

HEC MONTRÉAL

Obstacles aux stratégies de décarbonation dans l'industrie du transport routier de
marchandises de longue distance au Québec
par
Josianne Lafontaine

Pierre-Olivier Pineau
HEC Montréal
Directeur de recherche

Jacques Roy
HEC Montréal
Codirecteur de recherche

Sciences de la gestion
(Spécialisation gestion des opérations)

Mémoire présenté en vue de l'obtention
du grade de maîtrise ès sciences en gestion
(M. Sc.)

Décembre 2023
© Josianne Lafontaine, 2023

Résumé

Le transport routier longue distance, comme les autres secteurs économiques, doit réduire ses émissions de gaz à effet de serre (GES), notamment par l'adoption de nouvelles technologies sobres en carbone ou zéro émission (ZÉ). Cette adoption ne se fait cependant pas encore à un rythme rapide. L'objectif principal de ce mémoire est donc de comprendre quels sont les obstacles et les incitatifs à l'adoption de diverses technologies qui favorisent la décarbonation des camions lourds pour les transporteurs au Québec.

La création d'une revue de littérature systématique nous a permis de découvrir que les avantages économiques et obstacles techniques à l'adoption des véhicules lourds électriques sont davantage représentés dans la littérature que les autres types d'enjeux. Nous nous sommes inspirés de cette même revue de littérature pour classer nos données recueillies via une série d'entrevues réalisées auprès de transporteurs pour compte d'autrui et pour compte propre qui font du transport de marchandises par camion sur de longues distances.

On constate que la majorité des enjeux sont interreliés. Il est donc difficile d'étudier en silo les obstacles et les avantages des camions lourds ZÉ ou faibles émissions. On peut toutefois avancer que les obstacles de nature technique sont particulièrement préoccupants pour nos répondants, plus précisément tous ceux qui touchent au ravitaillement et à la recharge.

Mots clés : Électrification des transports, camion zéro émission, camion à faibles émissions, transport de marchandises, transport routier lourd.

Méthodes de recherche : Méthode de recherche qualitative, revue de littérature systématique et entrevue.

Table des matières

Résumé.....	iii
Table des matières.....	iv
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	vii
Remerciements.....	viii
Introduction.....	1
Chapitre 1 La revue de littérature.....	5
1. Méthodologie de la revue de littérature systématique.....	5
1.1 Recherche d'articles dans ABI/INFORM Collection (ProQuest).....	6
1.2 Recherche d'articles dans Google Scholar.....	9
1.3 Recherche d'articles dans Web of Science	9
1.4 Sélection des articles	10
2. Résultat de la revue de littérature.....	11
2.1 Obstacles techniques	13
2.2 Avantages économiques.....	18
2.3 Obstacles économiques	21
3. Conclusion	23
Chapitre 2 Méthodologie de recherche	26
1. Définition des concepts importants.....	26
2. Étapes de réalisation du projet de recherche	27
2.1 Préparation aux entrevues	27
3. Conclusion de la présentation de la méthodologie utilisée pour les entrevues	32
Chapitre 3 Présentation des résultats et discussion.....	33

1. Portrait des transporteurs	33
2. Portrait des services de transport et de la marchandise transportée	34
3. Portrait des répondants travaillant pour des transporteurs pour compte d'autrui et compte propre.....	37
4. Portrait des initiatives de réduction de GES de la flotte des transporteurs pour compte d'autrui et compte propre	37
5. Portrait des initiatives visant l'adoption de camion zéro émission.....	39
6. Avantages et obstacles à l'adoption des camions ZÉ et à faibles émissions selon les transporteurs.....	41
7. Thèmes récurrents ressortis dans les entrevues	42
7.1 Ravitaillement et la recharge.....	43
7.2 Autonomie.....	46
7.3 Entretien et maintenance	48
7.4 Main-d'œuvre et sécurité	48
7.5 Capacité et puissance électrique.....	49
7.6 Coût du camion	50
7.7 Subvention et aide à la disposition des transporteurs.....	51
7.8 Batterie	52
8. Conclusion	53
Chapitre 4 Limites et conclusion.....	56
1. Limites du projet de recherche	56
2. Conclusion et contribution	57
2.2 Implications pour les gouvernements.....	58
2.3 Avenues de recherche possible	60
Bibliographie.....	i
Annexes.....	vi

1. Annexe 1. Caractéristiques des technologies (Roberts et al. 2023, p.7)	vi
2. Annexe 2. Nombre de publications issues de la sélection d'articles scientifiques ayant fait mention des sous-avantages et des sous-obstacles	vii
3. Annexe 3. Guide d'entrevue - transporteurs pour compte d'autrui	ix
4. Annexe 4. Guide d'entrevue - transporteurs pour compte propre.....	xi
5. Annexe 5. Formulaire de consentement utilisé pour les entrevues.....	xiii

Liste des figures

Figure 1. Diagramme du flux PRISMA de l'identification des articles	6
Figure 2. Classification des obstacles de Wu <i>et al.</i> (2021)	12
Figure 3. Adaptation de la figure de Wu <i>et al.</i> (2021)	13
Figure 4. Proportion des types d'enjeux mentionnés par les transporteurs.....	41

Liste des tableaux

Tableau 1. Coût de l'hydrogène selon différentes sources de production (Hosseini et Wahid, 2016).....	22
Tableau 2. Résumé des avantages/obstacles et sous-avantages/sous-obstacles	24
Tableau 3. Définitions de termes en transport.....	27
Tableau 4. Liste des 25 transporteurs pour compte d'autrui ayant la plus grosse flotte de camions au Québec selon le magazine Transport Routier (Transport Routier, 2022)	28
Tableau 5. Extrait du tableau synthèse des réponses à une entrevue	30
Tableau 6. Éléments de réponses à la question sur les enjeux à l'adoption des camions lourds alternatifs au diesel.....	31
Tableau 7. Composition de la flotte des entreprises de service de transport	34
Tableau 8. Portrait des entreprises de service de transport	35
Tableau 9. Titre actuel des répondants.....	37
Tableau 10. Initiatives de réduction des émissions de GES.....	38
Tableau 11. Flotte de camions classe 8 zéro ou faible émission des répondants	40
Tableau 12. Thèmes les plus souvent mentionnés par les transporteurs.....	42

Remerciements

Je tiens à remercier mon directeur M. Pierre-Olivier Pineau et mon codirecteur M. Jacques Roy pour leur disponibilité, leurs conseils et leur aide, qui m'ont permis de produire ce mémoire.

J'aimerais aussi adresser un remerciement spécial à mon copain Vincent Leroux et mes parents, Jean-Louis et Lynda, pour leur encouragement et leur appui dans les moments d'adversité qui ont parsemé mon parcours scolaire.

Finalement, j'aimerais remercier toute l'équipe d'InnovÉÉ pour leur soutien et leur flexibilité, qui m'ont permis de concilier travail et étude.

Introduction

Face aux conséquences des changements climatiques sur l'environnement, la santé humaine et l'économie, le gouvernement du Canada s'est engagé en 2021 à réduire ses émissions de gaz à effet de serre (GES) de 40 à 45 % d'ici 2030 sous le niveau de 2005 (Environnement et changement climatique Canada, 2022). Considérant que le transport est le deuxième secteur le plus émetteur de GES après le domaine de l'exploitation pétrolière et gazière, et que les émissions sont en croissance, sa contribution est des plus préoccupante. Tant le transport des personnes que le transport lourd de marchandises sont d'importantes sources d'émissions de GES au Canada. Ce mémoire se concentre toutefois sur la décarbonation du transport de marchandises puisque ce secteur connaît une croissance des émissions plus forte que celle du transport de personnes. En effet, de 1990 à 2021, on observe une croissance des émissions de GES d'environ 61 % dans le secteur du transport de marchandises, alors que pour la même période, elles n'ont augmenté que d'environ 7,5 % dans le secteur du transport de personnes. Entre 1990 et 2021, les émissions totales canadiennes quant à elles ont crû de 13 % (Environnement et Changement climatique Canada, 2023).

En 2021, le secteur du transport des marchandises participait à environ 7 % des émissions nationales, ce qui équivaut à 50 mégatonnes en dioxyde de carbone (Mt eqCO_2) par rapport à un total de 670 Mt eqCO_2 (Environnement et Changement climatique Canada, 2023).

Au Québec, de 1990 à 2021, on observait une augmentation des émissions de GES d'environ 46 % dans le secteur du transport de marchandises (Environnement et Changement climatique Canada, 2023).

L'importante participation du transport de marchandises aux émissions de GES démontre ainsi le besoin d'étudier la décarbonation dans ce secteur, d'autant plus que c'est un domaine moins documenté que le transport de personnes. Une approche à

cette problématique de plus en plus populaire est l'approche RTA, soit Réduction-Transfert-Amélioration. C'est une démarche en transport durable dont l'objectif est de promouvoir des solutions alternatives en mobilité durable afin de réduire les émissions de GES, la consommation énergétique et d'améliorer la fluidité des transports afin de créer des milieux de vie conviviaux (Bongardt *et al.*, s.d.). Les stratégies de réduction, de transfert et d'amélioration sont importantes dans l'atteinte d'objectifs de réduction des GES dans le secteur du transport. Ce mémoire se concentre toutefois sur le volet amélioration, qui est basé sur des stratégies d'amélioration de l'efficacité énergétique des modes de transport, dont l'adoption de nouvelles technologies sobres en carbone ou zéro émission (ZÉ), soit le sujet de ce mémoire (Bongardt *et al.*, s.d.).

L'adoption de ces technologies zéro ou faible émission est aussi un moyen pour les membres de l'industrie du transport de s'adapter aux nouvelles réglementations de l'Agence de protection de l'environnement américaine (EPA) concernant les émissions des véhicules lourds. En effet, à partir de 2027, les camions lourds devront être conçus de sorte à émettre 35 milligrammes (mg) d'émissions d'oxyde d'azote (NOx) lorsqu'ils fonctionnent normalement, 50 mg quand le moteur fonctionne sous faible charge et 10 000 mg lorsqu'il est au ralenti. Pour le moment, un camion lourd peut émettre 200 mg d'émissions de NOx lorsqu'il fonctionne sous condition régulière (EPA, 2023). Les transporteurs de marchandises devront donc s'équiper sous peu de camions lourds produisant environ 82 % moins de NOx.

L'adoption des technologies zéro émission a fait l'objet d'une attention marquée de la part des chercheurs ces dernières années. Les recherches antérieures se sont particulièrement concentrées sur l'électrification des véhicules (ex : Noel *et al.*, 2020; Samsun *et al.*, 2022; Yip *et al.*, 2019). Toutefois, peu d'auteurs s'intéressent à la décarbonation du transport de marchandises par camion dans sa globalité, c'est-à-dire que peu d'études incluent à la fois l'étude de l'électrification, de l'hydrogène et des biocarburants dans un seul document. Ce mémoire se distingue donc par le fait qu'il inclut dans son sujet d'étude une grande diversité de technologies et sous-technologies zéro ou faible émission dans le transport routier longue distance.

De plus, peu d'articles font de l'étude des avantages et obstacles à l'adoption de ces technologies le sujet principal de leur recherche. On peut toutefois citer quelques exemples comme le texte de Noel *et al.* (2020), qui ont réalisé une étude qui permet de caractériser les obstacles à l'adoption de la voiture électrique dans les pays nordiques, ou au texte de Wu *et al.* (2021), qui se concentre plutôt sur les obstacles à l'adoption des véhicules à pile combustible à l'hydrogène en Chine. Ces exemples ne portent cependant pas sur le transport de marchandises, ce qui souligne l'importance de contribuer à comprendre les obstacles dans ce secteur.

Afin de contribuer à un pan de la recherche qui gagne à être davantage étudié, l'objectif principal de ce mémoire est de comprendre quels sont les obstacles et les incitatifs à l'adoption de diverses technologies qui favorisent la décarbonation des camions lourds pour les transporteurs au Québec à partir de la question de recherche suivante :

Quels sont les principaux avantages et obstacles à l'adoption des technologies zéro émission pour le transport routier de marchandises longue distance au Québec ?

Pour répondre à notre question de recherche, une revue de littérature systématique permettant la création d'une catégorisation des avantages et des obstacles relatifs à l'adoption de plusieurs technologies dans le secteur du transport de marchandises par camion classe 8 est tout d'abord réalisée. Cette revue de littérature a alimenté des entrevues aussi réalisées pour répondre à la question de recherche. Des données ont été récoltées à partir d'entrevues réalisées auprès de transporteurs québécois, puis analysées à l'aide de la classification issue de la revue de littérature qualitative. Ainsi, un portrait des facteurs qui favorisent ou entravent l'adoption des technologies zéro émission par les transporteurs au Québec est dépeint dans la section « Présentation des résultats et discussion ».

Le reste de ce document est structuré comme suit : le chapitre un présente la méthodologie de la revue de littérature en prenant soin de présenter la recherche d'articles, la stratégie de recherche et la sélection des articles ainsi que la revue de littérature elle-même. On retrouve donc à ce chapitre les résultats de la revue de

littérature, soit les principaux avantages et obstacles à l'adoption de technologies alternatives au moteur à combustion ressortis durant notre recherche. Le chapitre deux décrit les concepts importants, la méthodologie des entrevues, dont les étapes de leur réalisation. Les résultats sont présentés et discutés au chapitre trois. Le mémoire se termine par un dernier chapitre, le chapitre quatre, dédié aux limites de ce travail et à une conclusion.

Chapitre 1

La revue de littérature

1. Méthodologie de la revue de littérature systématique

L'objectif principal de cette revue de littérature est de développer une catégorisation complète des facteurs qui favorisent ou entravent l'adoption des technologies zéro émission dans le secteur du transport routier à partir de la question de recherche suivante : *Quels sont les principaux avantages et obstacles à l'adoption des technologies zéro émission pour le transport routier de marchandises de longue distance ?*

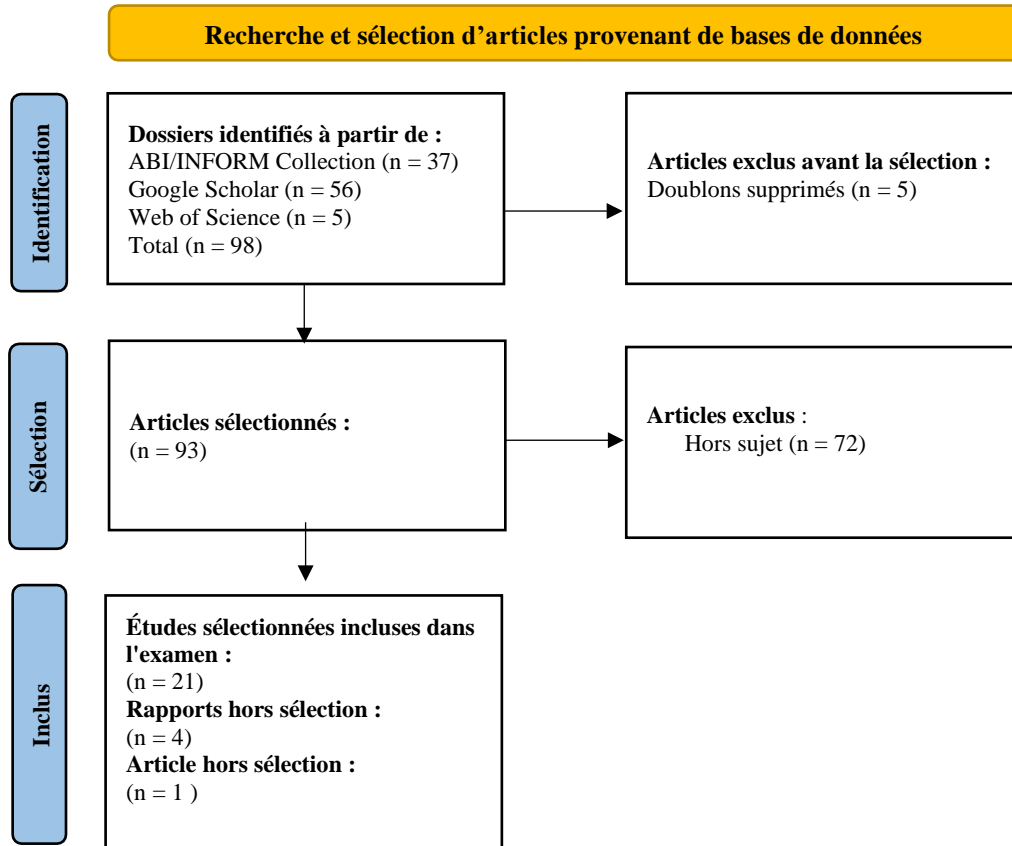
Pour répondre à cette question, une revue de littérature de type systématique est élaborée. Cette dernière permet de faire l'évaluation des écrits scientifiques existants qui portent sur le sujet étudié pour en identifier les lacunes afin de les combler et ainsi participer au développement de la connaissance (Tranfield, Denyer et Smart, 2003). La structure de cette revue se base sur la méthode Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) présentée à travers les écrits de Page *et al.* (2021). Cette méthode fait figure de référence dans la rédaction de revue de littérature systématique et permet de structurer, documenter et schématiser (voir figure 1) rigoureusement le processus de recherche et de sélection des articles scientifiques utilisés pour l'analyse systématique finale. De plus, l'utilisation de cette méthode est pertinente pour l'étude de notre sujet puisqu'elle a déjà été utilisée pour la rédaction de revue de littérature systématique sur la décarbonation par Ghisolfi *et al.* (2022) et Bhardwaj et Mostofi (2022).

La présente revue contribue à la littérature de façon importante en créant une catégorisation générale des avantages et des obstacles à l'adoption des technologies alternatives au diesel à un ensemble de technologies qui va au-delà des obstacles économiques et techniques.

La méthode de revue de littérature systématique peut être divisée en quatre étapes, telle que présentée dans le diagramme de flux de la méthode PRISMA (voir figure 1) (Page *et al.*, 2021). Ces étapes sont (1) la recherche d'articles, (2) la sélection des articles qui sont

utilisés dans la revue de littérature, (3) l'évaluation des articles et (4) dernièrement l'analyse du contenu des articles.

Figure 1. Diagramme du flux PRISMA de l'identification des articles



1.1 Recherche d'articles dans ABI/INFORM Collection (ProQuest)

La recherche d'articles est l'étape où l'on définit ce que l'on inclut ou pas dans la recherche à l'aide de critères d'inclusion et d'exclusion. Cette étape permet de s'assurer de la pertinence et de la crédibilité des articles trouvés (El Hilali et Azougagh, 2021; Seuringet Gold, 2012).

Le premier critère soumis est l'année de publication. Afin de sélectionner des articles dont les données sont représentatives de l'évolution des technologies abordées dans ce mémoire, les critères concernant l'année de publication visent à récolter des articles assez

récents. Ainsi, les articles publiés à partir de 2019 jusqu'à 2022, soit l'année de rédaction de la revue de littérature, ont été sélectionnés. Les bases de données utilisées à partir de la plateforme ProQuest sont ABI/INFORM Collection et ABI/INFORM Global. Les écrits sélectionnés sont majoritairement en anglais. Les critères de langue qui ont été appliqués englobaient toutefois l'anglais et le français. Dans ce cas-ci, les publications sous forme d'articles issus de publications académiques et revus par les pairs ont été préférées.

La stratégie de recherche a été basée sur l'utilisation des expressions anglophones suivantes : « freight », « long haul trucking », « trucks », « long haul », « freight transport », « decarbonization », « hybrid vehicles », « natural gas vehicles », « electricvehicles », « fuel cell vehicles », « low emission vehicles ».

Trois types de recherches ont été effectuées à l'aide de ces mots clés, soit une recherche par synonyme, une recherche parmi toutes les options de recherche à l'exception du plein texte et une recherche par titre. Le nombre d'articles résultant de chaque recherche est indiqué, ainsi que les expressions utilisées. La combinaison finale de ces recherches a permis d'affiner la recherche afin de faire ressortir les articles qui répondent davantage à la question de recherche. Les articles résultant de cette recherche ont été utilisés aux étapes suivantes (sélection des articles et analyses des résultats).

Recherche no. 1 : par synonyme (98 résultats)

La première étant une recherche par synonyme à l'aide du Thesaurus. Toutes les expressions utilisées pour cette recherche sont présentées ci-dessous :

```
((MAINSUBJECT.EXACT("Freight") OR MAINSUBJECT.EXACT("Transportation")
OR MAINSUBJECT.EXACT("Trucks") OR MAINSUBJECT.EXACT("Trucking"))
AND (MAINSUBJECT.EXACT("Natural gas vehicles") OR
MAINSUBJECT.EXACT("Alternative energy") OR MAINSUBJECT.EXACT("Hybrid
vehicles") OR MAINSUBJECT.EXACT("Electric vehicles") OR
MAINSUBJECT.EXACT("Low emission vehicles"))) NOT (bdl(1007133) AND
at.exact("Article") NOT la.exact("POR") AND yr(2019-2022) AND PEER(yes))
```

Le terme « decarbonization » n'a pas été inclus dans cette recherche puisqu'il n'était pas proposé par le Thesaurus de ABI/INFORM Collection.

Recherche no. 2 : par titre (230 résultats)

Les termes synonymes aux technologies zéro émission ont été préférés pour la recherche par titre. Ainsi, les expressions suivantes ont été utilisées pour cette recherche :

```
ti(("Electric vehicles") OR ("Natural gas vehicles") OR ("Hybrid vehicles") OR ("Low emission vehicles") OR ("Fuel cell vehicles")) NOT (bdl(1007133) AND at.exact("Article") AND stype.exact("Scholarly Journals") AND la.exact("ENG") AND yr(2019-2022) AND PEER(yes))
```

Recherche no.3 : parmi toutes les options de recherche à l'exception du plein texte (32 résultats)

Les termes utilisés pour la recherche parmi toutes les options de recherche à l'exception du plein texte sont similaires à ceux utilisés lors de la recherche par synonyme à l'exception qu'ici l'expression « freight transport » fut utilisée et non seulement « freight ».

```
noft(("long haul trucking") OR ("Trucks") OR ("Trucking") OR ("long haul") OR ("freight transport")) AND noft(("Electric vehicles") OR ("Natural gas vehicles") OR ("Hybrid vehicles") OR ("Low emission vehicles") OR ("Fuel cell vehicles")) AND at.exact("Article") AND stype.exact("Scholarly Journals") AND yr(2019-2022) AND PEER(yes)
```

Combinaison des recherches (37 résultats)

La combinaison des recherches no 1, 2 et 3 peut être synthétisée ainsi : (Recherche no1 OR Recherche no2) AND Recherche no.3. L'expression exacte utilisée est:

```
((noft(("long haul trucking") OR ("Trucks") OR ("Trucking") OR ("long haul") OR ("freight transport")) AND noft(("Electric vehicles") OR ("Natural gas vehicles") OR ("Hybrid vehicles") OR ("Low emission vehicles") OR ("Fuel cell vehicles")) AND
```

at.exact("Article") AND stype.exact("Scholarly Journals") AND yr(2019-2022) AND PEER(yes)) OR (ti(("Electric vehicles") OR ("Natural gas vehicles") OR ("Hybrid vehicles") OR ("Low emission vehicles") OR ("Fuel cell vehicles"))) NOT (bdl(1007133) AND at.exact("Article") AND stype.exact("Scholarly Journals") AND la.exact("ENG") AND yr(2019-2022) AND PEER(yes)))) AND (((MAINSUBJECT.EXACT("Freight") OR MAINSUBJECT.EXACT("Transportation") OR MAINSUBJECT.EXACT("Trucks") OR MAINSUBJECT.EXACT("Trucking")) AND (MAINSUBJECT.EXACT("Natural gas vehicles") OR MAINSUBJECT.EXACT("Alternative energy") OR MAINSUBJECT.EXACT("Hybrid vehicles") OR MAINSUBJECT.EXACT("Electric vehicles") OR MAINSUBJECT.EXACT("Low emission vehicles")))) NOT (bdl(1007133) AND at.exact("Article") NOT la.exact("POR") AND yr(2019-2022) AND PEER(yes)))

1.2 Recherche d'articles dans Google Scholar

Comme pour la recherche dans ABI/Inform, l'année de publication a été limitée de 2019 à 2022. De plus, seules les publications de types articles ont été sélectionnées. Le critère de révision par les pairs n'a pas été sélectionné dans ce cas-ci puisqu'il n'était pas disponible.

Deux recherches par termes exacts ont été effectuées dans Google Scholar. Le but de la première recherche était de trouver les termes exacts « decarbonizing freight transport ». 35 publications répondaient à ces critères. Puis, les articles associés aux termes exacts « heavy truck » et « decarbonization » ont été cherchés. Le nombre d'articles répondant à ces critères était alors de 21. Un article faisant partie des 37 articles trouvés sur ABI/Inform est ressorti lors de la recherche sur Google Scholar. Ce dernier a donc été éliminé afin d'éviter les doublons.

1.3 Recherche d'articles dans Web of Science

La dernière base de données utilisée est Web of Science. Cette recherche a été effectuée afin de trouver des articles qui mettent l'accent sur les barrières et les obstacles à l'adoption des technologies alternatives au moteur à combustion. Une recherche par terme dans tous les champs a été effectuée en utilisant les expressions « obstacle », « barriers to implementation » et « sustainability », alors que les expressions « transport » et « truck »

ont été recherchées parmi les sujets. Les mêmes critères que ceux utilisés pour la recherche dans la base de données ABI/Inform ont été appliqués. L'expression de recherche suivante a été utilisée :

("obstacle") OR ("Barriers to implementation") OR ("sustainability") (All Fields) and transport (Topic) and truck (Topic) and Review Article (Document Types) and 2022 or 2021 or 2020 or 2019 (Publication Years)

Cinq publications en sont ressorties. Sur ces cinq articles, quatre avaient déjà été identifiés dans la recherche dans ABI/Inform, ce qui nous indiquait alors que le point de saturation dans la recherche d'articles était atteint.

1.4 Sélection des articles

La sélection des articles a débuté par le filtrage des articles. Cette étape permet d'éliminer les publications qui s'éloignent de la question de recherche en analysant le titre, les mots-clés et le résumé. Pagani, Kovalski et Resende (2015) recommandent ainsi d'impliquer le jugement du chercheur à cette phase, mais aussi à toutes les autres étapes. L'application du filtrage des articles a permis d'exclure 24 articles parmi les 37 articles répertoriés sur ABI/INFORM à partir de la recherche par combinaison, ce qui permet de créer une sélection de 13 publications. Sur Google Scholar, 46 des 55 articles sélectionnés ont été exclus, ce qui donne une sélection de neuf articles. Comme mentionné plus tôt, un seul article sur Web of Science a été sélectionné dû à la présence de doublons. Ainsi, on obtient une sélection finale comportant 21 articles. Les principaux facteurs d'exclusion étaient le fait que les articles ne touchaient pas la question du transport routier ou y abordaient des enjeux non pertinents pour la réalisation de cette revue de littérature. Au total, 72 articles ont été exclus pour cette raison.

Il est possible de faire un bref portrait des articles sélectionnés. En effet, la majorité des articles sélectionnés sont d'origine européenne (11 articles), dont six sont allemandes. Seulement six études sont nord-américaines, dont cinq proviennent des États-Unis. Un seul article provient du Canada, ce qui met en valeur le manque de représentation du Québec et du Canada dans l'étude du transport de marchandises par camion zéro émission. De plus, la phase du filtrage des articles nous a permis de constater que l'électrification

est davantage mise de l'avant dans la littérature. En effet, huit articles des 21 articles sélectionnés portaient uniquement sur la technologie des véhicules à batterie. Cette revue de littérature se concentre sur les camions à batterie, l'hydrogène et le biocarburant. Compte tenu de la diversité des biocarburants, l'attention est surtout portée vers le gaz naturel liquide (GNL) issu du gaz naturel renouvelable (GNR) puisque la forme liquide du gaz naturel est plus appropriée pour le transport lourd que la forme comprimée (Dahlgren, 2022). Pour terminer, les publications prennent davantage les véhicules de type automobiles comme sujet d'étude. Celles-ci représentaient 57 % des articles sélectionnés. Cette revue de littérature se concentre toutefois sur les camions lourds.

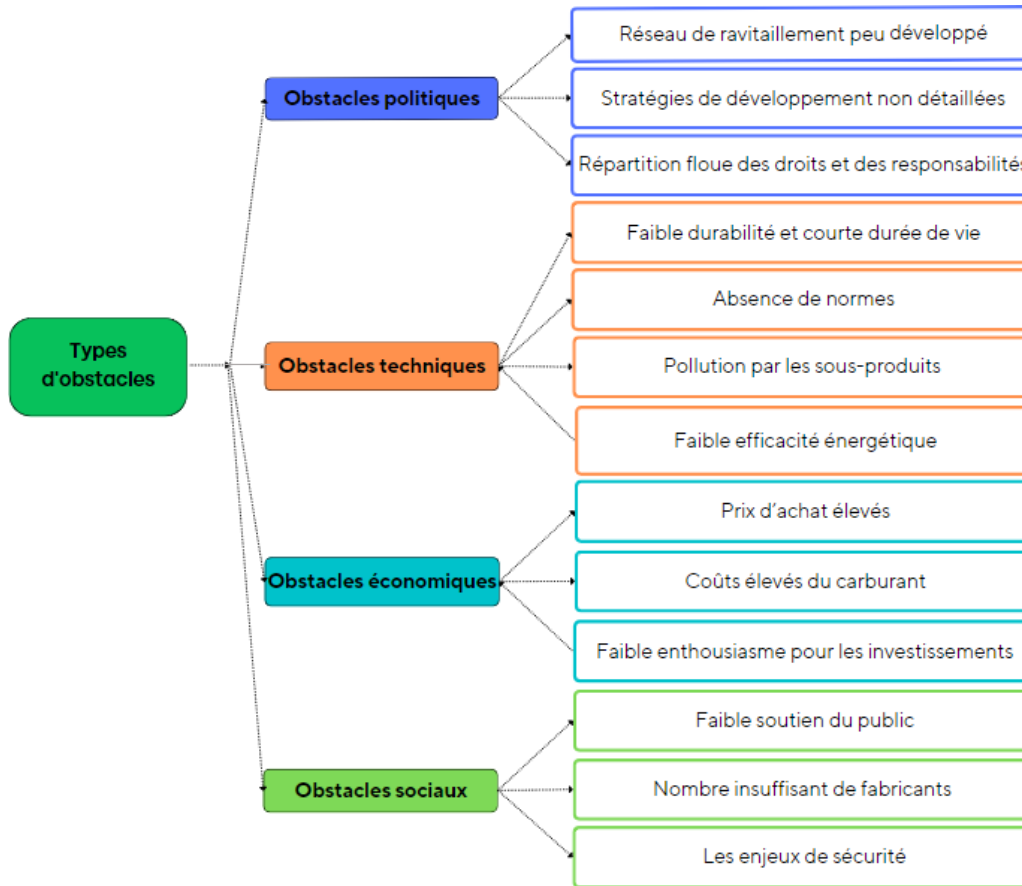
Au total, les informations de trois rapports ont été utilisées en addition aux articles sélectionnés. Les rapports de Hunter *et al.*, 2021, Pineau et Whitmore (2022) et Sharpe (2019) ont été utilisés afin de citer leurs données chiffrées et appuyer les propos issus des articles présentés plus tôt. Ces rapports sont tous issus d'organismes et d'instituts de recherche crédibles dans le domaine de l'énergie. Un rapport produit par la firme Deloitte pour l'entreprise Shell fut utilisé pour les mêmes raisons. Ce dernier diffère des autres rapports par le fait qu'il n'a pas été produit par un organisme de recherche à but non lucratif.

Les informations d'un seul article scientifique hors sélection, c'est-à-dire qu'il n'a pas été retrouvé à l'aide de la méthodologie présentée plutôt, ont été utilisées. Cet article est celui de Hosseini et Wahid (2016), dont les données ont été utilisées afin de comprendre le lien entre méthode de production et coût de l'hydrogène.

2. Résultat de la revue de littérature

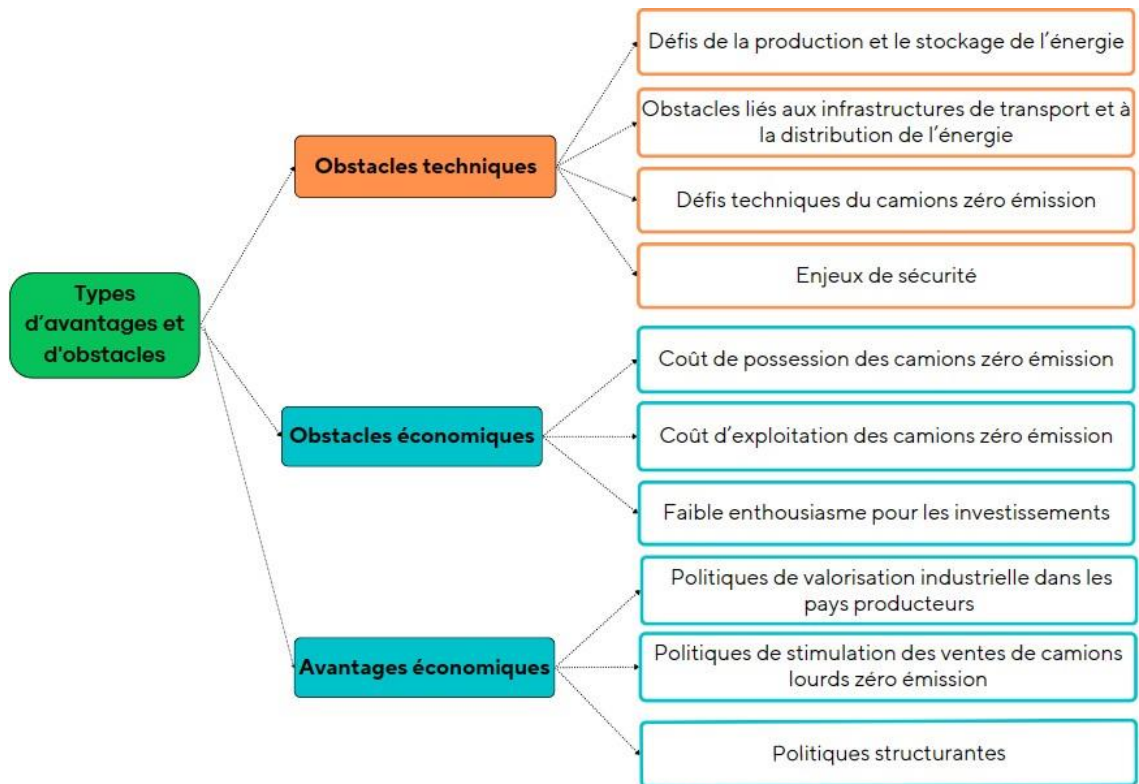
Cette section présente les principaux avantages et obstacles à l'adoption des technologies zéro ou faible émission dans le transport routier de marchandises qui sont ressorties lors de la lecture finale et de l'analyse systématique des articles sélectionnés. Seuls les avantages et incitatifs/obstacles, barrières, défis et problèmes explicitement énoncés par les auteurs ont été retenus afin d'éviter que notre subjectivité ne fausse les résultats. Les avantages et obstacles ont été catégorisés en s'inspirant de la classification de Wu *et al.* (2021).

Figure 2. Classification des obstacles de Wu *et al.* (2021)



L'analyse des écrits nous a démontré que les types d'avantages sont majoritairement de nature économique, alors que les obstacles à l'adoption aux technologies alternatives au diesel dans le transport de marchandises par camion lourd sont plutôt de types techniques, économiques et sociaux. Les sous-obstacles et sous-avantages se distinguent de ceux trouvés par Wu *et al.* (2021) afin de mieux représenter la diversité des sujets abordés au sein des différentes publications analysées. De plus, l'obstacle des enjeux de sécurité a plutôt été considéré comme un enjeu technique, alors que ceux politiques sont maintenant classifiés comme économiques, tel que présenté à la figure 3. Tous les sous-obstacles relatifs aux enjeux de ravitaillement sont classifiés comme des obstacles techniques, contrairement à Wu *et al.* (2021) qui les considèrent comme politiques.

Figure 3. Adaptation de la figure de Wu *et al.*, 2021



Avant d’entamer une description plus approfondie des enjeux relevés dans la littérature, il est possible de consulter en annexe 1 une présentation des différentes technologies considérées pour la réalisation de la revue de littérature, mais aussi pour l’ensemble du projet de recherche.

2.1 Obstacles techniques

Cette section porte sur les défis techniques relatifs à la production, au stockage, au transport, et à la distribution des carburants alternatifs. Les obstacles techniques relatifs aux camions et leur groupe motopropulseur, ainsi que les enjeux de sécurité seront par la suite présentés.

2.1.1 Défis de la production et du stockage de l’énergie

La capacité à répondre à la demande quotidienne de la production d’énergie renouvelable est un obstacle de taille. Les technologies dépendantes d’une électrification directe, comme le camion électrique, sont particulièrement touchées par cet aspect. Selon Kapustin et Grushevenko (2020), si les véhicules électriques atteignent 11 à 28 % de

La part de la flotte mondiale d'ici 2040, cela pourrait entraîner une augmentation de la consommation d'électricité de 11 à 20 %. Une situation qui pourrait être particulièrement critique dans les pays qui offrent un fort soutien à l'adoption des véhicules zéro émission et à leur production (Kapustin et Grushevenko, 2020). Sachant que la demande en électricité est appelée à augmenter, répondre à la demande en électricité issue d'une énergie propre est d'autant plus préoccupant considérant la variabilité de la production de plusieurs énergies renouvelables, comme l'éolien et le solaire. En effet, à cause de leur caractère intermittent, il est difficile d'assurer un approvisionnement continu pour l'électrification directe des camions (Li et Kimura, 2021).

La production et l'approvisionnement des carburants pouvant être stockés, comme l'hydrogène et les biocarburants, détiennent eux aussi leur lot de défis. En effet, le biocarburant à faible ou zéro émission provient souvent de sources limitées. En 2017, on estimait que le potentiel mondial de production de biogaz issus de déchets pourrait couvrir seulement 3 % de l'utilisation de combustibles fossiles dans tous les secteurs confondus (Dahlgren, 2022). Quant à l'hydrogène, il est majoritairement produit à partir d'énergie fossile, puisqu'en 2016, l'hydrogène vert représentait seulement 4 % de la production mondiale d'hydrogène (Yip *et al.*, 2019). Ainsi, la production en grande quantité d'hydrogène et de biocarburant est difficile à atteindre, surtout lorsqu'il vient de source renouvelable (Dahlgren, 2022).

2.1.2 Obstacles liés aux infrastructures de transport et à la distribution de l'énergie

La décarbonation du transport de marchandises par camion demande des investissements dans les réseaux de transport et de distribution d'énergies propres, ce qui peut représenter d'importants défis pour les pays importateurs d'énergie (Kapustin et Grushevenko, 2020). Selon Wolff, Fries et Lienkamp (2020), les gouvernements devraient particulièrement investir dans le développement d'un réseau de distribution orienté vers l'offre de bornes de recharge rapides. En effet, le temps de recharge du camion électrique est un obstacle majeur. Pour l'instant, à l'aide d'une recharge standard, soit une borne de 50 kW, un camion est rechargé en huit heures pour obtenir 400 kWh d'énergie, soit 24 à 32 fois plus de temps qu'un camion lourd diesel (Kapustin et Grushevenko, 2020; Shell, 2021; Wolff, Fries et Lienkamp, 2020). La présence d'un réseau de recharge rapide est plutôt composée de bornes de 150 kW (Wolff, Fries et Lienkamp, 2020). Pour construire ce

réseau de distribution, il faut toutefois qu'il y ait une demande suffisante et une capacité de fournir l'énergie électrique sur demande, ce qui représente un obstacle additionnel selon Noel *et al.* (2020).

Les camions à l'hydrogène et au GNL ont eux aussi besoin d'avoir un réseau de distribution plus développé afin de soutenir leur adoption. L'avantage considérable du GNL et de l'hydrogène est qu'ils peuvent être utilisés dans des infrastructures semblables à celle du diesel. Il faut toutefois mentionner que l'hydrogène peut être produit sur place, à même la station de ravitaillement ou dans une usine (Lee, Elgowainy et Vijayagopal, 2019).

2.1.3 Défis techniques du camion lourd zéro émission

Le premier enjeu technique, celui de l'autonomie, est au cœur du transport longue distance de marchandise par camion lourd puisqu'un semi-remorque de 36 287 kg aux États-Unis parcourt environ entre 480 et 1 285 kilomètres par jour et en moyenne 161 000 kilomètres par an (Fleming *et al.*, 2021). Selon Kapustin et Grushevenko (2020), cet obstacle touche particulièrement les camions électriques de deux manières : (1) le poids des batteries réduit la capacité de charge utile, et (2) les recharges (possiblement plus fréquentes mais surtout plus longues que les pleins de carburant liquide ou gazeux) réduisent le temps disponible pour les livraisons. Certains camions, tel le semi de Tesla, proposent une autonomie de 800 km. Une telle autonomie impliquerait un groupe motopropulseur évalué à 4 900 kg pour une batterie de 1 100 kWh (Shell, 2021; Tesla, 2023).

Cet obstacle est absent ou moins présent chez les camions à l'hydrogène et au GNL. En effet, selon Winkler *et al.* (2022) les camions à l'hydrogène ont l'avantage de présenter une autonomie semblable à celle des camions diesel. Hunter *et al.* (2021) estiment qu'un camion de classe 8 de type tracteur semi-remorque détenant une pile combustible de 303 kW détient une autonomie d'environ 805 à 1 125 km. Le GNL, lui, offre une autonomie concurrentielle similaire au diesel pour le transport lourd, avec une autonomie de 1 693 km pour une légère perte de fret de 500 kg (Peters *et al.*, 2021). Selon Noel *et al.* (2020), le manque d'autonomie est particulièrement problématique par rapport à la géographie des zones nordiques, comme le Québec, où les zones habitées sont peu peuplées et étalées à travers un grand territoire. Un autre défi relatif aux zones nordiques

est l'impact du climat sur l'autonomie de la batterie. En effet, Sharpe (2019) indique une diminution de l'autonomie de la batterie en période de grand froid (-20 °C) de 25 % et qui pourrait être amenée à diminuer davantage à cause de l'énergie consommée par le chauffage des cabines et le dégivrage des vitres (Sharpe, 2019).

La faible efficacité de transformation énergétique, sur son cycle de vie, est un obstacle décrit dans la littérature qui touche particulièrement le camion lourd à pile à combustible à hydrogène (Wu *et al.*, 2021). En effet, la production d'hydrogène par électrolyse, qui est le mode de production le plus écologique, enregistre des pertes de 25 %, puis de 10 % lorsqu'il est comprimé, congelé et transporté vers une station d'hydrogène et finalement de 20 % lors du processus qui transforme l'énergie stockée dans les piles à combustion en électricité afin d'alimenter le groupe motopropulseur du véhicule. On enregistre donc une perte d'énergie d'environ 55 % (Peters *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2021). La faible efficacité énergétique est toutefois moins importante pour le camion à batterie, qui selon Peters *et al.* (2021), évalue l'efficacité de la batterie à 85 % et 95 % pour le moteur électrique.

Le système de stockage est lui aussi un élément important puisqu'il impacte l'autonomie du véhicule. C'est un des facteurs importants qui fait en sorte que le gaz naturel liquide est priorisé dans le secteur du transport de marchandises par camion lourd. En effet, le gaz naturel comprimé demande d'être stocké en grande quantité pour une autonomie limitée (Dahlgren, 2022). De plus, le système de stockage est le seul élément devant être modifié pour utiliser le GNL comme carburant dans les flottes de camions actuelles. En effet, celui-ci doit pouvoir être conservé à -162 °C (Wolff, Fries et Lienkamp, 2020).

Les défis techniques du camion zéro émission associés au cycle de vie, comme la durabilité et la pollution engendrée par les composantes du véhicule, sont également d'une grande importance. Wu *et al.* (2021) mentionnent que dans le cas du véhicule à l'hydrogène, la durabilité des piles pouvait être corrompue par la réaction de l'hydrogène avec le carbone. L'auteur ne donne toutefois pas de données chiffrées précises à ce sujet, mais mentionne

que cette réaction peut entraîner la formation de méthane et une dégradation de la pile combustible et des infrastructures (Wu *et al.*, 2021). Quant à la pollution induite par les composants du camion, on fait surtout référence à la pollution produite par les batteries (Inkinen et Hämäläinen, 2020). On détient toutefois peu d'information à ce sujet. En effet, Wolff, Fries et Lienkamp (2020) mentionnent qu'il est difficile de réellement étudier l'impact carbone des batteries de camion électrique puisqu'il n'y a pas de consensus à ce sujet. En effet, selon leurs études, les émissions de carbone vont de 74 à 296 kgCO₂/kWh (Wolff, Fries et Lienkamp, 2020). Pour l'hydrogène, Wu *et al.* (2021) parlent plutôt de la pollution engendrée par l'utilisation de platine comme catalyseur dans les piles à combustion à l'hydrogène.

Wu *et al.* (2021) associent de manière générale les obstacles techniques à l'absence de normes autour du véhicule, de ses composants et de ses infrastructures. La présence de spécifications de production et de conception pourrait permettre de réduire le nombre de défauts de fabrication, améliorer l'efficacité de la production et réduire le gaspillage de ressources (Wu *et al.*, 2021).

2.1.4 Enjeux de sécurité

En général, le poids des véhicules zéro émission, en particulier ceux des véhicules électriques, est plus important que celui des véhicules diesel. En cas de collision impliquant un véhicule ZÉ et un véhicule diesel, les répercussions pourraient être aggravées pour le véhicule diesel. Selon Harvey (2020), en 2015, un camion léger zéro émission était 44 % plus lourd qu'un camion léger conventionnel. Ce sont toutefois les dangers relatifs aux carburants qui sont davantage décrits dans la littérature. Comme pour la production, le transport, la distribution et l'usage d'hydrocarbure, la manipulation et l'usage de carburants alternatifs peuvent représenter certains dangers. La plupart des consommateurs sont sceptiques quant à la sécurité des véhicules à pile à combustible puisque l'hydrogène est inflammable et explosif et peut engendrer des risques d'incendies et d'explosion au cours de sa production, son stockage, son transport, le remplissage et l'utilisation du véhicule à l'hydrogène (Wu *et al.*, 2021). Pour le GNL, ce sont les glissements de méthane lors du ravitaillement qui inquiètent les consommateurs (Wolff, Fries et Lienkamp, 2020).

2.2 Avantages économiques

La signature du protocole de Kyoto en 1997 a permis d'aborder pour une première fois la réduction des émissions de carbone dans le secteur du transport en politique internationale. Depuis ce temps, plusieurs organisations se sont lancées dans des campagnes de politiques structurantes, de stimulation des ventes de camions zéro émission et de valorisation de l'industrie des technologies de décarbonation du transport routier lourd. La présence de ces politiques a été décrite par plusieurs auteurs comme un incitatif à l'adoption des technologies zéro émission. Ainsi, ces politiques seront présentées plus en détail dans cette section.

2.2.1 Politiques structurantes

La présence de lois qui promeut le remplacement des moteurs à combustion est une forme de signal politique capable de structurer le marché grâce à l'établissement d'objectifs de développement, de planifications efficaces et la mise en place de réglementations (Meckling et Nahm, 2019; Wu *et al.*, 2021). Les règlements de l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) sur les émissions des véhicules, établis en 2012, sont un bon exemple de règlement structurant qui a eu un impact important sur l'industrie du camionnage en Amérique du Nord et particulièrement sur les manufacturiers de camions lourds. Ces politiques établissent un taux d'émission par kilomètre à ne pas dépasser pour les véhicules et vont donc influencer la conception des camions lourds et de leur groupe motopropulseur (Linn et McConnell, 2019). Selon Fleming *et al.* (2021), adapter cette réglementation afin de répondre aux enjeux de la transition énergétique pourrait ainsi favoriser l'adoption des véhicules zéro émission. Dans le même sens, Fritz, Plötz et Funke (2019) ont démontré l'impact des normes restrictives sur les émissions de CO₂ issues du transport dans l'adoption des véhicules électriques. En effet, selon les auteurs, l'adoption d'une réglementation plus stricte, soit la mise en place d'un maximum d'émission de 59,4 grammes de dioxyde de carbone (CO₂) par kilomètre d'ici 2030 pour les véhicules, permettrait d'augmenter la part de ventes des véhicules électriques de 27 %, si on remplace les véhicules fonctionnant aux hydrocarbures par des véhicules à batterie, à 41% si on les remplace par des véhicules hybrides (Fritz, Plötz et Funke, 2019).

Au-delà de la réduction des émissions de CO₂, ces règlements structurants devraient aussi couvrir certains aspects légaux comme la nécessité d'établir les droits et responsabilités de chaque acteur impliqué dans la chaîne industrielle des technologies zéro émission, d'encadrer les mécanismes sur la formulation des prix de l'énergie à la pompe et d'établir les mécanismes d'obtention de subventions. Selon Fleming *et al.* (2021), les normes et réglementation doivent toutefois être accompagnées de politiques économiques qui seront présentées dans les sections suivantes.

2.2.2 Politiques de stimulation des ventes de camions lourds zéro émission

Selon Yip *et al.* (2019) les lois qui visent l'augmentation des parts de ventes des véhicules zéro émission favorisent par le fait même l'adoption des technologies alternatives. Selon Meckling et Nahm (2019), ces lois touchent particulièrement les pays importateurs qui les appliquent pour des raisons environnementales, comme la réduction des émissions de GES. On constate toutefois que certains pays producteurs, comme le Japon, qui est un important producteur d'équipement de véhicule à l'hydrogène, misent eux aussi sur les politiques de subventions à l'achat de ce type de véhicules (Samsun *et al.*, 2022).

Ces politiques prennent souvent la forme d'aide financière à l'adoption des technologies alternatives comme les crédits d'impôt, les subventions à l'achat d'un camion neuf, l'aide financière au remplacement de la flotte actuelle, les incitatifs à l'acquisition d'infrastructures de recharge et les tarifs préférentiels sur le prix de l'électricité. Ces mesures sont mises en place afin d'atteindre une parité avec les coûts de possession et d'exploitation des véhicules fonctionnant aux énergies fossiles et ainsi stimuler les ventes (Fleming *et al.*, 2021; Kapustin et Grushevenko, 2020; Samsun *et al.*, 2022).

Or un point important soulevé par Li et Kimura (2021) et Kapustin et Grushevenko (2020) est la prise en compte de la maturité de la technologie dans l'obtention de la subvention. Pour Li et Kimura (2021), l'impact de politiques économiques incitatives comme les réductions de taxes, les subventions et autres incitations, de même que les politiques dissuasives, est essentiel afin d'augmenter la compétitivité de la technologie visée lorsque celle-ci est à son stade d'adoption précoce. L'aide financière permet plus particulièrement de combler l'écart des coûts que le progrès technologique ne permet pas d'atteindre

actuellement (Li et Kimura, 2021). Pour les mêmes auteurs, le véhicule fonctionnant à l'hydrogène est une technologie peu mature, ce qui en fait un candidat idéal pour l'obtention d'aide financière (Li et Kimura, 2021). Tout comme le camion à l'hydrogène, le camion à batterie est lui aussi considéré comme une technologie ayant un niveau de maturité très faible. Inkinen et Hämäläinen (2020) vont jusqu'à parler de technologie « expérimentale ».

Ainsi, la subvention pourrait revêtir une allure temporaire et agir comme solution à court terme qui prend fin lorsque l'innovation technologique permet de faire descendre les prix (Kapustin et Grushevenko, 2020; Noel *et al.*, 2020). Kapustin et Grushevenko (2020) donnent l'exemple concret que le prix des batteries pour une voiture électrique pourrait diminuer de moitié d'ici 2030-2035 grâce à la recherche et au développement et pourrait devenir compétitif même dans un environnement où le prix du pétrole est bas. Ainsi, pour certains auteurs, la solution pour atteindre la parité des coûts de la technologie entre le diesel et son moteur à combustion et ces technologies alternatives n'est pas les subventions orientées vers l'achat, mais bien vers le développement technologique et la recherche. Ces auteurs remettent ainsi en question la pertinence des incitatifs qui prennent la forme de politiques de stimulation des ventes de camions lourds zéro émission.

2.2.3 Politiques de valorisation industrielle dans les pays producteurs

Dans le même sens, certains pays comme la Chine misent davantage sur des politiques de valorisation industrielle afin de surmonter les obstacles techniques et ainsi indirectement diminuer les coûts et stimuler les ventes (Lee, Elgowainy et Vijayagopal, 2019). On retrouve en particulier ce phénomène chez les pays producteurs et exportateurs de véhicules électriques ou qui aspirent à le devenir. Ces politiques visent alors à moderniser ou renouveler le paysage industriel du pays afin de rester compétitif (Meckling et Nahm, 2019). Selon Yip *et al.* (2019), la législation permet à ces industries, plus précisément aux fabricants de camions, de développer des véhicules à faibles ou zéro émission. En effet, ces lois permettent au gouvernement de communiquer leur objectif en matière de production aux industries afin qu'ils alignent leurs activités. Ce type de lois permet aussi de structurer le marché interne, d'assurer une place concurrentielle à l'industrie du transport durable et de stimuler l'innovation (Linn et McConnell, 2019; Meckling et

Nahm, 2019). Selon Linn et McConnell (2019), une aide de la part du gouvernement est impérative pour stimuler l'innovation à cause des défaillances du marché. En effet, sachant que le développement de l'innovation et de la recherche en entreprise peut mener à une diminution des coûts de production, les entreprises tendent à éviter de partager leurs connaissances, ce qui ralentit l'émergence de technologie innovante (Linn et McConnell, 2019).

2.3 Obstacles économiques

Cette section se concentre particulièrement sur les coûts de possession et d'exploitation des camions lourds zéro émission.

2.3.1 Coût de possession des camions zéro émission

Le coût du véhicule est l'obstacle le plus souvent ressorti au cours des 227 entretiens réalisés par Noel *et al.* (2020), puisque les camions zéro émission tendent à être plus chers (Harvey, 2020; Peters *et al.*, 2021). En effet, le coût en capital des véhicules électriques peut atteindre deux fois le prix d'un véhicule à moteur à combustion. En général, le groupe motopropulseur représente la plus grande part des coûts des camions zéro émission (Harvey, 2020; Li et Kimura, 2021; Wolff, Fries et Lienkamp, 2020). Par exemple, le système de pile à combustion à l'hydrogène représente environ 50 % des coûts du véhicule selon Wu *et al.* (2021), Kapustin et Grushevenko (2020) et Winkler *et al.* (2022).

2.3.2 Coûts d'exploitation des camions zéro émission

Le coût du camion comme obstacle peut être atténué lorsqu'il est étudié dans un contexte de coût total de possession (TCO, pour *Total Cost of Ownership*) puisque certains auteurs prévoient une baisse du coût d'entretien pour les camions zéro émission à cause de la diminution de pièces mobiles (Shell, 2021). Ce constat ne fait toutefois pas l'unanimité. Au contraire, Wu *et al.* (2021) prévoient des coûts d'entretien assez élevés pour les camions à pile à combustible à cause de la nature sophistiquée du groupe motopropulseur et du manque de services d'entretien et de personnel qualifié. De plus, dans le secteur automobile, le consommateur accorde une grande importance au coût en capital (Noel *et al.*, 2020). Il n'existe toutefois pas d'étude qui indique la présence du même phénomène

pour les camions lourds. Selon les informations présentées par Noel *et al.* (2020), ces obstacles seraient plutôt associés à un manque de connaissances de la part du consommateur.

En général, on constate que les énergies faibles ou exemptes en émissions sont plus chères à produire, ce qui impacte le coût final (Wu *et al.*, 2021). Les défis d’approvisionnement en électricité provenant de source renouvelable à faible coût sont toutefois moins présents au Québec, puisque l’électricité est largement décarbonée. En 2020, la production d’électricité québécoise totalisait 207 TWh, dont 94 % provenaient de source hydroélectrique, 5,2 % de source éolienne et 1 % de la biomasse, de l’énergie solaire et du diesel (Pineau et Whitmore, 2022). Le tarif pour l’alimentation d’une borne de recharge par Hydro-Québec (tarif expérimental BR) est pourtant de 11,475 ¢/kWh, ce qui est relativement peu élevé (Hydro-Québec).

Pour ce qui est de l’hydrogène, peu d’informations sont disponibles quant au prix de vente à la pompe au Québec. Les données de Hosseini et Wahid (2016) présentées au tableau 1 nous permettent toutefois de comprendre la variation des prix entre l’hydrogène produit à partir d’hydrocarbure et d’énergie verte. L’hydrogène issu d’énergie fossile comme le gaz naturel, le charbon et l’essence sans séquestration de CO₂ coûte entre 1,16 \$ et 1,29 \$ le kg alors que l’hydrogène issu d’énergie faible en carbone, comme l’énergie éolienne ou la biomasse, varie entre 4,75 \$ et 8,30 \$ le kg.

Tableau 1. Coût de l’hydrogène selon différentes sources de production (Hosseini et Wahid, 2016)

Procédés	Coût de l'hydrogène (CA\$ par kg)
Reformage du gaz naturel	1,29
Gaz naturel + séquestration de CO ₂	1,53
Gazéification du charbon	1,20
Charbon + séquestration de CO ₂	1,29
Électrolyse d'énergie éolienne	8,30
Gazéification de la biomasse	5,79
Pyrolyse de la biomasse	4,75
Fractionnement thermique de l'eau	2,04
Essence	1,16

Or, pour le moment, les pays qui dominent le marché de la production de véhicule à l'hydrogène, comme la Chine, produisent majoritairement leur hydrogène à partir d'énergie fossile. Sachant que 1 kg d'hydrogène produit avec du charbon engendre 19 kg de CO₂ et 8,9 kg lorsqu'il est produit avec du gaz naturel, l'atteinte des objectifs de réductions d'émissions provenant des camions dont les technologies de propulsion sont alternatives au moteur à combustion alimenté au diesel est plus difficile (Wu *et al.*, 2021).

2.3.3 Faible enthousiasme pour les investissements

Les entreprises pourraient être frileuses à l'idée dans l'adoption des camions zéro émission en transport considérant le manque de connaissances. En effet, selon Noel *et al.* (2020), le manque de connaissances ou d'expérience chez celui-ci est considéré comme un obstacle important. Ayant réalisé des entrevues auprès de 227 personnes, les mêmes auteurs ont pu constater que le manque de connaissances ressortait comme un des principaux obstacles à l'adoption des véhicules électriques (Noel *et al.*, 2020). Ce manque de connaissances peut se traduire par une faible compréhension de la technologie, ce qui peut affecter la volonté du consommateur à payer pour celle-ci. Selon Wu *et al.* (2021), cette compréhension pourrait s'améliorer via la publicité et le soutien médiatique. Il existe aussi un manque d'information réel dans le secteur des technologies zéro émission. L'acquisition de ce type de véhicule révèle donc une forme d'incertitude et de risques, qui peuvent être exacerbés par les taux d'emprunt (Linn et McConnell, 2019; Wu *et al.*, 2021).

3. Conclusion

La réalisation de cette revue de littérature nous a permis de faire un état de la connaissance sur les avantages politiques et les obstacles techniques et économiques dans l'adoption des technologies zéro émission dans le transport de marchandises par camion lourd. Le résumé est présenté dans le tableau 2.

Tableau 2. Résumé des avantages/obstacles et sous-avantages/sous-obstacles

Obstacles et avantages	Sous-avantages ou sous-obstacles	Exemples
Obstacles techniques	Défis de la production et le stockage de l'énergie	Difficulté à répondre à la demande quotidienne de la production d'énergie renouvelable
	Obstacles liés aux infrastructures de transport et à la distribution de l'énergie	Absence de réseau de transport et de distribution
	Défis techniques du véhicule	Autonomie limitée Pertes d'énergie Faible capacité du système de stockage Cycle de vie: faible durabilité et pollution par les composantes
Obstacles économiques	Coût de possession des camions zéro émission	Coût d'acquisition du véhicule élevé
	Coûts d'exploitation des camions zéro émission	Coût du carburant zéro émission ou faible en carbone est élevé Coût d'entretien élevé
	Faible enthousiasme pour les investissements	Manque de connaissances Incertitude/ la perception du risque Taux d'emprunt
Avantages économiques	Politiques structurantes	Normes restrictives sur les émissions de CO2
	Politiques économiques de stimulation des ventes	Crédits d'impôt Incitatifs à l'acquisition d'infrastructures de recharge Tarifs préférentiels sur le prix de l'électricité Aide financière au remplacement de la flotte actuelle Subventions à l'achat d'un camion
	Politiques de valorisation industrielles dans les pays producteurs	Politiques de développement de l'innovation et de la recherche
		Politiques de modernisation industrielle

Tel que représenté au tableau en annexe 1, on constate que les avantages économiques et obstacles techniques sont davantage représentés dans la littérature. Les avantages économiques que sont les politiques économiques de stimulation des ventes ainsi que les défis techniques du véhicule sont les deux catégories de sous-obstacles qui font le plus souvent l'objet de publications scientifiques. Il faut toutefois prendre en compte que le sous-obstacle *défis techniques* est une catégorie très large qui englobe de multiples défis techniques. En général, la quantité d'informations concernant les biocarburants à faibles

ou zéro émission dans le secteur du transport de marchandises par camion s'est avérée très faible. Une recherche axée sur les biocarburants zéro émission aurait toutefois pu améliorer cette situation. De plus, très peu d'articles cités dans cette revue de littérature utilisent une méthodologie qualitative. Or, des œuvres qualitatives telles que celle de Noel *et al.* (2020) permettent d'établir une bonne vulgarisation des obstacles. On retrouve ainsi un potentiel de recherche qualitative dans le secteur du transport de marchandises par camion lourd.

Chapitre 2

Méthodologie de recherche

Ce chapitre présente la méthodologie utilisée pour collecter et traiter les données sur la décarbonation du transport de marchandises par camion lourd. Il est organisé en fonction du déroulement chronologique des étapes de réalisation de ce projet de recherche. Certains concepts importants seront tout d'abord définis, comme ceux de la méthodologie de recherche qualitative et de l'entrevue. Cela permettra de mettre en lumière la pertinence du choix méthodologique dans le contexte de notre sujet d'étude. Les étapes de préparation à l'entrevue seront par la suite présentées, tout comme les procédures d'approbation du projet de recherche par le comité d'éthique de la recherche (CER) du HEC. Ce chapitre se terminera par la présentation du déroulement des entrevues et du traitement des données.

1. Définition des concepts importants

La recherche qualitative est utilisée afin de comprendre comment les gens interprètent et donnent un sens à leur expérience (Sharan et Elizabeth, 2016). La notion de compréhension est parfois appelée *démarche compréhensive* (Dumez, 2013). En effet, on « comprend » un phénomène social complexe alors qu'on « explique » à l'aide d'une cause unique et déterminante (Grassi, 2005). Considérant que l'objectif de cette recherche est de comprendre un phénomène complexe, soit la perception des transporteurs québécois face à l'adoption de diverses technologies qui favorisent la décarbonation des camions lourds, l'utilisation de la méthode de recherche qualitative est tout indiquée.

Kvale (2018) définit l'entrevue comme un type de conversation où l'interaction entre la personne qui pose des questions et la personne qui y répond engendre la création de connaissances. Il existe plusieurs types d'entrevues : directif, semi-directif ou non directif. Dans ce cas-ci, l'entrevue de type semi-directif a été sélectionnée pour mener la collecte de données. Selon Gudkova (2018), ce type d'entrevue accorde un certain niveau de liberté à la personne interviewée et lui permet d'élaborer sur un sujet qui dévie du guide d'entrevue ou de simplement aborder différents sujets de conversation par elle-même.

Considérant qu'il était souhaitable d'éviter d'orienter les réponses des répondants, l'entrevue semi-directif s'est avéré le meilleur type d'entrevue pour effectuer notre collecte des données. En effet, entretenir une conversation où le répondant peut, par lui-même, aborder différents sujets dans le domaine des technologies de décarbonation des camions lourds zéro émission permet d'éviter d'influencer les réponses de l'interviewé.

2. Étapes de réalisation du projet de recherche

Les étapes de réalisation du projet sont divisées en trois grandes parties, soit la préparation à la collecte des données, la réalisation des entrevues avec les transporteurs et finalement le traitement des données recueillies.

2.1 Préparation aux entrevues

La première étape du projet fut la préparation aux entrevues, plus précisément de déterminer la population visée. Dès le début du projet, il a été conclu que l'étude étudierait la population des transporteurs. Dans ce cas-ci, la population visée est composée des transporteurs pour compte d'autrui et pour compte propre qui font du transport de marchandises par camion et sur de longues distances. Le tableau 3 offre une série de définitions qui permet de mieux comprendre la population visée par cette recherche.

Tableau 3. Définitions de termes en transport

Termes	Définitions	Sources
Transporteur	« Personne physique ou morale qui s'engage à transporter ou à faire transporter des personnes ou des marchandises en vertu d'un contrat de transport terrestre, maritime ou aérien. »	(Office québécois de la langue française, 2023c)
Transporteur pour compte autrui	« Transporteur routier dont l'activité principale consiste à transporter des personnes ou des marchandises contre rémunération. »	(Office québécois de la langue française, 2023a)
Transporteur pour compte propre	« Transporteur routier dont l'activité principale n'est pas le transport, mais qui assure le transport de marchandises ou de personnes pour ses propres besoins. »	(Office québécois de la langue française, 2023b)

Afin de créer une liste initiale de potentiels répondants faisant partie de la catégorie des transporteurs pour compte d'autrui, les informations présentées dans le top 25 du magazine Transport Routier ont été utilisées et sont présentées au tableau 4 (Transport Routier, 2022). La liste initiale de contacts de la catégorie des transporteurs pour compte propre a été créée en fonction des résultats de requêtes effectuées à l'aide du moteur de recherche Google qui a permis de repérer certaines compagnies faisant du transport pour compte propre et possédant des camions zéro émission.

Tableau 4. Liste des 25 transporteurs pour compte d'autrui ayant la plus grosse flotte de camions au Québec selon le magazine Transport Routier (Transport Routier, 2022)

Décompte	Entreprise
1	TFI International
2	C.A.T. inc.
3	Groupe Robert inc.
4	Groupe Morneau
5	Simard Transport ltée.
6	Groupe Guibeault ltée.
7	Andy Transport
8	Groupe Nadeau
9	Transport Bourassa inc.
10	Prince Services Logistiques
11	Les services logistiques Trans-West inc.
12	Transport Bourret
13	Groupe Bellemare
14	V.A. inc.
15	VTL Express inc.
16	Groupe Boutin inc.
17	Express Mondor (et ses entreprises liées)
18	Transport TYT (Groupe TYT inc.)
19	Groupe Transport St-Michel
20	Transport Gilmyr Inc.
21	Total Logistics Control Inc.
22	Groupe Bernières
23	Transport Hervé Lemieux
24	Transport Jocelyn Bourdeau
25	Groupe Aubin (et ses groupes et divisions)

Il a été possible, dès la création de ces listes, de récupérer les coordonnées de certains contacts grâce au réseau de connaissances des codirecteurs de recherche et des coordonnées disponibles dans le top 25 du magazine Transport Routier. Ce palmarès présente les 25 entreprises de service de transport pour compte d'autrui ayant les plus grosses flottes en termes de camions, tracteurs et remorques.

Au fur et à mesure des entrevues, les transporteurs ont recommandé d'autres répondants. Certains transporteurs ou membres de l'industrie du camionnage ont apporté un soutien particulier dans la recherche de répondants via l'envoi de courriels à leur communauté.

2.1.1 Création du guide d'entrevue

Un guide d'entrevue pour transporteurs pour compte d'autrui et un autre pour transporteurs pour compte propre ont été produits et sont disponibles en annexes 2 et 3. Ces guides sont similaires, à l'exception d'une section comportant trois questions. Dans le guide pour transporteurs pour compte d'autrui, cette section porte sur le type de marchandises transportées et la clientèle de l'entreprise, alors que dans le guide pour transporteurs pour compte propre, elle porte sur l'entreprise et la composition de la flotte de camion.

2.1.2 Considération éthique

Avant de débiter les entrevues, le projet a été remis au comité éthique de la recherche du HEC pour approbation, puisque la méthodologie de travail implique une collecte de données auprès d'êtres humains. Après évaluation, le comité a approuvé le projet.

Certaines mesures ont été mises en place afin d'assurer l'anonymat et le bien-être des participants. En effet, les guides d'entrevue et ainsi que le formulaire de consentement de participation à une entrevue ont été envoyés à l'avance au participant. L'utilisation du formulaire permettait de présenter certaines informations de base sur le projet de recherche comme l'objectif et les personnes impliquées, en plus de permettre au participant d'indiquer s'il acceptait ou non que sa fonction soit mentionnée et d'être enregistré. Le formulaire de consentement de participation est disponible en annexe 5.

2.1.3 Déroulement des entrevues

Les entrevues se sont toutes déroulées par vidéoconférence puisque c'est un outil pratique qui permet d'éviter les déplacements et ainsi faire une économie de temps et d'argent. La durée des entrevues variait entre 30 minutes à une heure, en fonction de l'expérience du répondant dans le domaine des véhicules lourds zéro émission. L'objectif de l'entrevue a été rappelé avant le début de chaque entrevue, ainsi que les risques et bénéfices associés à la participation du participant. La majorité des entrevues ont été enregistrées grâce à un outil disponible sur l'application de communication collaborative Teams.

2.1.4 Traitement des données

Pour chaque entrevue, tous les éléments de réponses aux questions ont été répertoriés dans un même tableau Excel dont un extrait est disponible au tableau 5. On y retrouve les réponses aux questions 20 à 24 du guide d'entrevue pour transporteur pour compte d'autrui.

Tableau 5. Extrait du tableau synthèse des réponses à une entrevue

Code	Numéro	Questions	Réponses
TE 1	20	Parmi les obstacles et les avantages que vous avez évoqués, y en a-t-il qui vous semblent plus importants que d'autres? Si oui, lesquels et pourquoi?	L'autonomie et le coût du camion électrique.
TE 1	21	Certains obstacles vous semblent-ils plus difficiles, ou au contraire, faciles à surmonter? Si oui, lesquels et pourquoi?	N/A
	22	Sentez-vous que la clientèle ou la population en général demande ou apprécie un transport de marchandises moins émetteur de GES?	Oui. Le répondant pense que la population apprécie les efforts de réduction de GES, mais qu'elle comprend que la technologie ne répond pas encore aux défis actuels.
	23	Pensez-vous que des alternatives au transport par camions lourds sont envisageables sur les longues distances (ex. : transport ferroviaire ou maritime)?	Oui, selon le type de marchandise et le marché desservi. C'est une bonne alternative en période de pénurie de main-d'œuvre. Cela implique toutefois moins de contrôle sur les opérations.
	24	Que pensez-vous d'une manière générale de l'approche des gouvernements à la réduction des émissions de GES?	Le répondant à une vision positive des mesures mises en place par le gouvernement.

Pour chaque répondant, le tableau synthèse répertorie toutes les réponses aux questions d’entrevue à l’exception de la réponse à la question : *Selon vous, quels sont les principaux obstacles et avantages à l’adoption des camions lourds électriques, à l’hydrogène ou au biocarburant, et pourquoi?* Considérant que chaque répondant a émis plusieurs éléments de réponse à cette question, celle-ci a été traitée à part. D’autant plus que ces éléments répondent directement à la question de recherche. La méthode du traitement de ces éléments de réponse s’inspire de la méthode de classification de Wu *et al.* (2021). Notre objectif était toutefois différent puisque nous tentions de connaître les avantages en plus des obstacles. Ainsi, ce sont les obstacles et les avantages qui ont été classifiés parmi quatre grandes catégories, soit les obstacles et avantages techniques, économiques, politiques et sociaux. Un tableau vide est présenté ci-dessous.

Tableau 6. Éléments de réponses à la question sur les enjeux à l’adoption des camions lourds alternatifs au diesel.

Quels sont les principaux obstacles et avantages à l’adoption des camions lourds alternatifs?				
Code de niveau 1	Code de niveau 2	Code de niveau 3	Explication	Stratégie
Type de camion	Avantages techniques	Sous-avantages techniques	Explication	Stratégie
Type de camion	Obstacles techniques	Sous-obstacles techniques	Explication	Stratégie

Au moment de citer des obstacles, plusieurs répondants ont par leur propre initiative accompagné leur réponse d’une stratégie qu’ils mettent en place ou qu’ils proposent de mettre en place pour faire face à cet obstacle. Ainsi, une colonne Stratégie a été ajoutée au tableau.

Les éléments de réponse inscrits au tableau ont été uniformisés et codifiés afin de pouvoir regrouper les éléments en plusieurs groupes et sous-groupes et ultimement quantifier ces groupes et sous-groupes. Ainsi, pour chaque élément de réponses associées à un type de facilitateur et d’obstacle, techniques, économiques, politiques et sociaux, on précise le type de camion visé par l’élément de réponse (Code de niveau 1), le facilitateur ou l’obstacle (Code de niveau 2), le sous-facilitateur ou le sous-obstacle (code de niveau 3). Pour chaque élément de réponse classifié et codifié, une explication vient préciser l’idée

du répondant. Puisque les éléments de réponses étaient uniformisés, classés et codifiés à l'aide d'outils Excel, il a été possible de regrouper les éléments de réponses et de les représenter sous forme de tableaux et graphiques.

Afin d'assurer l'anonymat du répondant lors du traitement des données, un code a été utilisé pour faire référence aux répondants. Les répondants faisant du transport pour compte d'autrui ont été appelés TE, pour « transport externe », suivi d'un chiffre, alors que les transporteurs pour compte propre sont nommés TI, pour « transport interne », suivi d'un chiffre.

3. Conclusion de la présentation de la méthodologie utilisée pour les entrevues

En conclusion, en suivant les étapes présentées à ce chapitre, il a été possible de récolter des données afin de comprendre la perception des enjeux à l'acquisition des camions lourds ZÉ ou faible émission dans l'industrie des services de transport. Le traitement des données nous a permis de faire ressortir les principaux obstacles et avantages à leur adoption. Le tout sera présenté au prochain chapitre.

Chapitre 3

Présentation des résultats et discussion

Deux types de répondants ont participé aux entrevues, soit les transporteurs pour compte d'autrui et les transporteurs pour compte propre. La présentation des résultats débutera par un portrait des répondants, ce qui permettra de mettre en contexte les résultats.

Dans les sections qui suivent, le terme répondant fait référence à la personne interviewée, mais parfois aussi à l'entreprise pour laquelle cette personne travaille. Le masculin sera employé pour décrire l'ensemble des participants afin d'assurer l'anonymat des répondants.

1. Portrait des transporteurs

Au total, 12 transporteurs pour compte d'autrui et deux transporteurs pour compte propre ont été interviewés. Afin de conserver l'anonymat des répondants, chaque transporteur est identifié à l'aide de deux lettres et d'un nombre. Les transporteurs pour compte d'autrui sont appelés TE et les transporteurs pour compte propre TI, soit des acronymes pour « transport externe » et « transporte interne ».

On constate que la taille de la flotte des transporteurs pour compte d'autrui interviewés varie d'une entreprise à l'autre en termes de nombre de tracteurs et de camionneurs - propriétaires avec lesquels les transporteurs travaillent. Ce phénomène est démontré au tableau 7. Les camionneurs-propriétaires sont des « Personne physique ou morale, propriétaire d'un tracteur routier, dont la profession consiste à tracter d'un point à un autre des semi-remorques appartenant à un tiers » (Gouvernement du Québec, 2023c).

Tableau 7. Composition de la flotte des entreprises de service de transport

Code	Tracteurs	Remorques	Camionneurs-propriétaires
Transporteurs pour compte d'autrui			
TE1	106	530	24
TE2	440	1 181	98
TE3	315	1 110	70
TE4	230	770	3
TE5	919	2 434	392
TE6	ND	ND	ND
TE7	352	1075	302
TE8	125	430	15
TE 9	1 600	4 200	340
TE10	ND	ND	ND
TE11	226	213	12
TE12	128	515	10
Transporteurs pour compte propre			
TI1	ND	~ 800	12 (de camions classe 8)
TI2	ND	ND	ND
Note : Les informations proviennent des entrevues et des sites Internet des transporteurs. Les sources ne peuvent toutefois pas être citées pour des raisons de confidentialité.			

On remarque que le participant TE9 se démarque du lot avec un total de 1 600 tracteurs, 4 200 remorques, en plus de faire affaire avec 340 camionneurs-propriétaires. Au contraire, TE1 enregistre le plus petit nombre de tracteurs, soit 106. L'entreprise détenant le moins de remorques est TE11 alors que TE4 est l'entreprise travaillant avec le moins de camionneurs-propriétaires. Nous avons moins d'informations disponibles concernant la composition des flottes de camions des entreprises qui font du transport pour compte propre. Aucune information sur le nombre de camions et de remorques n'a pu être recueillie durant les entrevues pour les transporteurs TE6 et TE10. Il n'a pas non plus été possible de relever ces informations à partir d'autres sources.

2. Portrait des services de transport et de la marchandise transportée

L'ensemble des entreprises rencontrées faisant du transport pour compte d'autrui offre des services de transport pour de multiples clients œuvrant dans des domaines variés. La majorité des entreprises font davantage de transport pour des clients principaux. À

l'exception de TE4 et TE8, qui affirment ne pas avoir de principaux clients, mais plutôt une clientèle variée. Pour appuyer son propos, TE4 nous a même affirmé que son plus gros client ne représentait que 2 % de son chiffre d'affaires. Pour le reste des répondants, le secteur d'activité de leur principal client est présenté au tableau 8. La majorité des répondants offre des services de transport variés à l'exception des répondants TE 1, 6 et 12.

Tableau 8. Portrait des entreprises de service de transport

Code	Principaux clients	Type de service de transport par camion	Type de distance des trajets les plus récurrents
TE1	Magasins de meubles québécois	<ul style="list-style-type: none"> • Distribution 	Longue distance
TE2	Équipement divers	<ul style="list-style-type: none"> • Charge partielle • Température contrôlée 	Longue distance
TE3	Inconnu	<ul style="list-style-type: none"> • Charge partielle • Charge entière • Température contrôlée 	Courte distance
TE4	Clientèle variée	<ul style="list-style-type: none"> • Charge partielle • Charge entière • Température contrôlée 	Longue distance
TE5	Agroalimentaire	<ul style="list-style-type: none"> • Charge partielle • Charge entière • Température intermodale • Transport de conteneurs 	Courte distance
TE6	Manufacturier de voitures américaines	<ul style="list-style-type: none"> • Remorque ouverte 	Courte distance
TE7	Commerce de détail qui vend de la marchandise générale	<ul style="list-style-type: none"> • Transport de conteneurs • Charge partielle • Charge entière • Service total • Transport dédié 	Courte distance
TE8	Clientèle variée	<ul style="list-style-type: none"> • Transport de conteneurs • Charge partielle • Charge entière • Hors norme • Remorque plate-forme 	Courte distance
TE9	Entreprises postales et fabricants d'équipement d'origine	Varié	Longue distance
TE10	Compagnie de production	<ul style="list-style-type: none"> • Lot brisé • Charge entière • Transport spécialisé 	Longue distance

TE11	Domaine de l'alimentation	<ul style="list-style-type: none"> • Lot brisé • Charge entière • Réfrigéré 	Courte distance
TE12	Secteur éolien	• Transport hors norme	Longue distance
TI1	Pâtes et papiers	ND	Longue distance
TI2	Pâtes et papiers	ND	ND
Note : Les informations proviennent des entrevues et des sites Internet des transporteurs. Les sources ne peuvent toutefois pas être citées pour des raisons de confidentialité.			

Lorsqu'on observe les informations concernant le type de distance effectuée recueillie au tableau 8, il faut prendre en considération que les définitions d'un trajet courte ou longue distance varient d'un transporteur à l'autre. Dans les questionnaires pour transporteurs, on retrouvait la question « Quelle est la part des activités de transport longue distance (plus de 160 km) dans votre entreprise? ». On précise dans cette question que le transport longue distance est un trajet de 160 km et plus puisque le transport longue distance est défini comme « des déplacements à l'extérieur d'un rayon de 160 km du port d'attache » (Ministère des Transports et de la Mobilité durable, 2018). Le 160 km est utilisé comme référence à cause de l'utilisation de dispositifs de consignation électronique. Tous les transporteurs sous juridiction fédérale doivent consigner leur information dans ce dispositif lorsqu'ils sont à 160 km de distance de la gare d'attache (Société de l'assurance automobile du Québec, 2023). Or, pour certaines entreprises, un trajet longue distance est un trajet où il n'y a pas de retour à la base en fin de journée. Ainsi, la plupart des transporteurs interrogés considèrent les trajets de 160 km comme du transport régional.

La mention longue distance au tableau 8 ne fait donc pas référence au 160 km et plus. La plupart (environ 73 %) des répondants étaient quand même en mesure d'indiquer s'ils faisaient plus ou moins de longue distance que de courte distance. On peut ainsi affirmer qu'environ 45 % des répondants de la catégorie des transporteurs pour compte d'autrui ont clairement énoncé faire davantage de transport longue distance que de courte distance.

Les deux entreprises qui font du transport pour compte propre sont dans le domaine des pâtes et papiers et transportent leurs marchandises sous plusieurs formes (ex. : rouleaux, papiers moulés, papier rebut, etc.). On peut donc penser qu'elles réalisent des activités de

transport variées, cette information n'a toutefois pas été confirmée par les répondants, comme démontré au tableau 8.

3. Portrait des répondants travaillant pour des transporteurs pour compte d'autrui et compte propre.

La majorité des personnes interviewées, soit 10 répondants sur 15, occupent un poste de direction ou de présidence.

Tableau 9. Titre actuel des répondants

Code	Titre actuel	Expérience dans le poste actuel	Expérience en logistique et transport (en années)
TE1	Directeur de la flotte	6 mois	X
TE2	Directeur des services techniques	X	40
TE3	Président	10 ans	35
TE4	Directeur de la flotte	X	X
TE5	Président et chef de l'exploitation	8 ans	30
TE6	Gérant des opérations	3 ans	X
TE7	Directeur des finances	4 ans	16
TE8	Président	X	32
T9	Directeur senior	4 ans	X
TE10	Ambassadeur	6 mois	X
TE11	Vice-Président adjoint	3 ans	14
TE12	Spécialiste du matériel roulant et des équipements	X	25
TI1	ND	X	28
TI2	Vice-président	X	X
TI2	Chargé de projet	X	X

Note : Toutes les informations du tableau 9 proviennent des entrevues. Deux participants chez TI2 ont participé à une seule entrevue. Lors de cette entrevue, un seul guide d'entrevue a été complété avec les réponses provenant des deux répondants.

4. Portrait des initiatives de réduction de GES de la flotte des transporteurs pour compte d'autrui et compte propre.

Nous voulions tout d'abord savoir quelle quantité d'émission de GES était émise par les activités de transport effectuées par les entreprises qui font du transport pour compte propre et compte d'autrui.

Nous avons demandé aux répondants si l'entreprise pour laquelle ils travaillent avait déjà tenté de quantifier ses émissions de GES. Seulement quatre répondants (TE1, TE3, TE9, et TI1) nous ont affirmé avoir déjà quantifié leurs émissions. Ces derniers avaient toutefois peu d'information à ce sujet. Certains répondants ont précisé que la quantification avait été réalisée il y a très longtemps ou par une organisation externe. Seul TI1 a été en mesure de nous donner une réponse en données chiffrées, soit que les activités de transport au sein de son entreprise représentaient 5,5 % sur le total des émissions de GES émises par l'entreprise. TI1 est une entreprise qui produit et transporte des biens, ce qui explique ce pourcentage assez faible.

13 répondants sur 14 nous ont affirmé avoir mis en place des initiatives de réduction des émissions de GES, ces dernières sont présentées au tableau 10.

Tableau 10. Initiatives de réduction des émissions de GES

Initiatives	Codes													
	TE												TI	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	1	2	
Mesures d'écocamionnage*	X													
Réduction du temps au ralenti	X				X		X							
Adoption de camions faibles ou ZÉ		X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	
Utilisation des technologies à faible niveau d'automatisation			X									X		
Adoption de trains routiers			X		X									
Réduction du temps au ralenti				X		X				X				
Utilisation d'équipement et de mesures de réduction de consommation de carburant				X			X	X		X		X	X	
Suivi des informations par camion et chauffeurs					X									
Conception et utilisation optimisées (ex. : pneus simples à bande large)					X		X						X	
Espacement réduit entre le tracteur et la remorque					X									
Limitation des vitesses					X		X							
Chauffage et climatisation d'appoint					X		X						X	
Changement d'huile à intervalle prolongé							X							

Éviter le millage vide								X						
Intermodalité									X					
Développement d'un prototype hybride au GN et électrique										X				
Tests d'équipement électrique (camion de cours et prise de force)							X			X				
<p>Note : Écocamionnage* : « Ensemble des moyens ou des équipements techniques utilisés pour améliorer l'efficacité énergétique des véhicules lourds tout en réduisant leurs émissions de gaz à effet de serre » (Gouvernement du Québec, 2023b).</p> <p>Les informations proviennent des entrevues et des sites Internet des transporteurs. Les sources ne peuvent toutefois pas être citées pour des raisons de confidentialité.</p>														

Le recrutement de participants était orienté vers les transporteurs qui détenaient ou s'intéressaient à l'acquisition de camion ZÉ ou faible émission. Il est donc normal que l'adoption de camions faibles ou ZÉ soit l'initiative de réduction de GES la plus répandue parmi nos répondants. On remarque que l'utilisation d'équipement et de mesures de réduction de consommation de carburant, comme les jupes aérodynamiques ou les déflecteurs d'air, est la deuxième initiative la plus populaire.

Les transporteurs utilisent la consommation de carburant comme indicateur pour mesurer l'impact des différentes initiatives qui ont été présentées. Ils ont donc été capables de nous parler de leur consommation. Ainsi, le répondant TE2 nous a appris que l'entreprise consomme autour de 18 millions de litres de carburant par année de carburant alors que TE5 évaluait la consommation à 16 millions de litres diesel consommés par an pour 40 000 000 km parcourus pour la même période.

5. Portrait des initiatives visant l'adoption de camion zéro émission.

Parmi les répondants, nous constatons que quatre transporteurs ont fait l'acquisition de camions lourds électriques, alors que quatre autres sont toujours en attente de réception de leur camion lourd électrique. Le répondant TE3 devait recevoir son camion à l'été 2023. Aucune publication sur son site Internet n'a toutefois été faite à ce sujet. Deux répondants, soit TE1 et TE12 ont fait une période d'essai d'un camion lourd électrique grâce à des partenariats.

Deux répondants, TE5 et TE9 ont fait l'acquisition de camions lourds au gaz naturel, il y a de cela déjà quelques années. TE5, qui détient une flotte de camions au GNL en fin de vie utile, ne remplacera pas ces derniers par de nouveaux camions GNL. Il compte toutefois tester un nouveau prototype de camion GNC. TE9 quant à lui détient une flotte de 110 camions au GNC en plus de 5 camions hybrides, soit des camions Freightliner Cascadia munis d'un moteur au GNC de 12 litres et d'un essieu électrique Hyliion.

Le répondant TE2 est la seule entreprise interviewée participant activement dans un projet impliquant l'hydrogène. En effet, l'entreprise est partenaire dans le développement d'un réseau de ravitaillement en hydrogène situé au Québec pour camion lourd et compte opérer un ou des camions à l'hydrogène à l'intérieur de ce réseau.

Tableau 11. Flotte de camions classe 8 zéro ou faible émission des répondants

Code	Statut	Type	Marque et modèle	Nombre de camions
TE2	Reçu	Électrique	Volvo VNRe T62 300.	1
TE4	Reçu	Électrique	Kenworth T680E	2
TE7	Reçu	Électrique	Freightliner eCascadia	4
TI2	Reçu	Électrique	Peterbilt 579EV	2
TE5	Reçu	GNL	ND	ND
TE5	Reçu	GNC	ND	ND
TE9	Reçu	GNC	ND	110
TE9	Reçu	Hybride GNC-électrique	Freightliner Cascadia etHyliion	5
TE12	Testé*	Électrique	Peterbilt 579EV	1
TI1	Testé*	Électrique	Peterbilt 579EV	1
TE3	En attente de réception*	Électrique	Freightliner eCascadia	
TE8	En attente de réception	Électrique	Tesla Semi Volvo VNRe T62 300	5 Tesla 2 Volvo
TI2	En attente de réception	Électrique	Lion Peterbilt	50
TI2	En attente de réception	Électrique	Tesla Semi	34

Note : Toutes les informations du tableau 9 proviennent des entrevues.

Seulement deux répondants ont affirmé ne pas considérer la possibilité d'adopter des camions lourds ZÉ ou faible en carbone, soit les répondants TE6 et TE10. Lorsque nous leur avons demandé la raison, TE6 nous a répondu que le type d'opération de l'entreprise ne se prêtait pas à l'adoption de tels camions, soit le transport de voitures. Quant à TE10,

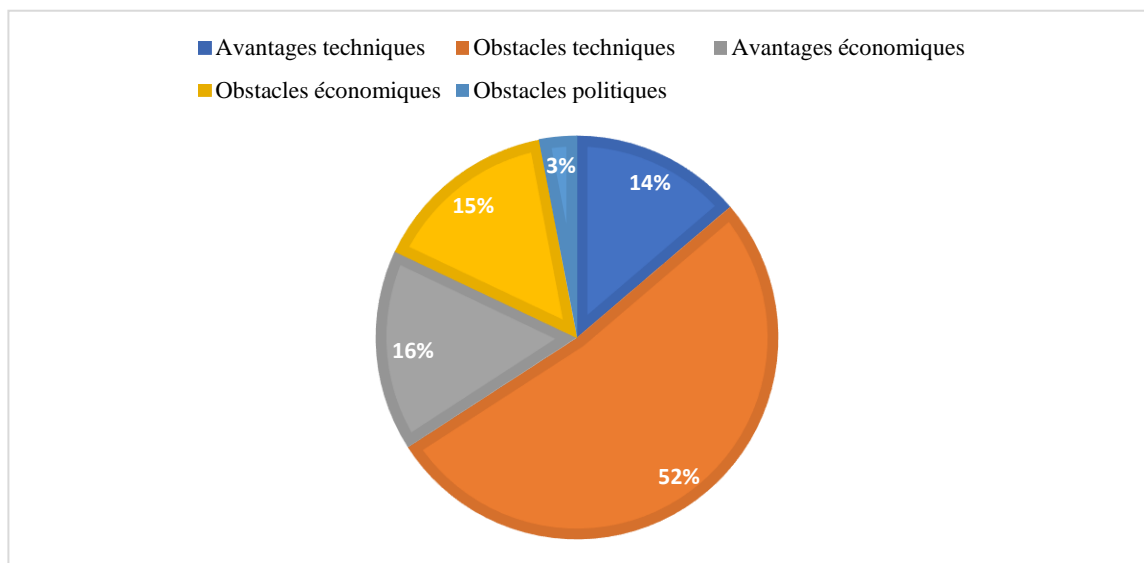
il nous a expliqué qu'il ne faisait pas de courte distance et que compte tenu de l'autonomie limitée des camions lourds électriques, soit les seuls camions ZÉ disponibles sur le marché, il ne peut électrifier sa flotte. Pour finir, TE10 ne pense pas non plus se tourner vers des alternatives faibles en carbone comme le GNC ou le GNL puisque ce sont des carburants beaucoup moins accessibles que le diesel en termes d'approvisionnement.

6. Avantages et obstacles à l'adoption des camions ZÉ et à faible émission selon les transporteurs.

Afin de répondre à notre question de recherche, il fut demandé aux transporteurs pour compte propre et pour compte d'autrui de répondre à la question suivante : *selon vous, quels sont les principaux obstacles et facilitateurs à l'adoption des camions lourds alternatifs?* Soit une question présente dans tous les guides d'entrevues utilisés.

Comme expliqué plus tôt, les réponses ont été classées par type d'obstacles et d'avantages généraux (techniques, économiques et politiques). Une répartition des types d'obstacles et d'avantages soulevés au cours des entrevues est présentée à la figure 4.

Figure 4. Proportion des types d'enjeux mentionnés par les transporteurs



De manière générale, il y a plus d'obstacles que d'avantages qui ont été mentionnés par les transporteurs. En effet, on dénombre 34 mentions d'avantages contre 117 mentions d'obstacles, pour un total de 151 mentions. On constate aussi que les obstacles techniques semblent être une préoccupation importante puisqu'ils représentent 52 % des mentions. Au contraire, les obstacles politiques sont les moins souvent cités avec seulement 3 % des mentions.

7. Thèmes récurrents ressortis dans les entretiens

Des sous-obstacles et des sous-avantages, qui seront appelés thèmes, ont pu être relevés pour chaque type d'obstacles et d'avantages (voir tableau 6). Ainsi, la discussion des résultats porte sur les thèmes mentionnés de façon plus récurrente, c'est-à-dire ceux qui ont été plus de cinq fois évoqués par différents transporteurs. Ceux-ci sont présentés au tableau 12.

Tableau 12. Thèmes les plus souvent mentionnés par les transporteurs

Rang	Enjeux	Thèmes	Nombre de mentions
1	Obstacle technique	Recharge et ravitaillement	30
2	Avantage et obstacle technique	Autonomie	19
3	Avantage et obstacle économique Obstacle technique	Entretien	15
4	Obstacle technique Avantage et obstacle économique	Main-d'œuvre et sécurité	14
4	Obstacle technique	Capacité et puissance	9
5	Obstacle économique	Coût du camion	9
6	Avantage et obstacle économique	Subvention	9
8	Obstacle technique	Batterie	6

7.1 Ravitaillement et la recharge

Le ravitaillement est de loin l'enjeu le plus souvent cité lors des entrevues puisqu'il cumule 30 mentions. Les répondants ont abordé plusieurs aspects qui y sont relatifs tels que les infrastructures, le temps de recharge, la logistique et la sécurité.

7.1.1 Absence d'infrastructure de ravitaillement

Grâce à nos entrevues, nous constatons que les transporteurs québécois considèrent l'absence d'infrastructures de recharge comme un des obstacles les plus importants dans l'adoption des camions lourds à l'hydrogène, électriques ou même au gaz naturel comprimé ou liquide. En effet pour l'instant, au Québec, les stations de ravitaillement dédiées au transport routier lourd offrent principalement des carburants issus du pétrole.

Très peu de stations de recharges publiques pour véhicules lourds électriques sont actuellement disponibles au Québec. Ainsi les répondants qui nous ont indiqué détenir des camions électriques ont dû équiper leur installation de bornes de recharge. Selon la Stratégie québécoise sur la recharge de véhicules électriques, les bornes de recharge de type BRCC (puissance de 25 kW-350 kW) ou ultrarapides (puissance de 1 MW et plus) sont les plus souvent privilégiées (Gouvernement du Québec, 2023d). Or, la recharge à domicile représente pour eux un défi supplémentaire en ce qui a trait aux opérations et à la logistique. En effet, compte tenu de l'autonomie limitée du camion et l'absence de réseaux de recharge publics statique (borne de recharge) et dynamique (systèmes de caténaire, de rail ou par induction), les horaires et trajets doivent être repensés afin que le camionneur revienne à la base pour effectuer la recharge du camion (Mathieu, 2020). C'est entre autres le cas du répondant TE8, qui est toujours en attente de réception des camions électriques qu'il a commandés et qui compte recharger ses futurs camions la nuit et durant la pause des camionneurs. Le manque d'infrastructures de recharges publiques adaptées aux véhicules lourds oblige entre autres les répondants à utiliser leur camion électrique afin d'effectuer de courtes distances.

Aucun des répondants interviewés ne détenait de camions lourds à l'hydrogène, mais on peut penser que cette situation serait appelée à évoluer dans un marché où l'hydrogène occuperait une place plus importante dans le secteur du transport. En effet, selon Hauet et

Lacire (2022), les transporteurs pourraient être amenés à construire sur leur propre site leurs installations de production et de stockage d'hydrogène. Les auteurs prévoient que ces stations à domicile pourraient combler 25 % de l'approvisionnement en 2030 et 40 % en 2050.

Un motif maintes fois abordé dans nos entrevues qui viendrait partiellement expliquer le déficit d'infrastructures de recharge publique pour camions lourds alternatifs au diesel est le dilemme de l'œuf et la poule. Les transporteurs ne font pas l'acquisition de camion zéro ou faible émission puisqu'il n'y a pas d'infrastructures de recharge alors que les organisations publiques et privées n'investissent pas dans la construction d'infrastructures puisqu'il n'y a pas assez de camions en circulation. Par exemple, dans toute la province du Québec, on retrouve une seule station de recharge destinée aux camions lourds électriques. Cette station, située à Laval, fait partie d'un projet pilote du circuit électrique. Elle est équipée de deux bornes ayant une puissance de recharge de 350 kW (Circuit électrique, 2023). Le gouvernement du Québec a toutefois annoncé, via sa Stratégie québécoise sur la recharge de véhicules électriques, un investissement de 35 millions pour les cinq prochaines années afin d'accélérer le déploiement d'un réseau de bornes de recharge rapide public destiné au transport commercial moyen et lourd (Gouvernement du Québec, 2023d).

En ce qui a trait à l'hydrogène, aucun réseau de ravitaillement adapté aux véhicules lourds n'est actuellement disponible au Québec. L'entreprise Hydrolux a cependant annoncé la construction de deux stations de ravitaillement à l'hydrogène vert, dont une serait située à Val-d'Or et une autre à Saint-Jérôme (Hydrolux, 2022). Une seule station de ravitaillement à hydrogène fonctionnelle au Québec pouvant ravitailler des voitures est située dans une station Harnois à Québec, sur le boulevard Wilfrid-Hamel. Celle-ci alimente pour le moment une cinquantaine de voitures (Toyota Mirai) appartenant au gouvernement (Trussart, 2021). Harnois semble vouloir se présenter comme un précurseur en hydrogène vert dans le secteur du transport par ses projets de stations d'hydrogène, mais aussi par l'achat de cinq camions à hydrogène prévu pour l'année 2026 (Simard-Jean, 2023).

Dans le même ordre d'idées, les réseaux de ravitaillement existants, mais limités, comme ceux du gaz naturel, ont aussi été décrits comme problématique. Il y aurait actuellement environ 10 stations au gaz naturel au Québec, soit huit stations GNC et deux stations GNL (Gouvernement du Canada, 2023b). Les flottes de camions GNC et GNL des transporteurs TE5 et TE9 sont ainsi captives d'un réseau d'approvisionnement assez limité. Pour le répondant TE-5, l'absence d'infrastructure de ravitaillement a été le principal facteur à l'abandon de l'utilisation du GNL. En général, un réseau limité représente un obstacle de taille pour les entreprises qui ne suivent pas de routes précises, ce qui est le cas de TE10, qui évolue dans le monde du spectacle.

7.1.2 Temps de recharge

Le temps de recharge des camions lourds électriques représente un aspect particulièrement important pour les répondants. Le camion eCascadia, possédé par TE7 et sous peu par TE3, et le camion Volvo VNR Electric du transporteur TE2 et bientôt de TE8, peut être rechargé à 80 % en 90 minutes avec une puissance de 180 kW et 270 kW, selon le modèle de configuration du camion (Daimler, s.d.; Volvo, 2023). Le semi de Tesla commandé par TE8 et TI2 prendrait quant à lui 30 minutes à se recharger à 70 % à l'aide de ce qu'on suppose être le superchargeur d'une puissance de 250 kW (Tesla, 2023). Or, selon le répondant TE4 ayant fait l'acquisition de camions T680E de Kenworth, le temps de recharge peut être encore plus long en période hivernale, car une batterie froide se recharge plus lentement. Ainsi, la différence entre la vitesse de recharge d'un camion électrique et le temps de ravitaillement d'un camion lourd diesel peut être assez importante. Au contraire, la vitesse de ravitaillement est ressortie comme un avantage considérable dans le cas du camion lourd à l'hydrogène puisqu'on évalue que le temps de ravitaillement de ce type de véhicule est similaire à celui d'un camion diesel, soit 15 à 20 minutes (Shell, 2021).

7.1.3 Défis techniques des stations de recharge en énergie électrique

Lors de nos entrevues, les répondants ont mentionné à plusieurs reprises les défis techniques relatifs aux bornes de recharge électrique qu'ils ont expérimentés. En effet, TE4, qui a testé l'équipement pour alimenter la batterie de ses camions T680E de Kenworth, dit avoir vécu des arrêts soudains de la borne pendant la recharge. Lorsque

de tels événements surviennent, la borne envoie un message d'erreur. Pour TE4 et TI12, l'identification des messages d'erreur reste un défi. D'autant plus que le fournisseur n'est pas toujours situé dans le même fuseau horaire, ce qui ralentit les délais de réparation.

7.1.4 Avantages du ravitaillement des camions lourds zéro ou faible émission

Les répondants TE2 et TE12, qui ont fait l'acquisition de camions électriques ont aussi mentionné la simplicité et la facilité d'adaptation à la méthode de recharge. Le répondant TE2 précise même que la méthode de recharge du camion électrique serait pratique puisqu'il est possible pour le conducteur de faire autre chose durant la période de recharge.

7.2 Autonomie

Le concept de l'autonomie a été mentionné 19 fois par les transporteurs, dont 14 fois afin d'invoquer l'autonomie limitée du camion lourd électrique. En effet, les camions lourds électriques disponibles actuellement sur le marché ont une autonomie plus limitée que leur homologue diesel, ce qui ne répond pas aux besoins des entreprises offrant des services de transport longue distance.

7.2.1 Les facteurs qui limitent l'autonomie du camion lourd électrique

L'autonomie des camions électriques qui ont été acquis ou qui sont en voie de l'être par les transporteurs interviewés se situe entre 193 à 800 km (Daimler, s.d.; Lion, 2023; Paccar, 2023; Tesla, 2023; Volvo, 2023) alors qu'un camion diesel détient une autonomie de 1 900 km (Unterlohner, 2021).

Tableau 13. Autonomie des camions électriques qui ont été acquis ou qui sont en voie de l'être par les transporteurs interviewés

Camion	Volvo VNRe T62 300.	Kenworth T680E	Freightliner eCascadia	Peterbilt 579EV	Tesla Semi	Lion8 Tracteur
Autonomie max. (km)	193	241	402	241	800	418
Source	(Volvo, 2023)	(Paccar, 2023)	(Daimler, s.d.)	(Peterbilt, 2023)	(Tesla, 2023)	(Lion, 2023)

Face à cette autonomie limitée, le camion lourd électrique est utilisé pour faire du transport régional et local. Ainsi, pour T10 qui ne fait que du transport de longue distance, l'adoption d'un camion électrique n'est donc pas envisageable. Plusieurs facteurs viennent exacerber les problèmes d'autonomie tels que la diminution de l'autonomie de la batterie par temps froid ainsi que l'importante consommation d'énergie par le chauffage, soit un phénomène vécu par le répondant TE2. Face à cette situation, l'entreprise a mis en place des stratégies pour maximiser l'autonomie de la batterie telles que l'usage d'un équipement au glycol pour maintenir la température de la batterie à 15 degrés Celsius. De plus, un radiateur a été réorienté afin d'éviter d'utiliser la batterie pour chauffer la cabine. Outre la température, le temps d'inactivité est un autre facteur qui augmente la consommation de la batterie. Six répondants ont toutefois mentionné avoir mis en place des stratégies de réduction du temps au ralenti durant les entrevues.

Dans le cas du camion électrique, on constate que la rentabilité du produit est intimement liée au nombre de kilomètres parcourus. En effet, le seul répondant détenant des camions lourds électriques à nous avoir assuré que leur acquisition est viable nous a expliqué qu'une des causes majeures de ce succès est une stratégie pour maximiser le nombre de kilomètres parcourus par ses camions. Selon TE2, il faudrait que le camion lourd électrique parcoure au moins 120 000 km pendant une période de cinq ans pour rentabiliser son achat. Dans le même ordre d'idées, TI2 tente d'adapter ses opérations afin de maximiser les kilomètres parcourus afin d'assurer la rentabilité du camion. Leurs deux camions lourds électriques circulent 20 heures par jour, 7 jours par semaine, en mode séquentiel, soit deux heures et demie de recharge pour deux heures et demie de voyage afin d'effectuer sept à huit voyages par jour. Finalement, les camions vont parcourir à terme plus de 1 000 km par jour entre deux établissements, pour un total de 365 000 km par année. Ces deux camions électriques remplacent un seul camion diesel.

7.2.2 Autonomie limitée du camion au GNC

Le camion lourd électrique ne fut pas le seul véhicule cité pour son autonomie limitée. En effet, l'autonomie du gaz naturel comprimé, qui est estimée à 1 000 km (Shell, 2021), est considérée comme un obstacle. Selon TE12, le réservoir ne peut pas être rempli à 100 % l'hiver à cause de la réaction du GNC face à la basse température, ce qui impacte

l'autonomie du véhicule.

Le seul avantage mentionné au cours des entrevues concernant le concept de l'autonomie et des camions zéro ou faible émission est l'autonomie du camion lourd à l'hydrogène qui s'apparente à celle du camion lourd diesel.

7.3 Entretien et maintenance

Au cours de nos entrevues, les coûts d'entretien avantageux des camions lourds faibles ou zéro émission sont ressortis comme un avantage considérable. En effet, le nombre réduit de pièces mobiles diminue la fréquence des réparations du camion lourd électrique. De plus, le freinage en douceur diminue l'usure des freins. Cela représente un avantage au niveau du coût d'entretien du moteur et des freins. À noter, trois répondants nous ont mentionné que les coûts d'entretien de leur camion lourd électrique étaient couverts par la garantie. Certains éléments comme le changement de pneu peuvent toutefois être facturés à l'entreprise de transport.

7.4 Main-d'œuvre et sécurité

La sécurité des chauffeurs et des membres du personnel, comme les mécaniciens, est un élément important pour nos répondants. En effet, que ce soit pour le camion lourd électrique ou pour le camion au gaz naturel, l'importance d'adapter les infrastructures et les opérations afin qu'elles soient sécuritaires pour les travailleurs fut signalée quelques fois par nos répondants. Par exemple, un atelier de mécanique qui peut accueillir des camions lourds au GNC doit détenir un équipement spécifique afin d'éviter les explosions en cas de fuite.

L'atelier adapté aux camions électriques quant à lui doit être équipé pour travailler sécuritairement avec du haut voltage. En plus de représenter un risque pour la santé humaine, cette situation nécessite aussi un investissement financier considérable dans l'équipement et l'infrastructure pour nos répondants. La recherche de techniciens et mécaniciens spécialisés dans ce domaine est un tout autre défi puisque ces derniers sont assez rares.

L'absence de risques de déversement pendant le ravitaillement des camions lourds au

GNC et à l'électricité est le seul aspect positif en ce qui a trait à la sécurité des camions ZÉ ou faible émission ressorti au cours des entrevues. Il représente à la fois un avantage pour la sécurité des travailleurs et une diminution du coût des assurances.

Pour certains camionneurs, la conduite des ZÉ ou faible émission peut représenter un certain danger. C'est le cas entre autres de l'hydrogène. Comme discuté dans la revue de littérature, l'hydrogène est inflammable et explosif et peut engendrer des risques d'incendies et d'explosion au cours de sa production, son stockage, son transport, le remplissage et l'utilisation du véhicule à l'hydrogène (Wu *et al.*, 2021).

Pour terminer, selon les répondants, la nouveauté des camions ainsi que l'absence de bruits et d'odeur demeurent des facteurs attractifs pour les camionneurs.

7.5 Capacité et puissance électrique

L'électrification du parc de véhicules pourrait entraîner une pression sur la demande en électricité, particulièrement pendant les périodes de pointes. En effet, la recharge, et plus particulièrement la recharge rapide, entraîne une charge élevée sur la consommation en électricité et entraîne d'importants pics de charge de puissance (Bhardwaj et Mostofi, 2022). Cette situation exacerbe les doutes sur la disponibilité énergétique face à une éventuelle croissance de l'électrification des véhicules électriques pour certains de nos répondants.

Selon TE5, les entreprises de transport qui ont fait l'acquisition de camions lourds électriques se verront affecter un tarif en électricité destiné à une entreprise qui nécessite une grande puissance à cause de la consommation en énergie au moment de la recharge des camions. TE5 propose donc qu'il soit accordé aux transporteurs d'utiliser des entrées électriques et des transformateurs séparés pour la recharge des véhicules électriques afin qu'ils bénéficient d'une tarification avantageuse.

7.5.1 Adapter les infrastructures en fonction de la consommation en électricité

La capacité électrique des infrastructures accueillant des systèmes de recharges doit être adaptée afin de répondre au besoin en puissance. Un seul répondant (TI2) nous a indiqué avoir exécuté des travaux afin d'augmenter la capacité du site accueillant les

infrastructures de recharge. Dans le même ordre d'idées, TE12 compte déterminer le nombre de camions à acquérir en fonction de la capacité des infrastructures (et des circuits pouvant être électrifiés). TE7 avait quant à lui la chance de détenir des infrastructures adaptées à la recharge de ses quatre camions Ecascadia avant même leur acquisition.

D'autres stratégies nous ont été transmises par les répondants. Par exemple, TE1 étudie la possibilité d'ajouter des sources d'énergie alternative à l'hydroélectricité s'il acquiert un jour des camions électriques. TE2, quant à lui, démontre son intérêt pour l'acquisition d'accumulateur, ainsi l'entreprise pourrait stocker l'énergie et payer pour celle qu'il utilise.

7.6 Coût du camion

Pour tous les types de camions, le coût du camion a été cité comme étant un obstacle. Selon Sharpe et Basma (2022), le prix d'un camion semi-tracteur classe 8 diesel avec une cabine de jour varie entre 125 000 et 165 000 US\$, alors que le prix de son homologue électrique varie entre 210 600 et 816 000 US\$. Le prix d'un camion semi-tracteur classe 8 équipé d'une pile à combustible alimentée à l'hydrogène varie quant à lui entre 329 000 et 629 000 US\$ selon les mêmes auteurs.

Pour plusieurs répondants, les enjeux relatifs au coût du camion doivent aussi être considérés dans une optique de coût total. Par exemple, certains transporteurs nous ont mentionné que, certes le camion est plus cher, mais que l'on doit prendre en compte que le coût de l'électricité est plus avantageux et enregistre moins de fluctuations que celui du diesel. Cependant, pour TE12, le prix du diesel n'est peut-être pas aussi problématique puisque la surcharge de carburant est chargée au client, qui subit alors les fluctuations du prix du carburant.

Les frais d'acquisition et d'opération de ces camions pourront engendrer une hausse du coût des services de transports qui devront être facturés aux clients. Ainsi, un important défi cité par les transporteurs est d'acquérir et d'opérer des camions lourds ZÉ ou faible émission tout en évitant que le client ne voie ses coûts augmenter afin de rester compétitifs.

Deux répondants nous ont indiqué que certains clients commençaient à s'intéresser aux

camions électriques. Un seul répondant nous a signalé qu'ils demandent explicitement d'avoir des camions électriques pour leurs trajets.

Pour certains transporteurs, l'acquisition de camions ZÉ ou faible émission pourrait faire augmenter le prix des biens transportés par les camions ZÉ ou faible émission. Or, selon les répondants, la population, qui tend à apprécier ou réclamer un transport plus vert, ne semble pas prête à payer un prix plus élevé pour des biens de consommation même s'ils ont été transportés par des camions alternatifs au diesel.

7.7 Subvention et aide à la disposition des transporteurs

En général, la perception des transporteurs par rapport aux subventions provinciales et fédérales d'aide à l'acquisition de camions zéro émission est positive. On fait référence ici à des subventions du Programme d'incitatifs pour les véhicules moyens et lourds à zéro émission (ILMZE). Les incitatifs à l'achat ou à la location pour 48 mois d'un camion et d'un semi-remorque classe 8 varient entre 100 000 \$ (capacité de la batterie : < 350 kWh) et 150 000 \$ (capacité de la batterie : \geq 350 kWh), alors que les incitatifs à la location pour 12 mois varient entre 25 000 \$ et 37 000 \$ tout dépendant du modèle du camion et de ses caractéristiques (Gouvernement du Canada, 2023a). Cette perception positive de l'aide gouvernementale renvoie aussi au programme provincial d'écocamionnage, qui offre un montant forfaitaire maximal de 175 000\$ pour l'acquisition d'un véhicule lourd à propulsion hybride électrique, entièrement électrique ou à pile à combustion. Ce programme couvre aussi les camions au gaz naturel grâce à une aide financière pouvant atteindre la somme de 30 000 \$ pour un véhicule lourd (Ministère des Transports et de la Mobilité durable, 2023). Par ailleurs, il existe aussi des subventions qui apportent de l'aide financière à l'acquisition d'équipement de recharge comme le volet *Borne de recharge rapide en courant continu* du programme Transportez vert (Roulons électrique, s.d).

Les commentaires négatifs concernant l'aide financière gouvernementale provenaient de répondants qui nous ont expliqué avoir été satisfaits des montants offerts dans les premières années de ces programmes de subventions, mais mécontents que ceux-ci n'aient pas suivi l'évolution du prix des camions ZÉ. Certaines critiques visaient aussi la lourdeur du processus administratif pour obtenir de l'aide financière. Selon un de nos répondants, une importante barrière institutionnelle est le fait que les camions lourds électriques ne

sont pas admissibles au programme d'entretien préventif de la SAAQ. À noter que si le transporteur remplit tous les critères du programme, il peut faire reconnaître ses opérations de vérification par ce programme et ainsi être exempté de la vérification mécanique obligatoire mise en place par le gouvernement du Québec et appliquée dans le code de la sécurité routière (Société de l'assurance automobile du Québec, 2016).

D'ailleurs, des répondants nous ont mentionné l'importance d'offrir un accompagnement qui va au-delà de l'aide à l'achat du camion ou du système de recharge. Dans le même ordre d'idées, TE1 nous a mentionné penser que de manière générale, pour le camion électrique, il y a beaucoup d'aide à disposition provenant des manufacturiers ou même des centres collégiaux de transfert technologique comme *L'Institut du véhicule innovant*. Cela dit, pour certains transporteurs, le niveau de connaissances des manufacturiers sur la technologie ZÉ vendue pourrait être amélioré. Une grande partie des transporteurs s'entendent toutefois pour dire que la connaissance de la technologie au sein même de l'entreprise de services de transport ou du moins chez ses partenaires d'affaires est un élément crucial.

7.8 Batterie

Que ce soit dans la littérature ou dans les entrevues, les enjeux relatifs à la batterie occupent une place importante dans l'électrification des véhicules. Si certains auteurs comme Hauet et Lacire (2022) considèrent que le poids des pièces retirées du camion lourd diesel pourrait compenser celui des batteries, il reste que le poids de la batterie est un des obstacles les plus souvent cités par les transporteurs lorsqu'il est question de batterie de camion électrique. En effet, cette dernière limite la quantité de marchandises qui peut être transportée et ainsi pénalise la rentabilité des activités de transports. La charge utile d'un camion diesel est de 21 600 kg. En ce moment, la limite de poids brut (PNVB) des semi-remorques est de 36 287 kg aux États-Unis alors qu'au Canada elle est de 54 431 kg (Sharpe, 2019). Selon le règlement sur les émissions de GES des véhicules lourds et de leurs moteurs, la limite de poids des semi-remorques ayant des applications spécialisées et parcourant de courtes distances peut toutefois atteindre 54 431 kg ou plus aux États-Unis et 63 503 kg ou plus au Canada (Gouvernement du Canada, 2018).

En réaction à cet obstacle, le répondant TE-3 propose de modifier les règlements pour

augmenter les limites de poids des charges utiles du camion. Cela pourrait toutefois représenter un défi de taille puisque ces règlements servent à éviter la dégradation du réseau routier et diminuer les coûts d'entretien engendrés par les véhicules lourds (Gouvernement du Québec, 2023a). La répartition des charges par rapport aux essieux, la configuration des essieux et des pneus ainsi que le contact des pneus avec la route peuvent abîmer cette dernière (Cebon, 1989). Le gouvernement du Québec donne l'exemple suivant pour démontrer les impacts des camions lourds sur nos routes : « À titre d'exemple, on estime qu'une surcharge axiale de 2 000 kg sur le groupe d'essieux tandem d'un tracteur attelé à une semi-remorque munie d'un essieu triple augmente d'environ 11 % la dégradation du réseau routier et ce, même si la limite de masse totale en charge de 49 500 kg de l'ensemble des véhicules est respectée » (Gouvernement du Québec, 2023a). Cebon (1989) considère toutefois que certaines stratégies peuvent être utilisées afin d'éviter la détérioration des routes par les poids lourds, comme l'utilisation de systèmes de suspension optimisée ou même adapter la conception et la construction de nos routes en fonction des effets du trafic des véhicules lourds sur la chaussée.

8. Conclusion

On constate, de manière générale, que le camion lourd électrique est le type de véhicule mentionné le plus souvent par les répondants. Une meilleure disponibilité de la technologie pourrait expliquer cette situation. Les camions lourds à l'hydrogène n'étant pas ou peu disponibles sur le marché, ceux-ci n'ont pu être testés par les transporteurs. De plus, peu de répondants semblaient avoir de l'intérêt pour l'utilisation de camion lourd au gaz naturel pour les multiples raisons évoquées dans ce chapitre.

La réalisation de diverses entrevues nous a permis de repérer certaines tendances face à l'adoption des camions lourds ZÉ ou faible émission chez les transporteurs québécois. De manière générale, ces tendances sont similaires à celles identifiées en revue de littérature. Certaines différences ont toutefois été relevées au cours de notre analyse.

Que ce soit pour le camion à batterie, à l'hydrogène ou au gaz naturel, l'absence ou la rareté d'un réseau de ravitaillement est de loin l'enjeu le plus préoccupant pour les transporteurs. À cet égard, il est intéressant de relever que la littérature nous présente les obstacles au ravitaillement des camions ZÉ à travers un portrait beaucoup plus global, soit

les enjeux de la chaîne d'approvisionnement en énergie comme la production, le stockage, le transport et la distribution. Les transporteurs, eux, se sont concentrés sur éléments apparents qui se rapprochaient davantage de leur opération de transport. Dans le même ordre d'idées, une importance considérable a été accordée à la partie distribution puisque les répondants ont évoqué à de multiples reprises l'absence d'un réseau de ravitaillement développé comme frein à l'adoption des camions ZÉ ou faible émission.

Les entrevues nous ont permis de mettre en lumière les enjeux du ravitaillement propre aux opérations quotidiennes des transporteurs, soit les défis techniques de la recharge à domicile. En effet, l'absence de réseau de bornes de recharge électriques adapté pour les camions lourds pousse les transporteurs qui possèdent des camions lourds électriques à s'équiper afin d'assurer la charge à domicile. Or le temps de recharge considérablement plus long oblige les transporteurs à adapter leur opération en conséquence.

Même si les transporteurs mettent davantage l'accent sur les opérations quotidiennes, des enjeux futurs et hypothétiques ont été cités telle leur inquiétude face à la disponibilité énergétique advenant une éventuelle croissance de l'électrification des véhicules lourds électriques.

Alors que la littérature nous permet de faire une recension des caractéristiques des camions lourds alternatifs au diesel, les entrevues nous ont amenés à comprendre comment les caractéristiques des véhicules impactent les opérations, comme dans le cas de l'autonomie du camion électrique. On constate ainsi que pour le moment, seuls les transporteurs qui font de courtes distances peuvent acquérir ce genre de camion et pour assurer la rentabilité, il faut maximiser le nombre de kilomètres parcourus.

Comme on pouvait s'y attendre, le coût du camion fut maintes fois cité comme obstacle. La présence de subvention semble toutefois être généralement perçue comme une aide efficace à l'acquisition de camions zéro émission. Malgré tout, pour les entreprises de transport ayant un petit chiffre d'affaires, l'acquisition de camions électriques reste difficile. Dans ce sens, plusieurs petits transporteurs ont refusé de participer à l'entrevue en donnant pour cause qu'ils ne se sentaient pas interpellés par le sujet puisqu'ils n'ont pas les moyens d'acquérir des camions ZÉ.

Selon les répondants, les coûts d'entretien avantageux des camions électriques sont considérés comme un avantage considérable. Aucune information relative au camion lourd à l'hydrogène n'est toutefois ressortie à ce sujet dans nos entrevues, alors que dans la littérature, Wu *et al.* (2021) prévoient des coûts d'entretien assez élevés pour les camions à pile à combustible à cause de la nature sophistiquée du groupe motopropulseur et du manque de services d'entretien et de personnel qualifié. Cette idée prend du sens lorsqu'on constate que les répondants nous ont aussi mentionné que la maintenance de ces camions semble toutefois comporter davantage de risques, comme travailler avec du haut voltage ou d'expérimenter les dangers relatifs à une fuite de gaz.

Un bon niveau de connaissances de la technologie autant au sein de l'entreprise qu'à l'externe (ex. : manufacturier) semble être un facteur de succès à l'opération des camions lourds alternatifs. Or, le savoir autour des technologies zéro ou faibles émissions est encore à bâtir, d'où l'importance de ce mémoire.

Chapitre 4

Limites et conclusion

1. Limites du projet de recherche

Bien que des stratégies ont été mises en place pour éviter les biais dans ce mémoire, certaines limites sont à mentionner. Tout d'abord, afin de bonifier la qualité des résultats, il aurait été souhaitable de réaliser davantage d'entrevues auprès de transporteurs. Considérant le coût élevé des camions ZÉ rendant inaccessible leur achat par de petites entreprises de transport, celles-ci ne se sentent pas nécessairement interpellées par le sujet, ce qui diminue considérablement le bassin de répondants potentiels. De plus, parmi les 14 transporteurs participants ayant participé à nos entrevues, seulement six avaient fait l'acquisition et testé un ou des camions faibles ou zéro émission. Ainsi, plusieurs opinions concernant les avantages et les obstacles aux véhicules ZÉ ou faible émission concernaient des technologies qui n'ont pas été nécessairement testées par les répondants, entre autres puisqu'elles ne sont pas encore sur le marché, comme dans le cas de l'hydrogène. Il faut toutefois dire que la majorité des transporteurs qui n'ont pas fait l'acquisition de ce type de camion se sont au moins renseignés sur les technologies disponibles ou ont entamé des démarches afin de tester ou faire l'acquisition de camions au gaz naturel ou électrique.

L'adoption des camions lourds alternatifs au diesel implique une multitude d'acteurs (manufacturier, concessionnaire, producteur d'énergie, etc.). Le point de vue de ces individus est important dans la compréhension de la décarbonation du transport. Il pourrait toutefois être pertinent d'effectuer un exercice similaire qui prend en considération le point de vue de différents acteurs impliqués dans la décarbonation du transport de marchandises au Québec.

De plus, il faut considérer que ce ne sont pas toutes les technologies zéro ou faible émission dans le secteur du transport routier de marchandises qui ont été étudiées. L'objectif de ce mémoire était d'étudier les technologies de décarbonation dans le secteur

du transport de manière globale. Or, le présent travail de recherche se limite à l'examen des camions lourds électriques, à l'hydrogène et au gaz naturel. Il existe d'autres alternatives qui n'ont pas été mentionnées, comme le système caténaire. Cette dernière permet d'approvisionnement directement en électricité les camions à l'aide de caténaires. À l'extérieur de ce système, le camion peut circuler grâce à une batterie, une pile à combustion, un moteur thermique, etc. (Kayser-Bril *et al.*, 2021) L'étude d'une diversité de biocarburant, de biodiesel ou même de véhicules lourds hybrides aurait pu être intégrée à cette étude. Dans le même ordre d'idées, des moyens de transport autres que le camion, comme le train ou le bateau qui produisent moins d'émission de GES auraient pu être pris en considération.

Aussi, nous avons tenté de limiter la subjectivité de notre méthode de classification des données en nous basant sur la classification de Wu *et al.* (2021). Cela dit, le caractère subjectif de cette méthode n'a pu être totalement effacé. Par exemple, dans notre classification, les enjeux relatifs au réseau de ravitaillement ont été associés à des obstacles techniques et non politiques, comme dans le cas de Wu *et al.*

2. Conclusion et contribution

Ce mémoire avait pour objectif de mieux comprendre quels sont les obstacles et les incitatifs à l'adoption de diverses technologies qui favorisent la décarbonation des camions lourds pour les transporteurs au Québec.

Il a fallu, dans un premier temps, réaliser une revue de littérature systématique afin de comprendre l'état des connaissances dans ce domaine. Cette étape nous a aussi permis de nous familiariser avec le principe de classification des obstacles et des avantages, soit un procédé qui fut réutilisé afin de réaliser notre méthodologie d'entrevue. En général, on remarque que les désavantages et les incitatifs relevés dans la littérature mettent davantage l'accent sur les caractéristiques des véhicules lourds alternatifs plutôt que leur impact sur les opérations de transport, soit un aspect qui est bien couvert par l'analyse des résultats issus de nos entrevues.

Comme mentionné plus tôt, nous avons ainsi recueilli des témoignages de répondants ayant diverses connaissances sur ce type de camions et décelé certaines tendances. Ainsi,

les enjeux techniques relatifs aux infrastructures de ravitaillement et à l'autonomie autour de l'électrification du transport lourd de marchandises sont un des aspects les plus préoccupants en ce moment pour les transporteurs québécois. Les subventions quant à elles représentaient l'incitatif le plus populaire chez les répondants.

De manière générale, nous avons pu constater qu'un défi particulier de l'analyse des résultats fut de faire ressortir l'interconnexion des enjeux relevés au cours des entrevues. Malgré tout, l'utilisation de la revue de littérature et des entrevues nous ont permis de réaliser notre objectif, soit mieux comprendre la perception des transporteurs au sujet des enjeux d'acquisition des véhicules lourds ZÉ ou faible émission.

Ce mémoire contribue à mettre en lumière, à travers une méthodologie qualitative, les enjeux techniques et économiques qui font le plus souvent l'objet de publications scientifiques basées sur une méthodologie quantitative. Or, ces publications de nature quantitative ont tendance à s'adresser à une population restreinte qui a des connaissances poussées en ingénierie ou en mathématique. Notre recherche se démarque par son approche qualitative, qui permet d'exposer des enjeux de gestion relatifs à l'intégration de nouvelles technologies dans le secteur du transport.

Le présent ouvrage s'adresse particulièrement aux gestionnaires de flotte et toute autre personne impliquée dans la gestion du transport de marchandises lourdes par camion sur de longues distances. L'identification des enjeux vécus par leurs homologues pourra les aider à modeler leur stratégie de réduction de GES en plus d'aider les grands décideurs à orienter leurs actions en conséquence.

2.2 Implications pour les gouvernements

Dans le même ordre d'idées, sachant qu'une réglementation qui risque d'apporter d'importants changements dans l'industrie du camionnage est à nos portes, mais que la vision des transporteurs est orientée vers les enjeux opérationnels au jour le jour, la nécessité d'offrir un cadre structurant par une stratégie gouvernementale est importante. Offrir un soutien aux entreprises de transport afin de se préparer à une nouvelle réalité imminente est un enjeu des plus urgent. Cette aide doit passer par l'amélioration des connaissances de la technologie et de son intégration dans les opérations de transport de

marchandises ainsi que de l'aide financière. Sur ce dernier point, il pourrait être indiqué d'ajuster les subventions en fonction de la hausse des coûts des véhicules et de leur équipement. Comme mentionné plus tôt, la subvention pourrait revêtir une allure temporaire et agir comme solution à court terme qui prend fin lorsque l'innovation technologique permet de faire descendre les prix (Kapustin et Grushevenko, 2020; Noel *et al.*, 2020). Or, pour les transporteurs, l'acquisition de camions ZÉ est encore inaccessible pour un grand nombre de transporteurs à cause des coûts élevés. L'accessibilité à des subventions adéquates, dont le processus d'application est allégé, revêt une importance accrue.

On peut penser que de plus en plus de techniciens et personnel dédié à la mécanique des camions lourds qui émettent moins ou aucun GES seront nécessaires pour assurer le bon fonctionnement de ce type de camions sur nos routes. Compte tenu des enjeux de sécurité mentionnés plus tôt, l'accessibilité à des formations adéquates est nécessaire pour assurer l'intégrité des personnes en contact avec cette technologie.

Un motif maintes fois abordé dans nos entrevues qui viendrait partiellement expliquer le déficit d'infrastructures de recharge publique pour camions lourds alternatifs au diesel est le dilemme de l'œuf et la poule, c'est-à-dire que les transporteurs n'achètent pas de camions lourds électriques, à l'hydrogène ou au gaz naturel puisqu'il y a peu d'infrastructures de ravitaillement disponibles et qu'inversement, on ne construit pas ces infrastructures puisqu'il y a peu de camions zéro ou faible émission sur le marché. Dans ce sens, le gouvernement se doit d'être un chef de file dans l'investissement des infrastructures afin d'assurer le succès de l'opération des camions lourds alternatifs au diesel.

Les entreprises qui nécessitent une forte puissance paient un tarif plus élevé pour le coût de l'électricité. Sachant que la recharge rapide des camions lourds électriques demande une grande puissance, les transporteurs qui ont fait l'acquisition de ce type de camion pourraient être amenés à voir leur facture d'électricité s'élever drastiquement, ce qui représente un obstacle important. Le gouvernement doit réfléchir à une stratégie afin d'assurer la compétitivité du camion électrique. Cela pourrait passer par une révision de la tarification pour les propriétaires de véhicules lourds électriques. Comme mentionné

plus tôt, certains transporteurs proposent d'utiliser des entrées électriques et des transformateurs destinés uniquement à la recharge des véhicules électriques afin de faciliter ce processus.

2.3 Avenues de recherche possible

Toutes les données recueillies durant nos entrevues sont propres à des paramètres actuels, tels que le contexte économique, politique et technique, qui rendent certaines technologies plus ou moins attrayantes. Certains enjeux seront amenés à devenir plus ou parfois moins importants au cours des prochaines années en fonction des éventuels changements de réglementations, l'amélioration de la technologie. Dans le même ordre d'idées, le travail qui a été fait dans ce mémoire devrait être actualisé dans les années à venir afin de garder un portrait à jour des enjeux de décarbonation vécus par les transporteurs et comprendre l'impact des nouvelles réglementations sur les opérations de transport. Idéalement, ce travail devrait être réalisé afin d'anticiper ces impacts, entre autres par la modélisation, afin d'aider les transporteurs à se préparer aux changements qui surviendront dans les prochaines années et ultimement, les soutenir dans leurs efforts de décarbonation.

Comprendre les impacts de cette nouvelle réglementation est important pour tous les types de transporteurs, mais pourrait se révéler un enjeu particulièrement critique pour les joueurs qui ne peuvent pas adopter des camions zéro émission afin de contribuer à la transition énergétique. On peut penser aux transporteurs qui ont un chiffre d'affaires plus faible et qui n'ont pas l'argent nécessaire pour faire l'acquisition de camions ZÉ et de leur équipement de recharge. Il y a aussi les transporteurs qui font uniquement du transport longue distance ou qui empruntent des routes variées qui ne peuvent pas opérer des camions dont l'autonomie ou le réseau de ravitaillement est limité. Ainsi, l'amélioration de la technologie et la réduction des coûts permettront-elles à ces transporteurs de faire l'acquisition de camions lourds faibles ou zéro émission? Devront-ils se tourner vers d'autres stratégies ou même transférer leurs activités vers les autres types de transports

afin de réduire leur émission de GES? Dans cet ordre d'idées, il est important que les chercheurs mettent l'accent à dégager les grandes tendances et proposer des stratégies en conséquence.

Bibliographie

- Bhardwaj, Shishir et Hamid Mostofi (2022). « Technical and business aspects of battery electric trucks—a systematic review », *Future Transportation*, vol. 2, no 2, p. 382-401.
- Bongardt, Daniel, Lena Stiller, Anthea Swart et Armin Wagner (s.d.). *Sustainable urban transport: Avoid-shift-improve (a-s-i)*, Federal Ministry for Economic Cooperation and Development.
- Cebon, David (1989). « Vehicle-generated road damage: A review », *Vehicle System Dynamics*, vol. 18, no 1-3, p. 107-150.
- Circuit électrique (2023). *Véhicules lourds*. Récupéré le 1 septembre 2023 <https://lecircuitelectrique.com/fr/vehicules-lourds/>
- Dahlgren, Sofia (2022). « Biogas-based fuels as renewable energy in the transport sector: An overview of the potential of using cbg, lbg and other vehicle fuels produced from biogas », *Biofuels*, vol. 13, no 5, p. 587-599.
- Daimler (s.d.). *Freightliner ecascadia specs*. Récupéré le 9 octobre 2023 <https://www.freightliner.com/trucks/ecascadia/specifications/#tab-6>
- Dumez, Hervé (2013). « Qu'est-ce que la recherche qualitative ? Problèmes épistémologiques, méthodologiques et de théorisation », *Annales des Mines - Gérer et comprendre*, vol. 112, no 2, p. 29-42.
- El Hilali, Souad et Ahmed Azougagh (2021). « La revue de la littérature en science de gestion », *IJBTSR International Journal of Business and Technology Studies and Research*, vol. 3, p. 5.
- Environnement et changement climatique Canada (2022). *Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement : Émissions de gaz à effet de serre*, Gouvernement du Canada.
- Environnement et Changement climatique Canada (2023). *Rapport d'inventaire national 1990-2021: Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada*, (2023). Récupéré de https://publications.gc.ca/collections/collection_2023/eccc/En81-4-2021-3-fra.pdf
- EPA (2023). *Proposed rule: Multi-pollutant emissions standards for model years 2027 and later light-duty and medium-duty vehicles*. Récupéré le 19 novembre 2023 <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/proposed-rule-multi-pollutant-emissions-standards-model>
- Fleming, Kelly L., Austin L. Brown, Lew Fulton et Marshall Miller (2021). « Electrification of medium- and heavy-duty ground transportation: Status report », *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, vol. 8, no 3, p. 180-188.
- Fritz, Markus, Patrick Plötz et Simon A. Funke (2019). « The impact of ambitious fuel economy standards on the market uptake of electric vehicles and specific CO₂ emissions », *Energy Policy*, vol. 135, p. 1-7.
- Ghisolfi, Verônica, Lóránt Antal Tavasszy, Gonçalo Homem de Almeida Correia, Gisele de Lorena Diniz Chaves et Glaydston Mattos Ribeiro (2022). « Freight

- transport decarbonization: A systematic literature review of system dynamics models », *Sustainability*, vol. 14, no 6.
- Gouvernement du Canada (2018). *Règlement modifiant le règlement sur les émissions de gaz à effet de serre des véhicules lourds et de leurs moteurs et d'autres règlements pris en vertu de la loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) : Dors/2018-98*. Récupéré de <https://gazette.gc.ca/rp-pr/p2/2018/2018-05-30/html/sor-dors98-fra.html>
- Gouvernement du Canada (2023). *Gaz naturel liquéfié au Canada*. Récupéré le 22 janvier 2023 de <https://ressources-naturelles.canada.ca/energie/sources-denergie-et-reseau-de-distribution/gaz-naturel/gaz-naturel-liquefie/5680>
- Gouvernement du Canada (2023a). *Incitatifs pour les véhicules moyens et lourds zéro émission*. Récupéré le 15 octobre 2023 de <https://tc.canada.ca/fr/transport-routier/technologies-novatrices/vehicules-zero-emission/vehicules-moyens-lourds-zero-emission/incitatifs-vehicules-moyens-lourds-zero-emission>
- Gouvernement du Canada (2023b). *Localisateur de stations de recharge et de stations de ravitaillement en carburants de remplacement*. Récupéré le 3 octobre 2023 <https://ressources-naturelles.canada.ca/efficacite-energetique/efficacite-energetique-transports-carburants-remplacement/localisateur-stations-recharge-stations-ravitaillement-carburants-remplacement/20488#/station/117322>
- Gouvernement du Québec (2023a). *Charges et dimensions*. Récupéré le 19 novembre 2023 <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/entreprises-partenaires/ent-camionnage/charges-dimensions/Pages/normes-charges-dimensions.aspx>
- Gouvernement du Québec (2023b). *Écocamionnage*. Récupéré le 22 octobre 2023 de <https://www.thesaurus.gouv.qc.ca/tag/terme.do?id=17336#:~:text=%C3%89coca mionnage%20D%C3%A9finition%20Ensemble%20des%20moyens%20ou%20des%20%C3%A9quipements,leurs%20%C3%A9missions%20de%20gaz%20%C3%A0%20effet%20de%20serre>.
- Gouvernement du Québec (2023c). *Fiche du terme - camionneur-propriétaire*. Récupéré le 23 juillet 2023 <https://www.thesaurus.gouv.qc.ca/tag/terme.do?id=1876>
- Gouvernement du Québec (2023d). *Stratégie québécoise sur la recharge de véhicules électriques* Récupéré de <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/environnement/vehicules-electriques/recharge/Strategie-quebecoise-recharge-vehicules-electriques.pdf>
- Grassi, Valentina (2005). « Sociologie compréhensive et phénoménologie sociale », dans *Introduction à la sociologie de l'imaginaire*, Toulouse, Érés, p. 61-93.
- Gudkova, Svetlana (2018). « Interviewing in qualitative research », dans Malgorzata Ciesielska et Dariusz Jemielniak (dir.), *Qualitative methodologies in organization studies: Volume ii: Methods and possibilities*, Cham, Springer International Publishing, p. 75-96.
- Harvey, L. D. Danny (2020). « Rethinking electric vehicle subsidies, rediscovering energy efficiency », *Energy Policy*, vol. 146, p. 111760.
- Hauet, Jean-Pierre et Servan Lacire (2022). « Hydrogène et transport de marchandises par camions », *Réalités Industrielles*, p. 94-100,171,178-179.
- Hosseini, Seyed Ehsan et Mazlan Abdul Wahid (2016). « Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: Promising green energy carrier for clean development », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 57, p. 850-866.

- Hunter, Chad, Michael Penev, Evan Reznicek, Jason Lustbader, Alicia Birky et Chen Zhang (2021). *Spatial and temporal analysis of the total cost of ownership for class 8 tractors and class 4 parcel delivery trucks*.
- Hydro-Québec *Tarif br*. Récupéré le 7 novembre 2022 de <https://www.hydroquebec.com/affaires/espace-clients/tarifs/tarif-experimental-bornes-recharge.html>
- Hydrolux (2022). *Hydrolux annonce les deux premières stations de ravitaillement en hydrogène vert pour le transport lourd au québec*. Récupéré le 1er octobre 2023 <https://hydrolux.ca/hydrolux-devoile-le-projet117/>
- Inkinen, Tommi et Esa Hämäläinen (2020). « Reviewing truck logistics: Solutions for achieving low emission road freight transport », *Sustainability*, vol. 12, no 17, p. 6714.
- Kapustin, Nikita O. et Dmitry A. Grushevenko (2020). « Long-term electric vehicles outlook and their potential impact on electric grid », *Energy Policy*, vol. 137.
- Kayser-Bril, Clara, Ramata Ba, Johanne Whitmore et Ashok Kinjarapu (2021). *Decarbonization of long-haul trucking in eastern canada*, CPCS. Récupéré de https://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2021/05/REPORT_eHighwaysEstCanada_WEB.pdf
- Kvale, Steinar (2018). *Doing interviews*, London, SAGE Publications Ltd. Récupéré de <http://digital.casalini.it/9781526426093>
- Li, Yanfei et Shigeru Kimura (2021). « Economic competitiveness and environmental implications of hydrogen energy and fuel cell electric vehicles in asean countries: The current and future scenarios », *Energy Policy*, vol. 148.
- Linn, Joshua et Virginia McConnell (2019). « Interactions between federal and state policies for reducing vehicle emissions », *Energy Policy*, vol. 126, p. 507-517.
- Lion (2023). *Lion8 tracteur*. Récupéré le 27 octobre 2023 de <https://thelionelectric.com/documents/fr/LionTruck-SpecSheet-202305-SCREEN-FRQC.pdf>
- Mathieu, Lucien (2020). *Recharge eu trucks: Time to act!* Récupéré de https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2020_02_RechargeEU_trucks_paper.pdf
- Meckling, Jonas et Jonas Nahm (2019). « The politics of technology bans: Industrial policy competition and green goals for the auto industry », *Energy Policy*, vol. 126, p. 470-479.
- Ministère des Transports et de la mobilité durable (2018). *Portrait statistique et économique; le camionnage au québec*. Récupéré de <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/entreprises-partenaires/ent-camionnage/statistiques/Documents/portrait-statistique.pdf>
- Ministère des Transports et de la mobilité durable (2023). *Programme écocamionnage*. Récupéré le 15 octobre 2023 de <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/aide-finan/entreprises-camionnage/aide-ecocamionnage/Pages/aide-ecocamionnage.aspx>
- Noel, Lance, Gerardo Zarazua de Rubens, Johannes Kester et Benjamin K. Sovacool (2020). « Understanding the socio-technical nexus of nordic electric vehicle (ev) barriers: A qualitative discussion of range, price, charging and knowledge », *Energy Policy*, vol. 138.

- Office québécoise de la langue française (2023a). *Transporteur routier pour compte d'autrui, transporteuse routière pour compte d'autrui*.
<https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/2068299/transporteur-routier-pour-compte-dautrui>
- Office québécoise de la langue française (2023b). *Transporteur routier pour compte propre, transporteuse routière pour compte propre*.
<https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/2068296/transporteur-routier-pour-compte-propre>
- Office québécoise de la langue française (2023c). *Transporteur, transporteuse*.
<https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/44245/transporteur>
- Paccar (2023). *T680e*. Récupéré le 11 octobre 2023 de
<https://www.kenworth.com/trucks/t680e/>
- Pagani, Regina Negri, João Luiz Kovaleski et Luis Mauricio Resende (2015). « Methodi ordinatio: A proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication », *Scientometrics*, vol. 105, no 3, p. 2109-2135.
- Page, Matthew J., Joanne E. McKenzie, Patrick M. Bossuyt, Isabelle Boutron, Tammy C. Hoffmann, Cynthia D. Mulrow, *et al.* (2021). « The prisma 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews », *PLOS Medicine*, vol. 18, no 3, p. e1003583.
- Peterbilt (2023). *579ev*. Récupéré le 21 novembre 2023
<https://www.peterbilt.com/trucks/electric/579EV>
- Peters, Ralf, Janos Lucian Breuer, Maximilian Decker, Thomas Grube, Martin Robinius, Remzi Can Samsun, *et al.* (2021). « Future power train solutions for long-haul trucks », *Sustainability*, vol. 13, no 4, p. 2225.
- Pineau, Pierre-Olivier et Johanne Whitmore (2022). *État de l'énergie au Québec*.
- Roberts, Nicholas, Mathieu Cyr, Johanne Whitmore et Pierre-Olivier Pineau (2023). *Décarbonation du transport routier longue distance dans l'est du Canada : Partie 2 - une évaluation techno-économique de technologies carboneutres sur le corridor a20-h401 entre les villes de québec et windsor, préparé par CPCS et la Chaire en gestion du secteur de l'énergie - HEC Montréal pour le gouvernement du Québec*. Récupéré de https://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2023/10/PARTIE2_Decarb-Camions-Longue-Dist.pdf
- Roulons électrique (s.d). *Transportez vert - volet borne de recharge rapide en courant continu (québec)*. Récupéré le 27 octobre 2023 de
<https://www.roulonselectrique.ca/fr/guide-du-vehicule/economie-de-coûts/entreprises-organisations/brcc/>
- Samsun, Remzi Can, Michael Rex, Laurent Antoni et Detlef Stolten (2022). « Deployment of fuel cell vehicles and hydrogen refueling station infrastructure: A global overview and perspectives », *Energies*, vol. 15, no 14, p. 4975.
- Seuring, Stefan et Stefan Gold (2012). « Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management », *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 17, no 5, p. 544-555.
- Sharan, B. Merriam et J. Tisdell Elizabeth (2016). *Qualitative research : A guide to design and implementation*, 4e éd.^e éd., San Francisco, Jossey-Bass.
- Sharpe, Ben (2019). *Zero-emission tractor-trailers in canada*, International Council on Clean Transportation.

- Shell (2021). *Decarbonising road freight : Getting into gear*, Deloitte.
- Simard-Jean, David (2023). *Batterie et hydrogène: Des experts font le tour de la question au colloque de l'acq*. Récupéré le 19 novembre 2023
<https://www.transportroutier.ca/nouvelles/batterie-et-hydrogene-des-experts-font-le-tour-de-la-question-au-colloque-de-lacq/>
- Société de l'assurance automobile du Québec (2016). *Programme d'entretien préventif (pep)*. Récupéré le 29 octobre 2023 de <https://saaq.gouv.qc.ca/transport-biens/vehicule-lourd/verification-entretien-mecanique/programme-entretien-preventif>
- Société de l'assurance automobile du Québec (2023). *Dispositif de consignation électronique (dce)*. Récupéré le 22 octobre 2023 de <https://saaq.gouv.qc.ca/transport-biens/conducteur/dce>
- Tesla (2023). *Semi*. Récupéré le 9 octobre 2023 de <https://www.tesla.com/semi>
- Tranfield, David, David Denyer et Palminder Smart (2003). « Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review », *British Journal of Management*, vol. 14, no 3, p. 207-222.
- Transport Routier (2022). *Top 25 québec*. <https://www.transportroutier.ca/top-25-quebec/>
- Trussart, Antoine (2021). « Harnois énergies : Miser sur l'hydrogène pour contrer le déclin », *La presse*.
- Unterlohner, Fedor (2021). *How to decarbonise long-haul trucking in germany*. Récupéré de https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2021_04_TE_how_to_decarbonise_long_haul_trucking_in_Germany_final.pdf
- Volvo (2023). *Specifications*. Récupéré le 9 octobre 2023
<https://www.volvotrucks.ca/en-ca/trucks/vnr-electric/specifications>
- Winkler, John Kenneth, Alexander Grahle, Anne Magdalene Syré, Kai Martins-Turner et Dietmar Göhlich (2022). « Fuel cell drive for urban freight transport in comparison to diesel and battery electric drives: A case study of the food retailing industry in berlin », *European Transport Research Review*, vol. 14, no 1, p. 2.
- Wolff, Sebastian, Michael Fries et Markus Lienkamp (2020). « Technoecological analysis of energy carriers for long-haul transportation », *Journal of Industrial Ecology*, vol. 24, no 1, p. 165-177.
- Wu, Yunna, Fangtong Liu, Jiaming He, Man Wu et Yiming Ke (2021). « Obstacle identification, analysis and solutions of hydrogen fuel cell vehicles for application in china under the carbon neutrality target », *Energy Policy*, vol. 159, p. 112643.
- Yip, Ho Lung, Aleš Srna, Anthony Chun Yin Yuen, Sanghoon Kook, Robert A. Taylor, Guan Heng Yeoh, *et al.* (2019). « A review of hydrogen direct injection for internal combustion engines: Towards carbon-free combustion », *Applied Sciences*, vol. 9, no 22.

Annexes

1. Annexe 1. Caractéristiques des technologies zéro ou faible émission (Roberts *et al.* 2023, p.7)

Toutes les technologies ci-dessous ont été étudiées dans un contexte où elles sont utilisées pour le transport de marchandises par camion classe 8. La majorité des informations qui y sont présentées sont des citations provenant de Roberts et al. (2023), p.7.

Batterie :

- « Les chargeurs branchables sont utilisés pour fournir de l'énergie électrique qui est stockée dans les batteries à bord du véhicule ».
- « Les systèmes de contrôle de la puissance gèrent la décharge des batteries pour fournir de l'énergie électrique au système motopropulseur ».

Piles à combustible à l'hydrogène :

- « Une station de ravitaillement en hydrogène fournit le carburant qui est stocké dans des réservoirs pressurisés à bord du véhicule ».
- « Le système de propulsion fonctionne lorsque l'hydrogène est libéré dans les piles à combustible par une réaction chimique qui produit de l'électricité, laquelle est stockée dans une petite batterie et se décharge pour alimenter le groupe motopropulseur électrique du véhicule) ».

Gaz naturel comprimé :

- « Une station de ravitaillement en GN comprimé fournit du carburant qui est stocké dans des réservoirs pressurisés à bord du véhicule ».
- « Le système de carburant régule la libération de la haute pression depuis les réservoirs de stockage, à travers les conduites de carburant pour l'injection dans le moteur à gaz naturel. Un système d'allumage par étincelles est utilisé pour brûler le gaz naturel et fournir de la puissance au système motopropulseur ».

Gaz naturel liquide :

- Le gaz naturel liquide peut être utilisé via des équipements similaires à ceux utilisés pour le diesel. Une différence notable est le fait qu'il doit être maintenu à d'environ -160 °C (ou -260 °F) afin d'atteindre et conserver une forme liquide (Gouvernement du Canada, 2023).

2. Annexe 1. Nombre de publications issues de la sélection d'articles scientifiques ayant fait mention des sous-avantages et des sous-obstacles

Avantages et obstacles	Sous-avantages et sous-obstacles	Auteurs
Avantages politiques	Les politiques structurantes	Fleming <i>et al.</i> , 2021 Fritz, Plötz et Funke, 2019 Linn et McConnell, 2019 Meckling et Nahm, 2019 Wu <i>et al.</i> , 2021
	Les politiques économiques de stimulation des ventes	Fleming <i>et al.</i> , 2021 Harvey, 2020 Kapustin et Grushevenko, 2020 Li et Kimura, 2021 Meckling et Nahm, 2019 Noel <i>et al.</i> , 2020 Samsun <i>et al.</i> , 2022 Yan <i>et al.</i> , 2021 Yip <i>et al.</i> , 2019
	Les politiques de valorisation industrielles dans les pays producteurs	Lee, Elgowainy et Vijayagopal, 2019 Linn et McConnell, 2019 Meckling et Nahm, 2019 Samsun <i>et al.</i> , 2022 Yip <i>et al.</i> , 2019
Obstacles techniques	Les défis de la production et le stockage de l'énergie	Dahlgren, 2022 Kapustin et Grushevenko, 2020 Yip <i>et al.</i> , 2019
	Les obstacles liés aux infrastructures de transport et à la distribution de l'énergie	Kapustin et Grushevenko, 2020 Lee, Elgowainy et Vijayagopal, 2019 Noel <i>et al.</i> , 2020 Wolff, Fries et Lienkamp, 2020
	Les défis techniques du véhicule	Dahlgren, 2022 Fleming <i>et al.</i> , 2021 Kapustin et Grushevenko, 2020 Noel <i>et al.</i> , 2020 Peters <i>et al.</i> , 2021 Winkler <i>et al.</i> , 2022 Wolff, Fries et Lienkamp, 2020 Wu <i>et al.</i> , 2021
	Les enjeux de sécurité	Harvey, 2020 Wolff, Fries et Lienkamp, 2020 Wu <i>et al.</i> , 2021

Obstacles économiques	Le coût de possession des camions zéro émission	Harvey, 2020 Kapustin et Grushevenko, 2020 Li et Kimura, 2021 Noel <i>et al.</i> , 2020 Winkler <i>et al.</i> , 2022 Wolff, Fries et Lienkamp, 2020 Wu <i>et al.</i> , 2021
	Les coûts d'exploitation des camions zéro émission	Noel <i>et al.</i> , 2020 Wu <i>et al.</i> , 2021
	Le faible enthousiasme pour les investissements	Linn et McConnell, 2019 Meckling et Nahm, 2019 Wu <i>et al.</i> , 2021 Noel <i>et al.</i> , 2020

3. Annexe 2. Guide d'entrevue - transporteurs pour compte d'autrui

Avantages et obstacles à la décarbonation du transport routier longue distance Guide d'entrevue pour transporteur pour compte d'autrui

Le présent questionnaire s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche sur la décarbonation du transport routier de marchandises de longue distance par camion classe 8. Il porte sur l'adoption de technologies alternatives au moteur à combustion interne alimenté au diesel, comme le camion électrique, à l'hydrogène, au biocarburant, etc. L'objectif principal de ce projet est de comprendre quels sont les avantages et les obstacles à l'adoption des camions alternatifs dans l'industrie du transport routier de marchandises de longue distance. Vos réponses nous aideront à comprendre les enjeux perçus et vécus par les transporteurs par rapport à l'adoption de ces camions et serviront pour la rédaction d'un mémoire de maîtrise et d'un rapport sur ce sujet.

Questions sur le répondant :

1. Quel est votre poste au sein de l'entreprise ?
2. Depuis combien de temps occupez-vous ce poste ?
3. Depuis combien de temps travaillez-vous dans le secteur du transport et de la logistique ?

Questions sur le type de marchandises :

4. Pouvez-vous me décrire brièvement dans quel domaine évolue votre clientèle ?
5. Y a-t-il certains clients pour lesquels vous faites davantage de transport ? Si oui, dans quel domaine oeuvrent ces derniers ?
6. Y a-t-il un type de marchandises que vous transportez plus qu'un autre ?

Questions sur les trajets :

7. Quelle est la part des activités de transport longue distance (plus de 160 km) dans votre entreprise ?
8. Quel pourcentage du transport de longue distance est effectué :
 - À l'intérieur du Québec :
 - En Ontario :
 - Ailleurs au Canada :
 - Aux États-Unis ou au Mexique :
9. Lorsqu'on regarde la composition du type de marchandises transportées sur de longues distances, est-ce qu'il y a un type de marchandises qui est davantage représenté ?
10. Quels sont les trajets longue distance les plus fréquents (ex. : Montréal-Toronto) ?

Questions sur le processus de la stratégie d'adoption des technologies faibles ou neutres en carbone :

11. Avez-vous quantifié les émissions de GES de vos activités de transport ?
12. Avez-vous un plan ou une stratégie de réduction des émissions de GES ?
13. Est-ce que ce plan ou stratégie de réduction de GES inclut l'adoption de camions lourds qui ne sont pas alimentés au diesel (ex. : camion électrique, à l'hydrogène, au biocarburant) ?

Si oui :

14. Avez-vous déjà fait l'acquisition de cette technologie/camion ?
15. Quel type de technologie alternative avez-vous ou prévoyez-vous adopter (électrique, à l'hydrogène, au biocarburant) ?
16. Quels sont la marque et le modèle du camion dont vous avez fait l'acquisition ou prévoyez faire l'acquisition ?
17. Pouvez-vous nous parler de votre stratégie d'approvisionnement ? Où pensez-vous vous approvisionner en énergie ? Détenez-vous l'équipement de recharge ?

Si non :

18. Quelles sont les principales raisons qui vous ont poussé à ne pas considérer adopter de camion zéro émission ?

Questions sur les obstacles et les avantages à l'adoption des camions lourds alternatifs au diesel :

19. Selon vous, quels sont les principaux obstacles et avantages à l'adoption des camions lourds électriques, à l'hydrogène ou au biocarburant et pourquoi ?
20. Parmi les obstacles et les avantages que vous avez évoqués, y en a-t-il qui vous semblent plus importants que d'autres ? Si oui, lesquels et pourquoi ?
21. Certains obstacles vous semblent-ils plus difficiles, ou au contraire, faciles à surmonter? Si oui, lesquels et pourquoi ?

Questions de clôture :

22. Sentez-vous que la clientèle ou la population en général demande ou apprécie un transport de marchandises moins émetteur de GES ?
23. Pensez-vous que des alternatives au transport par camions lourds sont envisageables sur les longues distances (ex. : transport ferroviaire ou maritime) ?
24. Que pensez-vous d'une manière générale de l'approche des gouvernements à la réduction des émissions de GES ?

3. Annexe 3. Guide d'entrevue - transporteurs pour compte propre

Avantages et obstacles à la décarbonation du transport routier longue distance Guide d'entrevue pour transporteur pour compte propre

Le présent questionnaire s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche sur la décarbonation du transport routier de marchandises de longue distance par camion classe 8. Il porte sur l'adoption de technologies alternatives au moteur à combustion interne alimenté au diesel, comme le camion électrique, à l'hydrogène, au biocarburant, etc.

L'objectif principal de ce projet est de comprendre quels sont les avantages et les obstacles à l'adoption des camions alternatifs dans l'industrie du transport routier de marchandises de longue distance. Vos réponses nous aideront à comprendre les enjeux perçus et vécus par les transporteurs par rapport à l'adoption de ces camions et serviront pour la rédaction d'un mémoire de maîtrise et d'un rapport sur ce sujet.

Questions sur le répondant :

1. Quel est votre poste au sein de l'entreprise ?
2. Depuis combien de temps occupez-vous ce poste ?
3. Depuis combien de temps travaillez-vous dans le secteur du transport et de la logistique ?

Questions sur l'entreprise :

4. Quelle est la taille de la flotte de camions de l'entreprise ?
5. Pouvez-vous me décrire brièvement sa composition (ex. : nombre de camion-porteurs, de tracteurs et de remorques) ?
6. Est-ce que l'entreprise fait affaire avec des camionneurs-proprétaires ? Si oui, quels sont en général leurs types de camions ?

Questions sur les trajets :

7. Quelle est la part des activités de transport longue distance (plus de 160 km) dans votre entreprise ?
8. Quel pourcentage du transport de longue distance est effectué :
 - a. À l'intérieur du Québec :
 - b. En Ontario :
 - c. Ailleurs au Canada :
 - d. Aux États-Unis ou au Mexique :
9. Lorsqu'on regarde la composition du type de marchandises transportées sur de longues distances, est-ce qu'il y a un type de marchandises qui est davantage représenté ?

10. Quels sont les trajets longue distance les plus fréquents (ex. : Montréal-Toronto) ?
11. Avez-vous quantifié les émissions de GES de vos activités de transport ?
12. Avez-vous un plan ou une stratégie de réduction des émissions de GES ?
13. Est-ce que ce plan ou stratégie de réduction de GES de votre entreprise inclut l'adoption de camions lourds qui ne sont pas alimentés au diesel (ex. : camion électrique, hydrogène, biocarburant) ?

Si oui :

14. Avez-vous déjà fait l'acquisition de cette technologie/camion ?
15. Quel type de technologie alternative avez-vous ou prévoyez-vous adopter (ex. : camion électrique, hydrogène, biocarburant) ?
16. Quels sont la marque et le modèle du camion dont vous avez fait l'acquisition ou prévoyez faire l'acquisition ?
17. Pouvez-vous nous parler de votre stratégie d'approvisionnement ? Où pensez-vous vous approvisionner en énergie ? Détenez-vous l'équipement de recharge ?

Si non :

18. Quelles sont les principales raisons qui vous ont poussé à ne pas considérer adopter de camion zéro émission ?

Questions sur les obstacles et les avantages à l'adoption des camions lourds alternatifs au diesel :

19. Selon vous, quels sont les principaux obstacles et avantages à l'adoption des camions lourds électriques, à l'hydrogène ou au biocarburant et pourquoi ?
20. Parmi les obstacles et les avantages que vous avez évoqués, y en a-t-il qui vous semblent plus importants que d'autres ? Si oui, lesquels et pourquoi ?
21. Certains obstacles vous semblent-ils plus difficiles, ou au contraire, faciles à surmonter ? Si oui, lesquels et pourquoi ?

Questions de clôture :

22. Sentez-vous que la clientèle ou la population en général demande ou apprécie un transport de marchandises moins émetteur de GES ?
23. Pensez-vous que des alternatives au transport par camions lourds sont envisageables sur les longues distances (ex. : transport ferroviaire ou maritime)?
24. Que pensez-vous d'une manière générale de l'approche des gouvernements à la réduction des émissions de GES ?

4. Annexe 4. Formulaire de consentement utilisé pour les entrevues

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT À UNE ENTREVUE EN ORGANISATION

1. Renseignements sur le projet de recherche

Vous avez été approché(e) pour participer au projet de recherche suivant :

Obstacles aux stratégies de décarbonation dans l'industrie du transport routier de marchandises de longue distance au Québec

Ce projet est réalisé par :

Étudiant à la maîtrise à HEC Montréal :

Josianne Lafontaine

Courriel : josianne.lafontaine@hec.ca

Directeur :

Pierre-Olivier Pineau

Tél : 514 340-6922

Courriel : pierre-olivier.pineau@hec.ca

Co-Directeur :

Jacques Roy

Tél : 514 340-6282

Courriel : jacques.roy@hec.ca

2. Résumé : L'importante participation du transport routier lourd aux émissions de gaz à effet de serre (GES) démontre le besoin d'entamer des démarches de réduction de la consommation d'énergies fossiles dans ce secteur. L'étude des camions équipés de technologies alternatives au moteur diesel fait partie des solutions étudiées. Partant de ce fait, l'objectif de cette recherche est de comprendre quels sont les facteurs qui facilitent ou font obstacles à l'adoption de camions lourds alternatifs au diesel et sobres en carbone chez les transporteurs pour compte propre et compte d'autrui. La compréhension des enjeux d'adoption de ces technologies permettra ainsi d'émettre des recommandations.

3. Confidentialité des renseignements personnels obtenus

Vous devez vous sentir libre de répondre franchement aux questions qui vous seront posées. Le chercheur, de même que tous les autres membres de l'équipe de recherche, le cas échéant, s'engagent à protéger les renseignements personnels obtenus en assurant la protection et la sécurité des données recueillies, en conservant tout enregistrement dans un lieu sécuritaire, en ne discutant des renseignements confidentiels qu'avec les membres de l'équipe de recherche et en n'utilisant pas les données qu'un participant aura explicitement demandé d'exclure de la recherche.

De plus les chercheurs s'engagent à ne pas utiliser les données recueillies dans le cadre de ce projet à d'autres fins que celles prévues, à moins qu'elles ne soient approuvées par le Comité d'éthique de la recherche de HEC Montréal. **Notez que votre approbation à participer à ce projet de recherche équivaut à votre approbation pour l'utilisation de ces données pour des projets futurs qui devront toutefois être approuvés par le Comité d'éthique de recherche de HEC Montréal.**

Toutes les personnes pouvant avoir accès au contenu de votre entrevue de même que la personne responsable d'effectuer la transcription de l'entrevue, ont signé un engagement de confidentialité.

4. Protection des renseignements personnels lors de la publication des résultats

Les renseignements que vous avez confiés seront utilisés pour la préparation d'un document qui sera rendu public. Les informations brutes resteront confidentielles, mais le chercheur utilisera ces informations pour son projet de publication. Votre nom ou celui de l'entreprise ne sera pas cité. Il vous appartient de nous indiquer le niveau de protection que vous souhaitez conserver lors de la publication des résultats de recherche en ce qui a trait à votre fonction.

Niveau de confidentialité

- J'accepte que ma fonction apparaisse lors de la diffusion des résultats de la recherche.
- Je ne veux pas que ma fonction apparaisse lors de la diffusion des résultats de la recherche.

Consentement à l'enregistrement audio de l'entrevue :

- J'accepte que le chercheur procède à l'enregistrement audio de cette entrevue.
- Je n'accepte pas que le chercheur procède à l'enregistrement audio de cette entrevue.

Vous pouvez indiquer votre consentement par signature ou par courriel.

SIGNATURE DU PARTICIPANT À L'ENTREVUE :

Prénom et nom :

Signature : _____ Date (jj/mm/aaaa) : _____

SIGNATURE DU CHERCHEUR :

Prénom et nom : _____

Signature : _____ Date (jj/mm/aaaa) : _____