisation de carburants plus propres dans l'industrie maritime ?

Gestion des risques environnementaux :

Quels sont vos protocoles pour prévenir les déversements et autres incidents environnementaux lors du stockage et de la distribution de carburants ?

Comment gérez-vous les situations d'urgence en cas de déversement ou de contamination ?

Innovation et développement durable :

Quels efforts de recherche et développement menez-vous pour améliorer la durabilité de vos produits et services ?

Pouvez-vous nous parler de toute initiative ou projet récent visant à réduire l'impact environnemental de vos opérations ?

Conformité aux conventions internationales :

Comment vous assurez-vous que vos opérations respectent les conventions internationales telles que MARPOL ?

Quels mécanismes avez-vous mis en place pour suivre les évolutions réglementaires et adapter vos pratiques en conséquence ?

Recherches sur les mesures de mitigation :

Quels sont les projets de recherche ou d'innovation que vous menez actuellement pour améliorer la sécurité du mélange e-méthanol – biodiesel en tant que carburant alternatif ?

Existe-t-il des technologies ou pratiques spécifiques que vous recommandez pour minimiser les risques d'accidents ou d'incidents lors de l'utilisation du mélange e-méthanol - biodiesel dans l'industrie maritime ?

Quelles stratégies de mitigation avez-vous identifiées pour réduire les émissions liées à la production du mélange e-méthanol – biodiesel?

Avez-vous des données sur l'efficacité de ces stratégies dans des environnements similaires ?

Contribution des partenaires et parties prenantes :

Comment travaillez-vous avec des organismes comme Transport Canada et Environnement Canada pour garantir que le mélange e-méthanol – biodiesel respecte les exigences réglementaires ?

Avez-vous des partenariats en place pour développer ou adapter des mesures de mitigation spécifiques au contexte canadien ?

Comment intégrez-vous les retours des parties prenantes, notamment des régulateurs et des communautés locales, dans l'élaboration de vos mesures de mitigation pour le mélange e-méthanol - biodiesel?

Pouvez-vous partager des exemples où la collaboration avec des parties prenantes a conduit à une amélioration des pratiques de sécurité ou environnementales ?

Ces questions devraient nous permettre de mieux comprendre comment le producteur du carburant prévoit de gérer les risques et de se conformer aux régulations dans le cadre du mélange e-méthanol-biodiesel, tout en assurant la sécurité et la durabilité dans le Bloc B du projet GREENMET.

ANNEXE B SUPPORT AUX ENTREVUES AVEC L'ADMINISTRATION PORTUAIRE

Pour vous préparer, voici les questions qui vous seront posées lors de la rencontre, avec la possibilité d'aborder d'autres sujets.

Conformité et inspections :

Quels sont les principaux aspects que vous vérifiez lors des inspections des navires entrant dans le port ?

Comment collaborez-vous avec les armateurs pour garantir la conformité aux réglementations locales et internationales ?

Gestion des risques environnementaux :

Quelles mesures le port a-t-il mises en place pour prévenir et gérer les incidents de pollution ?

Comment travaillez-vous avec les navires et les fournisseurs de carburant pour minimiser les impacts environnementaux ?

Services et soutien aux navires :

Quels services proposez-vous pour soutenir les navires dans leur conformité aux réglementations environnementales et de sécurité ?

Comment facilitez-vous les opérations portuaires pour garantir la sécurité et l'efficacité ?

Projets de développement durable :

Pouvez-vous nous parler de vos initiatives récentes ou en cours pour améliorer la durabilité des opérations portuaires ?

Comment intégrez-vous les technologies vertes et les énergies renouvelables dans vos infrastructures et services ?

Coordination avec les partenaires :

Comment le port coordonne-t-il avec les sociétés de classification, les fournisseurs de carburant et les armateurs pour garantir une approche harmonisée de la sécurité et de la conformité ?

Quelles sont vos attentes en termes de collaboration avec les différents partenaires du projet pour améliorer la sécurité et la durabilité des opérations ?

Préparation aux situations d'urgence :

Quelles sont vos procédures pour gérer les situations d'urgence maritimes et environnementales ?

Comment assurez-vous la formation et la préparation continue de votre personnel et des parties prenantes pour répondre efficacement aux urgences ?

Ces questions visent à obtenir des informations détaillées sur les pratiques actuelles, les défis, et les stratégies de chaque partenaire pour assurer la conformité avec les différentes réglementations, lois, conventions, et codes maritimes. Elles permettent également de mieux comprendre comment la partie prenante peut soutenir et contribuer à l'amélioration continue de la sécurité et de la performance environnementale des opérations maritimes.

ANNEXE C SUPPORT AUX ENTREVUES AVEC L'ARMATEUR/EXPLOITANT DU NAVIRE

Conformité au Code ISM (Code international de gestion de la sécurité) :

Quelle est votre stratégie pour assurer la conformité continue avec le Code ISM ?

Pouvez-vous partager des exemples de pratiques de gestion de la sécurité mises en place sur vos navires ?

Mise en œuvre du SMS (système de gestion de la sécurité) :

Quels sont les principaux défis que vous avez rencontrés lors de la mise en œuvre de votre système de gestion de la sécurité (SMS) ?

Comment évaluez-vous l'efficacité de votre SMS et quelles mesures prenez-vous pour l'améliorer continuellement ?

Préparation aux situations d'urgence :

Pouvez-vous détailler les types d'exercices d'urgence que vous réalisez régulièrement ?

Comment assurez-vous la formation continue de votre personnel en matière de gestion des urgences ?

Environnement et prévention de la pollution :

Quelles mesures spécifiques avez-vous mises en place pour minimiser les risques de pollution marine ?

Comment surveillez-vous et gérez-vous les émissions de vos navires pour vous conformer aux réglementations environnementales ?

Inspections et audits :

Comment vous préparez-vous aux inspections des autorités portuaires et aux audits externes ?

Pouvez-vous partager des exemples de non-conformités identifiées lors des audits et comment elles ont été corrigées ?

Ces observations montrent l'importance d'une approche intégrée et rigoureuse pour l'adoption de nouveaux carburants, en tenant compte des exigences en termes de certification, d'infrastructure, et de coûts, tout en préservant la sécurité et la traçabilité dans les opérations maritimes du projet GREENMET.