

Vers des émissions
zéro pour le
**fret long-
courrier**
de classe 8



Partenaires de mise en œuvre:





Tous droits réservés. L'utilisation de toute partie de ce document, qu'elle soit reproduite, stockée dans un système d'extraction ou transmise sous quelque forme ou moyen que ce soit (y compris électronique, mécanique, photographique, photocopie ou enregistrement), sans l'autorisation écrite préalable de Pollution Probe, Mobility Futures Lab et Delphi, constitue une violation de la loi sur les droits d'auteur.

IMAGE DE COUVERTURE PAR GETTY

POUR PLUS D'INFORMATIONS,
VEUILLEZ CONTACTER :

Steve McCauley

Directeur principal, politique
Pollution Probe
smccauley@pollutionprobe.org

Cedric Smith

Directeur des transports
Pollution Probe
csmith@pollutionprobe.org

Richard Carlson

Directeur de l'énergie
Pollution Probe
rcarlson@pollutionprobe.org

Marc Saleh

Consultant principal
Mobility Futures Lab
msaleh@mobilityfutureslab.ca

Cara Laroche

Directeur, Mobilité durable
Delphi
clarochelle@delphi.ca

A propos de



**Pollution
Probe**

Pollution Probe est une organisation environnementale caritative canadienne fondée en septembre 1969 par des étudiants et des professeurs de l'Université de Toronto. Au cours des cinq dernières décennies, Pollution Probe a été à l'avant-garde des progrès réalisés sur toute une série de questions environnementales. Il a fallu des décennies de travail acharné pour obtenir des progrès sur nombre de ces questions.

Nous cherchons à obtenir des gains environnementaux en travaillant de manière productive avec les gouvernements, l'industrie et le public, en nous engageant résolument en faveur de la pureté de l'air, de la propreté de l'eau et de la santé de la planète. Nous engageons les gens à entretenir et à agir dans les domaines qui font l'objet d'un consensus. Notre niche dans le mouvement environnemental réside dans notre approche systémique, qui englobe trois principaux moteurs de progrès : la technologie et l'innovation, l'élaboration de réglementations et le changement de comportement.

[Web](#) | [Facebook](#) | [Twitter](#) | [Instagram](#) | [YouTube](#) | [Donate](#)



**Mobility
Futures
Lab**

Mobility Futures Lab est une société de conseil spécialisée dans le transport durable qui est à la pointe de l'innovation et de la recherche dans le domaine de la mobilité. Les services de la firme sont conçus pour aider les clients à naviguer dans le domaine complexe du transport durable, en mettant l'accent sur des outils logiciels exclusifs et des solutions basées sur des données. Notre approche est basée sur une compréhension profonde des interconnexions entre le transport, l'énergie et l'environnement.



DELPHI

Delphi fournit des services de conseil stratégique et des solutions innovantes aux gouvernements, aux organisations du secteur public, aux associations industrielles et aux entreprises à travers le Canada. Delphi est un leader reconnu dans les domaines de la durabilité des entreprises, des technologies propres et de l'innovation, du changement climatique et de l'économie verte et circulaire. En tant que pionnier de la durabilité et de la gestion des risques environnementaux, Delphi a aidé certaines des entreprises les plus connues du Canada à améliorer la durabilité de leurs organisations - ainsi que les communautés locales et mondiales dans lesquelles elles opèrent. Au cours des 30 dernières années, nous avons proposé des solutions audacieuses dans le cadre de plus de 2 500 projets dans tous les grands secteurs de l'économie. Nos clients bénéficient de la différence Delphi : nous apportons à chaque projet une combinaison unique d'expertise politique, de réflexion stratégique et de savoir-faire technique.

RECONNAISSANCES

Pollution Probe a reçu un financement de l'Initiative de sensibilisation aux véhicules à émission zéro (ISVEZ) de Ressources naturelles Canada. Les opinions exprimées dans ce rapport ne sont pas nécessairement celles de Ressources naturelles Canada.

Sommaire



Contexte

Le secteur des transports contribue de manière significative aux émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le monde, le camionnage longue distance jouant un rôle important dans cette catégorie. Au Canada, les camions longue distance de classe 8, conçus pour transporter des marchandises sur de longues distances, utilisent principalement du carburant diesel, ce qui entraîne de fortes émissions de GES et le rejet de polluants nocifs tels que le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NOx) et les matières particulaires (PM). Ces émissions contribuent à toute une série de problèmes de santé, en particulier pour les populations résidant à proximité des grands axes routiers. La prise de conscience croissante des ramifications environnementales et sanitaires des gaz d'échappement des moteurs diesel et le besoin urgent d'atténuer ces impacts ont catalysé l'exploration des technologies de véhicules zéro émission (VZE) dans le secteur.

En réponse à ces défis, Pollution Probe, en collaboration avec Delphi et Mobility Futures Lab et avec le financement de l'Initiative de sensibilisation aux véhicules à zéro émission (ISVEZ) de Ressources naturelles Canada (RNCan), a évalué l'état de maturité technologique et commerciale de deux principales options de véhicules à zéro émission (VZE) pour le secteur des transports routiers

de longue distance de classe 8 au Canada : les véhicules électriques à pile à hydrogène (VÉPC) et les véhicules électriques à batterie (VEB). Aux fins de cette évaluation, les moteurs à combustion interne (MCI) diesel ont été considérés comme la référence opérationnelle pour le transport routier lourd longue distance (c'est-à-dire que le MCI diesel permet des charges utiles et une autonomie suffisante pour être économique et fonctionne au sein d'un écosystème bien établi).

Cette étude a donné lieu à des consultations approfondies avec un ensemble varié d'intervenants, notamment des fabricants d'équipement d'origine (FEO), des services d'électricité, des producteurs d'hydrogène, des opérateurs de flottes et des décideurs politiques. Cette approche collaborative a facilité une comparaison détaillée des technologies VEB et VÉPC, en examinant leurs capacités opérationnelles, les exigences en matière d'infrastructure et le paysage actuel des politiques de soutien et des incitatifs. En évaluant la complexité et l'état de préparation de ces technologies, le rapport vise à fournir aux opérateurs de flottes et aux dirigeants des informations actualisées et contextuelles pour faciliter la transition vers le transport de marchandises à zéro émission au Canada.

Classe 8 – Technologies à zéro émission

Deux voies principales ont été identifiées pour décarboniser le transport longue distance avec les VZE : Les VEB, équipés de très grandes batteries et soutenus par un réseau étendu de stations de recharge publiques très puissantes, et les VÉPC, soutenus par un réseau national complet de distribution d'hydrogène. Ces deux voies impliquent des coûts initiaux considérables pour les véhicules et nécessitent un développement important de l'infrastructure de soutien. La parité des coûts avec les segments traditionnels n'est pas prévue avant la prochaine décennie, à moins d'un progrès technologique accéléré ou d'un soutien politique renforcé.

État de préparation et soutien des VZE pour les longs courriers

La percée potentielle des VEB long-courriers dépend de la synergie entre les progrès dans le domaine de la technologie des batteries et les innovations industrielles, telles que l'adoption généralisée de bornes de recharge rapide de plusieurs mégawatts et de l'infrastructure nécessaire pour les supporter. Ces progrès sont essentiels pour atténuer les problèmes liés à la limitation de l'autonomie et à la diminution de la charge utile pour la partie du secteur des véhicules long-courriers fonctionnant à la capacité de charge maximale. De même, alors que la propulsion à pile à hydrogène est plus proche de la référence sur le plan opérationnel dans des domaines tels que l'autonomie et la charge utile, des percées significatives dans le secteur de l'hydrogène carburant, en particulier dans la production d'hydrogène vert (par exemple, le développement de sites d'électrolyse alimentés par des énergies renouvelables), sont nécessaires pour réduire le coût du carburant, améliorant ainsi la viabilité globale des camions à pile à combustible à l'hydrogène. En outre, le développement d'une infrastructure complète de distribution d'hydrogène est essentiel pour soutenir l'adoption à grande échelle de ces véhicules.

Pour favoriser ces percées nécessaires et orienter le marché vers une trajectoire zéro émission, deux domaines de soutien sont essentiels : la politique et les incitatifs. La réglementation peut aider à combler le différentiel entre les véhicules à MCI diesel et les VZE en encourageant le développement et la fabrication de technologies alternatives. Par exemple, les réglementations sur les émissions à l'échappement accélèrent l'adoption de véhicules électriques à batterie et de véhicules à pile à combustible à hydrogène. Les mandats de vente peuvent également jouer un rôle, en rassurant les intervenants et en facilitant les investissements proactifs dans les infrastructures (réseaux d'hydrogène ou modernisation du réseau électrique).

Malgré l'émergence de réglementations favorables, le coût actuel de possession des véhicules zéro émission longue distance de classe 8 est plus élevé que celui des camions à MCI. Le déploiement d'une nouvelle technologie nécessite également des essais approfondis en conditions réelles pour arriver à maturité. Il est donc impératif que les organismes gouvernementaux continuent d'offrir des incitatifs financiers pour les projets de démonstration qui peuvent aider les opérateurs de flottes à se familiariser avec la technologie et contribuer à la maturation des modèles développés par les FEO par le biais d'opérations réelles dans le contexte canadien. En outre, l'expansion des projets de production et de transmission d'électricité à partir d'énergies renouvelables, ainsi que l'amélioration des réseaux de production et de distribution d'hydrogène vert, sont essentielles pour soutenir la transition vers un transport longue distance décarbonisé.

Table des matières

Sommaire	iv
1 Introduction	3
2 Capacités technologiques	5
2.1 Technologies des batteries électriques et des piles à hydrogène.....	5
2.2 Considérations opérationnelles.....	6
2.2.1 Autonomie.....	7
2.2.2 Charge utile	8
2.3 Exigences en matière d'infrastructure.....	9
2.3.1 Infrastructure de recharge.....	9
2.3.2 Infrastructure de ravitaillement en hydrogène.....	12
3 Évolution du marché	15
3.1 Réglementations et mesures incitatives.....	15
3.1.1 Réglementation des émissions de GES	15
3.1.2 Réglementation sur les émissions des PCA.....	16
3.1.3 Limites de poids des véhicules.....	17
3.1.4 Mandats de vente.....	18
3.1.5 Incitatifs financiers.....	19
3.2 Disponibilité commerciale	20
3.2.1 Disponibilité actuelle des modèles de classe 8.....	21
3.2.2 Activités actuelles de R&D sur les camions lourds à zéro émission	21
3.3 Coût total de possession	23
3.3.1 Économie des véhicules électriques à batterie	23
3.3.2 Économie des piles à hydrogène	24
4 Synthèse et analyse comparative	26
5 Conclusion	29



Liste des acronymes

ACF - Advanced Clean Fleets

ACT - Advanced Clean Trucks

AM - Année de modèle

BRCC - Borne de recharge rapide à courant continu

CCS - Combined Charging System (Système de charge combinée)

CO - Monoxyde de carbone

CO₂ - Dioxyde de carbone

CII - Crédit d'impôt à l'investissement

CVP - Commercial Vehicle Pilot Program (Programme pilote pour les véhicules commerciaux)

ECCC - Environnement et Changement climatique Canada

FEO - Fabricant d'équipement d'origine

GES - Gaz à effet de serre

iMHZEV - Incitatifs pour les véhicules moyens et lourds zéro émission

ISVEZ - Initiative de sensibilisation aux véhicules zéro émission

M2FCT - Million Mile Fuel Cell Truck Consortium (Consortium du camion à pile à hydrogène Million Mile)

MCI: Moteur à combustion interne

MCS - Système de recharge mégawatt

MCS - Megawatt Charging System

NMHC - Hydrocarbure non méthanique (Nonmethane Hydrocarbon)

NOx - Oxydes d'azote

PCA - Polluants contaminants atmosphériques

PE - Protocole d'entente

PIVEZ - Programme d'infrastructure pour les véhicules à émission zéro

PM - Matières particulaires

RNCan - Ressources naturelles Canada

VEB - Véhicules électriques à batterie

VÉPC - Véhicules électriques à pile à combustible

VML - Véhicules moyens et lourds

VZE - Véhicules zéro émission

1 Introduction



Au Canada, les camions long-courriers de classe 8, définis comme des véhicules dépassant une limite de poids de 14 969 kg (33 000 livres) et conçus pour le transport de marchandises sur de longues distances généralement supérieures à 500 kilomètres, sont principalement alimentés par des moteurs diesel. En 2022, le nombre de camions de classe 8 en circulation au Canada s'élevait à 369 000 véhicules, et on prévoit qu'il atteindra 380 000 d'ici 2027.¹ Une partie de cette flotte opère sur des trajets régionaux et l'autre sur des trajets longue distance, la répartition n'étant pas claire à ce stade. Dans le secteur des véhicules moyens et lourds (VML) au Canada, ces camions représentent le segment le plus émetteur de gaz à effet de serre (GES), en raison des distances importantes qu'ils parcourent chaque année et de leurs capacités de charge considérables. Les gaz d'échappement des moteurs diesel, un sous-produit de leur fonctionnement, contiennent des polluants nocifs, notamment du monoxyde de carbone (CO), des oxydes d'azote (NOx) et des matières particulaires (PM). Les conséquences sanitaires de l'exposition à ces polluants sont de plus en plus reconnues, notamment en termes d'aggravation des maladies cardiovasculaires et

respiratoires, en particulier pour les résidents vivant à proximité des autoroutes où ces camions circulent fréquemment.² Les effets des gaz d'échappement des camions longue distance sur la santé de la population sont de mieux en mieux compris, ce qui souligne l'urgence de réduire les émissions de ce secteur.

Les véhicules électriques à pile à hydrogène (VÉPC) et les véhicules électriques à batterie (VEB) sont les deux principales technologies de véhicules à zéro émission (VZE) susceptibles d'être adoptées à grande échelle dans les opérations de camionnage longue distance. Dans ce contexte, « zéro émission » signifie spécifiquement qu'il n'y a pas d'émissions à l'échappement, ce qui est crucial pour réduire la pollution de l'air.

Il est important de reconnaître que l'impact environnemental des VEB dépend des sources d'énergie du réseau électrique local, qui peuvent varier considérablement d'une région à l'autre. Certaines régions bénéficient de sources d'énergie renouvelables plus propres, ce qui entraîne moins d'émissions indirectes, tandis que d'autres

1 Truck News (2023). Le marché secondaire des poids lourds continue de croître alors que l'économie ralentit. Extrait de : <https://www.trucknews.com/business-management/heavy-duty-aftermarket-continues-to-grow-as-economy-slows/1003171991/#:~:text=Canada%20had%20a%20total%20Class,climb%20to%20589%2C000%20in%202027.>

2 Pan, S., Roy, A., Choi, Y., Sun, S.Q., Gao, H.O., 2019. La qualité de l'air et les impacts sur la santé des projections de transport de marchandises par camion long-courrier et par train aux États-Unis en 2050. Environ. Int. 130. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104922>

dépendent plus fortement des combustibles fossiles pour la production d'électricité, ce qui entraîne des émissions indirectes plus élevées. L'empreinte environnementale des VÉPC dépend largement de la méthode de production de l'hydrogène. Dans le présent rapport, lorsque nous faisons référence à l'utilisation de l'hydrogène, nous parlons spécifiquement d'« hydrogène vert », qui désigne l'hydrogène produit par électrolyse de l'eau à l'aide d'énergie renouvelable. Cette méthode est considérée comme la plus respectueuse de l'environnement, car elle produit le moins d'émissions par rapport aux autres méthodes de production d'hydrogène.

Dans le segment de marché des véhicules long-courriers de classe 8, il existe un débat important entre les technologies de type VÉPC et VEB. Avant les récents développements en matière de réduction des coûts dans l'industrie des batteries, les VEB ont longtemps été considérés comme irréalisables pour ce segment de marché, car les besoins en énergie de ces véhicules nécessiteraient des batteries très grandes, coûteuses et lourdes, ce qui pourrait réduire la capacité de charge utile des camions long-courriers opérant dans les limites de poids existantes. L'infrastructure de recharge à haute puissance est également citée comme un obstacle important aux camions électriques longue distance d'un point de vue technologique et financier. Étant donné que les réservoirs d'hydrogène peuvent être remplis rapidement, ce qui réduit le temps passé hors de la route, les VÉPC ont souvent été considérés comme une technologie VZE prometteuse, mais la production d'hydrogène nécessite beaucoup d'énergie, ainsi qu'un réseau coûteux d'infrastructures connexes qui n'existe pas encore aujourd'hui.³

En 2024, de nombreux constructeurs de camions misent encore sur les VÉPC pour assurer l'avenir du transport longue distance. D'autres misent sur les VEB, persuadés que les progrès de la technologie des batteries au cours de la prochaine décennie en feront la propulsion de choix pour les camions,

des camionnettes de livraison aux puissants camions semi-remorques. Les opérateurs de flottes et les décideurs manquent actuellement d'informations actualisées sur l'évolution de chaque technologie et sur les implications de leur adoption dans le contexte canadien.

Dans ce contexte, Pollution Probe, en partenariat avec Delphi et Mobility Futures Lab, a reçu un financement de l'Initiative de sensibilisation aux véhicules zéro émission (ISVEZ) de RNCan pour réaliser une évaluation de la technologie et de l'état de préparation du marché comparant les technologies VÉPC et VEB dans le secteur des véhicules long-courriers de classe 8 dans le contexte canadien. Le projet a donné lieu à des consultations avec des intervenants, notamment des fabricants d'équipement d'origine (FEO), des services d'électricité, des entreprises de production d'hydrogène, des opérateurs de flottes et des décideurs politiques. Cette comparaison côte à côte des VEB et des VÉPC pour les longs trajets de classe 8 aborde les possibilités, les défis et les considérations nécessaires à l'adoption des deux options technologiques.

Cette évaluation technologique évalue les technologies VEB et VÉPC, en examinant les progrès de leur développement, leur état actuel et leurs besoins futurs. Elle couvre à la fois les innovations en matière de véhicules et d'infrastructures de recharge et de ravitaillement. Le rapport examine également la complexité des développements d'infrastructures nécessaires pour ces technologies dans les corridors long-courriers canadiens, ainsi que les développements préliminaires dans diverses provinces. L'évaluation de l'état de préparation du marché examine le succès potentiel de ces technologies, en tenant compte de facteurs tels que la capacité de production, l'analyse des coûts et les réglementations et incitatifs existants, y compris les incitatifs et règles fédéraux et provinciaux conçus pour favoriser l'adoption de véhicules zéro émission sur de longues distances au Canada.

3 NACFE (2023). Le milieu désordonné : Un temps pour l'action. Extrait de : <https://nacfe.org/research/thought-leadership/the-messy-middle/>

2 Capacités technologiques



2.1 Technologies des batteries électriques et des piles à hydrogène

Les camions électriques à batterie utilisent des batteries lithium-ion pour stocker l'énergie électrique (Figure 1). Un moteur électrique alimente le véhicule en convertissant l'électricité stockée en mouvement. Ces camions nécessitent de gros blocs de batteries pour atteindre l'autonomie nécessaire aux applications longue distance, et l'énergie pour les charger est généralement fournie par le réseau électrique. Un système de gestion de la batterie joue un rôle crucial dans la surveillance et le contrôle des performances, de la santé et de la sécurité du bloc-batterie, en assurant une efficacité énergétique optimale et en protégeant contre les problèmes potentiels tels que la surcharge, la surchauffe et la dégradation générale.

Hydrogen fuel cell trucks generate electricity
 Les camions à pile à hydrogène produisent de l'électricité à bord en combinant de l'hydrogène gazeux stocké dans des réservoirs à haute pression avec de l'oxygène dans une pile à combustible, ce qui déclenche une réaction chimique qui produit de l'énergie électrique pour les moteurs électriques du camion (Figure 2). Dans les configurations où la pile à combustible est dominante, la puissance de propulsion primaire provient de la pile à combustible,



Figure 1 : Configuration des camions électriques à batterie ⁴

complétée par un ensemble de batteries plus petites utilisées pour la récupération d'énergie et pour fournir une puissance supplémentaire lors des pics de demande. À l'inverse, une conception où la batterie est dominante s'appuie principalement sur un bloc-batterie plus important pour la propulsion. Certains VÉPC font preuve de flexibilité en fonctionnant dans différents modes, ce qui leur permet de choisir entre la pile à combustible et la batterie, ou une combinaison des deux, en s'adaptant à différentes proportions en fonction du cycle d'utilisation et de l'état du véhicule.

⁴ Cleantechnica (2022). Détails du Tesla Semi révélés dans les diagrammes du catalogue des pièces. Extrait de : <https://cleantechnica.com/2023/01/05/tesla-semi-details-revealed-in-parts-catalog-diagrams/>

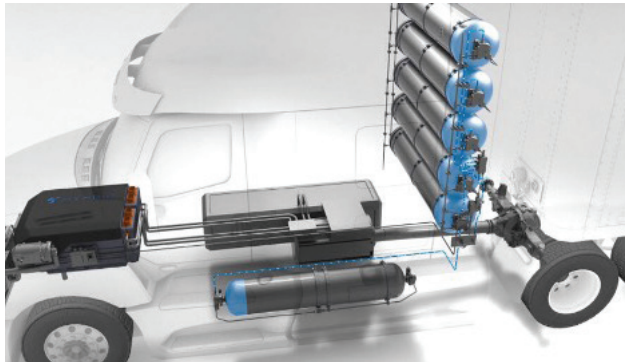


Figure 2 : Configuration d'un camion à pile à hydrogène ⁵

Les camions électriques à batterie offrent une efficacité énergétique supérieure à celle des technologies alternatives, allant de 65 % à 85 % entre la borne de recharge et les roues.⁶ En comparaison, les camions MCI affichent des taux d'efficacité de 40 à 50 %, tandis que les camions à pile à hydrogène affichent des taux d'efficacité de 30 à 50 %.⁷ Les VÉPC et les VEB utilisent tous deux des systèmes de propulsion électrique. Cependant, le processus de conversion de l'hydrogène à partir de sources telles que l'eau, sa compression pour l'utilisation par le véhicule, puis sa reconversion en électricité nécessitent de multiples étapes consommatrices d'énergie, ce qui rend l'hydrogène moins efficace comme source de carburant pour les véhicules que l'utilisation directe de l'électricité du réseau pour alimenter les VEB.

2.2 Considérations opérationnelles

Le camionnage longue distance est un élément essentiel de la chaîne d'approvisionnement en marchandises du Canada. La route transcanadienne, qui s'étend sur plus de 7 800 kilomètres de la côte ouest de la Colombie-Britannique à la côte est de Terre-Neuve-et-Labrador, est une artère clé pour les itinéraires de camionnage (Figure 3). Ces routes comprennent des corridors majeurs tels que l'autoroute 401 en Ontario, l'autoroute 17 dans le nord de l'Ontario, l'autoroute 2 en Alberta, l'autoroute 16 dans les provinces de l'ouest et l'autoroute 20 au Québec. En raison de la géographie étendue du pays, les transporteurs routiers longue distance naviguent dans des conditions météorologiques et sur des terrains variés, couvrant de grandes distances depuis les montagnes Rocheuses jusqu'aux Prairies et au Bouclier canadien, assurant ainsi la circulation efficace des marchandises à travers le pays.

L'industrie du camionnage est un élément clé de l'économie canadienne, car elle facilite la circulation des marchandises entre les provinces ainsi qu'à destination et en provenance des États-Unis. La profession de conducteur de grand routier au Canada comporte son lot de défis, notamment la traversée de régions éloignées, les conditions météorologiques extrêmes et le respect de réglementations strictes régissant les heures de conduite et les pauses. La demande de chauffeurs routiers qualifiés et fiables reste élevée, et l'industrie continue d'évoluer avec les progrès de la technologie, de la logistique et des efforts pour améliorer la durabilité environnementale.



Figure 3 : Réseau routier national canadien ⁸

- 5 Transport for NSW (2023). Véhicules à pile à hydrogène (VÉPC). Extrait de : <https://www.transport.nsw.gov.au/operations/freight-hub/towards-net-zero-emissions-freight-policy/knowledge-hub/fuel-cell-electric>
- 6 L'expression « de la borne de recharge aux roues » désigne l'efficacité avec laquelle l'énergie électrique est convertie en énergie mécanique pour propulser le véhicule, depuis la charge électrique initiale jusqu'à la rotation effective des roues.
- 7 NACFE (2023). Le milieu désordonné : Un temps pour l'action. Extrait de : <https://nacfe.org/research/thought-leadership/the-messy-middle/>
- 8 Transports Canada (2020). La carte du réseau routier national (RRN). Extrait de : <https://tc.canada.ca/en/corporate-services/policies/national-highway-system-nhs-map>

Au Canada, les grands routiers parcourent généralement entre 650 et 1 100 kilomètres par jour, en respectant les réglementations de Transports Canada et des provinces et territoires. Les heures de conduite sont limitées à 13 heures par jour, avec des pauses obligatoires au cours des huit premières heures de conduite. La communication et la documentation, y compris l'utilisation de dispositifs d'enregistrement électronique, sont essentielles pour assurer la coordination avec les répartiteurs et garantir le respect des règles. Les arrêts de nuit, les périodes de repos et la tenue de registres précis font partie intégrante de la routine d'un conducteur de camion, les réglementations étant sujettes à des mises à jour dont les conducteurs doivent se tenir informés.

2.2.1 Autonomie

Les camions diesel longue distance peuvent parcourir des distances allant jusqu'à environ 1 600 km avant de devoir faire le plein. Les camions VÉPC de classe 8 ont une autonomie moyenne d'environ 680 km contre 350 km pour les camions VEB, d'après les modèles commercialisés et dont la production est prévue en Amérique du Nord. La Figure 4 présente l'autonomie des camions de classe 8 à batterie électrique et à pile à combustible à hydrogène en production ou dont la production est prévue dans les années à venir sur le marché nord-américain de la classe 8. Les VÉPC peuvent atteindre une plus grande autonomie que les VEB en raison de la capacité des réservoirs d'hydrogène à contenir plus d'énergie que les batteries. Les températures froides et les conditions météorologiques extrêmes peuvent avoir un impact sur l'autonomie des VEB, bien qu'il n'existe pas de données publiques permettant de quantifier avec précision ces effets dans le contexte canadien du transport longue distance. Les camions VÉPC devraient être moins affectés, principalement parce qu'ils dépendent moins des batteries.

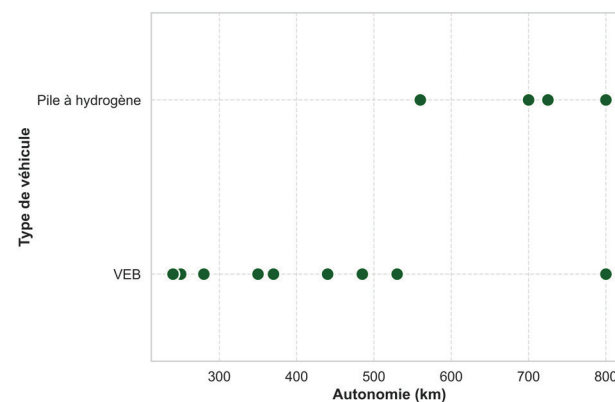


Figure 4 : Gamme de modèles de tracteurs de classe 8 électriques à batterie et à pile à hydrogène disponibles sous différentes configurations qui devraient être produits d'ici à 2025 (chaque point représente une configuration de modèle).

VEB

L'intégration réussie des camions VEB de classe 8 dans le transport longue distance dépend du déploiement de batteries de grande taille avec des capacités d'autonomie suffisantes. Les tracteurs électriques à batterie de classe 8 existants, avec une autonomie moyenne de 350 km, ne conviennent qu'au transport régional de retour au dépôt et non aux trajets longue distance.⁹ Les batteries plus volumineuses nécessaires au transport de marchandises sur de longues distances augmentent le poids du véhicule, ce qui a un impact sur la capacité de charge utile des camions. Cela crée un dilemme : choisir des batteries plus petites, nécessitant une recharge rapide mais actuellement indisponible sur les aires de repos, ou investir dans des batteries surdimensionnées, exacerbant les problèmes de poids et de coût. Cet équilibre délicat entre l'autonomie et la charge utile est encore compliqué par l'impact des conditions météorologiques extrêmes sur l'autonomie des VEB.

VÉPC

Il existe deux options de pression pour le stockage de l'hydrogène comprimé dans les camions : 350 bars et 700 bars. Le stockage à 350 bars est la norme pour les bus VÉPC avec des autonomies allant jusqu'à 400 km, mais n'est pas suffisant pour les camions longue distance. L'option de l'hydrogène gazeux comprimé à 700 bars offre une plus grande autonomie (700 km en moyenne), grâce à une densité volumétrique plus élevée, mais à un coût plus élevé. Cette option est actuellement à l'étude pour

⁹ Forbes (2023). Tesla n'est pas la seule entreprise à proposer des camions électriques de classe 8. Extrait de : <https://www.forbes.com/sites/michaelharley/2023/09/24/tesla-isnt-the-only-company-offering-electric-class-8-trucks/?sh=17a01acb8c24>

Le secteur du camionnage longue distance de classe 8. Les technologies de stockage de l'hydrogène liquide et cryocompressé, qui refroidissent et compriment l'hydrogène à des pressions encore plus élevées, augmentent considérablement la densité de stockage. Elles offrent la plus grande autonomie, atteignant actuellement des distances de 800 à 900 km et devant dépasser les 1 000 km d'ici 2030, mais présentent des défis supplémentaires en raison de l'obligation de maintenir des températures très basses.¹⁰

Un certain nombre de projets de démonstration et d'essais en conditions réelles ont lieu au Canada et aux États-Unis pour les camions VEB et VÉPC de classe 8. Ces essais permettent de vérifier l'autonomie et d'autres mesures de performance des camions.¹¹ Plus d'informations sur ces démonstrations sont disponibles dans la section 3.2 Disponibilité commerciale.

2.2.2 Charge utile

Les véhicules utilitaires lourds doivent respecter des limites de poids réglementées, garantissant que chaque véhicule reste dans les limites d'un poids brut spécifié. Les réglementations en matière de poids par juridiction sont décrites à la section 3.1.3. Si l'on soustrait le poids du véhicule non chargé des limites de poids brut, on obtient le poids de fret disponible. La limite de poids fédérale aux États-Unis est de 36 500 kg (80 000 livres) ; cependant, un certain nombre de lois nationales la dépassent, voire la doublent.¹² Au Canada, les réglementations établies par les provinces en matière de poids peuvent aller jusqu'à 63 500 kg (140 000 livres).

Des données provenant de l'industrie et d'entretiens suggèrent que la majorité du fret transporté aux États-Unis reste en dessous de la limite de poids maximale aux États-Unis, mais il est difficile de déterminer avec certitude si un camion de fret long-courrier fonctionne à pleine capacité. En effet, certains expéditeurs regroupent leurs commandes pour maximiser l'utilisation de l'espace, sans toujours atteindre le plein chargement, tandis que d'autres n'expédient que des chargements complets, ce qui entraîne une variabilité de l'utilisation des camions.

Les données détaillées sur les charges transportées au Canada sont confidentielles et peu disponibles, à l'exception de la Colombie-Britannique, où l'on estime que 32 % des camions de classe 8 roulent au-dessus des limites de poids américaines, selon les données des balances provinciales.¹³

Les camions VÉPC et VEB de classe 8 sont principalement développés pour répondre aux limites de poids américaines de 36 500 kg (80 000 lb). Les deux technologies devraient être plus lourdes que leurs équivalents à moteur diesel MCI et donc entraîner une réduction de la charge utile. Les camions VÉPC devraient peser en moyenne 3 520 kg de plus qu'un camion à moteur à combustion interne en raison du poids supplémentaire des réservoirs d'hydrogène à haute pression. La densité volumétrique plus faible de l'hydrogène et les exigences de pression par rapport au diesel nécessitent un poids supplémentaire sur le véhicule pour le stockage du carburant. L'hydrogène liquide peut atténuer ce problème, mais il introduit des complexités supplémentaires dans le système global (par exemple, le refroidissement et le maintien à une température inférieure à -253 degrés Celsius). Les améliorations à l'échelle de la production devraient réduire cette pénalité de poids à 1 800 - 2 300 kg (4 000-5 000 livres) grâce à des réductions de poids dans les composants des véhicules.¹⁴

Dans les opérations de transport longue distance pour les camions VEB de classe 8, la capacité de charge utile est liée à la taille de la batterie, qui varie en fonction des exigences en matière d'autonomie. Le choix de la taille de la batterie est également influencé par la disponibilité et l'efficacité des bornes de recharge rapide de grande puissance. Une infrastructure de recharge rapide efficace pourrait rendre les petites batteries plus viables, car elles pourraient être rechargées rapidement lors d'arrêts plus fréquents. Pour une autonomie de 400 à 600 km, les camions VEB de classe 8 devraient peser, en moyenne, de 3 150 à 6 350 kg (7 000 à 14 000 livres) de plus que les camions diesel. Plus l'autonomie du véhicule augmente, plus la charge utile doit être limitée pour s'adapter à des batteries plus volumineuses. Cette relation est cruciale pour comprendre l'impact de la variation de l'autonomie

10 ICCT (2022). Tracteurs-remorques électriques à pile à combustible : Aperçu de la technologie et économie de carburant. Extrait de : <https://theicct.org/publication/fuel-cell-tractor-trailer-tech-fuel-jul22/>.

11 TruckNews (2023). 3 millions de dollars investis dans des projets de camionnage zéro émission, y compris un nouveau banc d'essai. Extrait de : <https://www.trucknews.com/sustainability/3-million-invested-in-zero-emission-trucking-projects-including-new-testbed/1003177774/>

12 BigTruckGuide (2016). Lois sur la taille et le poids des semi-remorques aux États-Unis et au Canada. Extrait de : <https://www.bigtruckguide.com/semi-truck-size-and-weight-laws-in-the-united-states-and-canada/>

13 British Columbia Trucking Association (2024). Voie à suivre pour atteindre les objectifs climatiques 2030 de la Colombie-Britannique en matière de camionnage lourd. Extrait de : <https://www.cleancarrier.ca/wp-content/uploads/2024/02/BCTA-White-Paper-2024.pdf>.

14 NACFE (2020). Comprendre les tracteurs lourds à pile à hydrogène. Extrait de : <https://nacfe.org/downloads/making-sense-of-hydrogen-fuel-cell-tractors/>

sur la capacité de charge utile des camions électriques à batterie sur les longues distances.¹⁵ Les progrès réalisés dans le domaine de la chimie des batteries devraient permettre de réduire cette pénalité de poids à 1 939 kg d'ici 2050.¹⁶

Étant donné qu'une partie des camions long-courriers au Canada transportent des charges plus lourdes que dans la plupart des États américains en raison des limites de poids plus élevées au Canada, ces charges accrues exigent des solutions d'alimentation en énergie plus robustes, ce qui entraîne une plus grande consommation d'hydrogène ou d'énergie par les véhicules. Cela représente un défi supplémentaire pour l'intégration des technologies zéro émission dans le contexte canadien, qui nécessite des essais spéciaux. Ces essais sont nécessaires pour que les camions disponibles sur le marché soient certifiés pour le transport aux poids et dimensions canadiens.

2.3 Exigences en matière d'infrastructure

Les entreprises de transport longue distance devront prévoir des arrêts de recharge et de ravitaillement dont la durée correspondra autant que possible à la durée existante des arrêts de repos. Ainsi, la transition n'imposera pas aux entreprises de camionnage des coûts supplémentaires en temps de personnel en raison des temps de recharge ou de ravitaillement prolongés.

2.3.1 Infrastructure de recharge

2.3.1.1 Production et distribution d'électricité

Les modèles de VEB de classe 8 devraient avoir des batteries 10 à 15 fois plus grandes que celles des véhicules légers de transport de passagers. L'impact de l'électrification des véhicules long-courriers de classe 8 sur le réseau électrique n'est pas aussi bien compris ou étudié qu'il l'a été pour les véhicules légers.¹⁷ L'électrification des véhicules lourds pose deux problèmes. Premièrement, la quantité d'énergie nécessaire pour répondre à la demande supplémentaire d'électricité pour le transport,

généralement mesurée en MWh. Deuxièmement, la puissance requise - le taux auquel l'énergie est consommée, généralement mesurée en MW. En d'autres termes, le système électrique doit s'assurer qu'il peut à la fois fournir l'énergie totale qui sera nécessaire et que la puissance est disponible pour recharger les véhicules.

Les intervenants consultés indiquent que l'augmentation de la production d'électricité n'est pas un obstacle important si la demande est correctement prévue. Dans une étude sur l'électrification des véhicules utilitaires lourds dans l'Union européenne réalisée par l'association des gestionnaires de réseaux européens, il a été prévu que l'électrification des véhicules utilitaires lourds ne représenterait que 3 % de la consommation totale d'électricité en 2030, ce qui ne constituerait pas un défi important. Toutefois, le transport et la distribution de l'électricité restent des problèmes, car la demande supplémentaire de puissance, en particulier en ce qui concerne la disponibilité et la capacité du réseau, devrait constituer un défi de taille.¹⁸

2.3.1.2 Development of charging infrastructure

Afin de permettre le rechargement de grandes batteries pendant la durée relativement courte des arrêts obligatoires des conducteurs lors des voyages long-courriers, les points de rechargement devront fournir des puissances très élevées pour le rechargement rapide. National Grid, un service d'électricité et de gaz américain, estime qu'il est possible que les stations de recharge des grands camions aient un appel de puissance proche de celui d'une petite ville.¹⁹ National Grid a également analysé la capacité des circuits de distribution à prendre en compte l'électrification des flottes dans certaines zones. D'après cette analyse, 68 % des circuits de distribution actuels dans la région évaluée seraient surchargés ou risqueraient de l'être lors des pics de demande dans le système de distribution (en été ou en hiver), certains nécessitant une augmentation de leur capacité de deux à trois fois, l'augmentation totale allant de 1 à plus de 20 MW.²⁰ Ces investissements comprendront probablement aussi la transmission de l'électricité

15 NACFE (2019). Tracteurs électriques, hybrides et à carburant alternatif viables de classe 7/8. Extrait de : https://nacfe.org/wp-content/uploads/2024/05/Viable-Class-7-8-Alternative-Vehicles-Final-12-10-_compressed.pdf

16 Harvey, J.; Saboori, A.; Miller, M.; Kim, C.; Jaller, M.; Lea, J., et al. (2020). Effets de l'augmentation du poids des camions à carburant alternatif sur les chaussées et les ponts. UC Office of the President: University of California Institute of Transportation Studies. Extrait de : <http://dx.doi.org/10.7922/G27M066V>

17 Brennan Borlaug, et al. (2021). Électrification des poids lourds et impact de la recharge des dépôts sur les réseaux de distribution d'électricité, Nature Energy, Vol. 6. Extrait de : <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00855-0>.

18 ENTSO-E (2023). Document de synthèse sur le « Déploiement des véhicules utilitaires électriques lourds et leur impact sur le réseau électrique ». Extrait de : <https://www.entsoe.eu/2023/10/06/position-paper-on-deployment-of-heavy-duty-electric-vehicles-and-their-impact-on-the-power-system/>

19 Tom Randall (2022). Les arrêts de camions électriques auront besoin d'autant d'énergie qu'une petite ville, Bloomberg News. Extrait de : <https://www.bnnbloomberg.ca/electric-truck-stops-will-need-as-much-power-as-a-small-town-1.1846067>.

20 National Grid, Hitachi (2021). La route vers la décarbonisation des transports : Comprendre les impacts des flottes électriques sur le réseau électrique. Extrait de : <https://www.nationalgridus.com/media/pdfs/microsites/ev-fleet-program/understandinggridimpactssofelectricfleets.pdf>.

sur de longues distances et la distribution aux sites locaux (Figure 5), ce qui peut prendre du temps et coûter cher. Les coûts et le calendrier exacts de tout projet d'électrification dépendront de la connexion existante, de l'infrastructure développée dans la région et de la distance par rapport aux sous-stations.

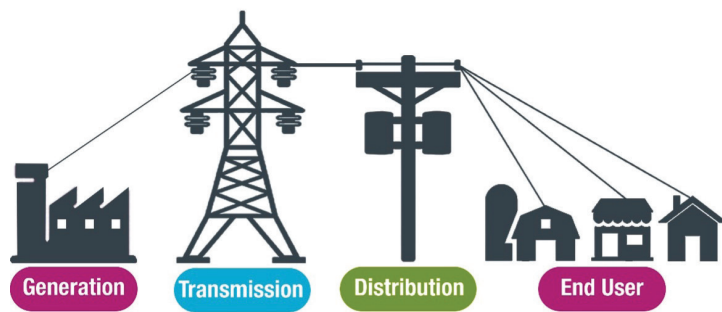


Figure 5 Secteurs clés de l'industrie de l'électricité.²¹

Des infrastructures de recharge pour les poids lourds devront être mises en place à des endroits réguliers et appropriés le long des corridors de fret.²² Les hubs de recharge demandés en Europe vont de 1,8 MW à 8,4 MW, ce qui nécessitera une connexion moyenne tension de 10 à 35 kV.²³ Étant donné que les responsabilités en matière de gestion du réseau diffèrent d'une juridiction à l'autre, la planification du raccordement au réseau d'une borne de recharge peut nécessiter une coordination entre plusieurs entreprises.²⁴

L'électrification des transports lourds nécessitera d'importants investissements de la part des services d'électricité dans les infrastructures de transmission et de distribution. Il appartiendra aux services d'électricité, aux décideurs politiques et aux régulateurs de planifier ces investissements de manière à ne pas retarder la transition vers l'électrification, tout en évitant d'investir dans des actifs longtemps avant qu'ils ne soient utilisés, voire inutilisés si la demande ne se matérialise

pas. Les services d'électricité devront planifier et construire des infrastructures permettant à un nombre important de camions long-courriers de se recharger simultanément en utilisant des bornes de recharge de très haute puissance le long des corridors de fret dans des endroits qui ne nécessitaient pas auparavant une telle quantité de puissance.²⁵

2.3.1.3 Gestion des coûts d'infrastructure

Comme mentionné ci-dessus, d'importants investissements en capital seront nécessaires pour construire un réseau de recharge pour les véhicules longue distance. Dans la plupart des cas, les opérateurs de réseaux électriques ne construisent pas leurs réseaux de manière proactive pour répondre à la demande anticipée ; au contraire, la structure réglementaire signifie qu'ils attendent les demandes de raccordement avant de demander l'approbation réglementaire des dépenses d'investissement. Cette politique garantit que les services d'électricité n'investissent pas dans des actifs qui pourraient ne pas être utilisés comme prévu, ce qui entraînerait des coûts plus élevés pour tous les clients, mais cette politique peut entraîner de longs délais d'approbation avant que la construction ou l'acquisition ne puisse commencer. Dans certains cas, l'orientation politique a permis aux services d'électricité de certaines juridictions de préparer de manière proactive leurs réseaux pour l'électrification des transports, permettant ainsi des dépenses d'investissement en prévision du développement du marché et de l'augmentation de la demande ;²⁶ toutefois, ces dépenses d'investissement proactives restent rares.

Dans le cas où les améliorations du réseau sont réalisées en réponse à une demande de connexion, les coûts sont généralement facturés au client qui a besoin de la puissance à ce moment-là, même si les clients futurs peuvent bénéficier de l'amélioration.²⁷ Indépendamment de l'orientation politique en matière de dépenses d'investissement anticipées,

21 Utilities Consumer Advocate (2023). Comprendre le marché de l'électricité. Extrait de : <https://ucahelps.alberta.ca/electricity-energy-market.aspx>

22 En mars 2024, le U.S. Joint Office of Energy and Transportation, le U.S. Department of Energy, le U.S. Department of Transportation et l'Environmental Protection Agency ont publié la National Zero-Emission Freight Corridor Strategy (stratégie nationale pour les corridors de fret à zéro émission). Cette stratégie « définit une approche pangouvernementale visant à harmoniser les investissements et à accélérer le déploiement durable et évolutif d'une infrastructure de VML ZE fiable ». La stratégie démontre le potentiel d'une approche progressive dans le temps, ciblant les zones prioritaires, y compris les principaux corridors et plateformes de fret. Source : Kang-Ching Chu et al. : Kang-Ching Chu et al. (2024). National Zero-Emission Freight Corridor Strategy. Extrait de : <https://driveelectric.gov/files/zeff-corridor-strategy.pdf>.

23 Karsten Burges et al. (2023). Préparation du réseau à la tarification des véhicules lourds : une enquête parmi les GRD européens pour le compte de. Transport et Environnement. Extrait de : https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2023/08/2023_07_TE_AFIR_grid_readiness_final.pdf

24 En Ontario, par exemple, les lignes de plus de 50 kV sont entretenues par l'opérateur de transmission.

25 Informations tirées des entretiens avec les intervenants.

26 Informations tirées des entretiens

27 Tom Randall (2022). Les arrêts de camions électriques auront besoin d'autant d'énergie qu'une petite ville, Bloomberg News. Extrait de : <https://www.bnnbloomberg.ca/electric-truck-stops-will-need-as-much-power-as-a-small-town-1.1846067> ; National Grid, Hitachi (2021). La voie de la décarbonisation des transports : comprendre les impacts des flottes électriques sur le réseau électrique. Extrait de : <https://www.nationalgridus.com/media/pdfs/microsites/ev-fleet-program/understandinggridimpactsofelectricfleets.pdf>

il sera difficile de financer l'infrastructure du réseau bien avant que la demande ne se matérialise pour créer le marché, car les actifs ne seront pas pleinement utilisés. Par conséquent, de nouveaux mécanismes de financement, voire une aide gouvernementale, pourraient être nécessaires pour garantir que le réseau de recharge soit construit avant que la demande ne soit réellement présente, afin d'éviter que les coûts des autres clients n'augmentent considérablement. Les risques d'actifs échoués pourraient être atténués par la planification et l'engagement avec les opérateurs de flottes et les exploitants de véhicules de classe 8. Pour atténuer ces risques, aux États-Unis, les constructeurs automobiles s'associent aux services d'électricité pour créer leurs propres réseaux, par exemple Daimler avec Greenlane.²⁸

En outre, les coûts d'investissement totaux pour le développement de l'infrastructure de recharge dépendront de l'appel de puissance maximale de l'installation. Si la demande de pointe peut être réduite ou aplatie, les coûts peuvent être atténués. Les flottes qui ont la possibilité de recharger pendant la nuit dans des centres ou des dépôts centraux peuvent gérer leur charge et s'assurer que la demande de pointe est contrôlée. Cette gestion de la recharge sera plus difficile pour les véhicules long-courriers qui doivent être rechargés en cours de route sur des aires de repos ou dans d'autres lieux. Une option consisterait à associer le stockage des batteries à une source d'énergie renouvelable, probablement l'énergie solaire, afin de réduire la consommation du réseau public. WattEV, un fournisseur californien de stations de recharge pour camions, a reçu des fonds pour développer deux sites avec des chargeurs de 175 kW et des stations de recharge à l'échelle de 17 MW. Pour compenser la nécessité de renforcer le réseau, le site comprendra 25 hectares de panneaux solaires et 5,5 MWh de batteries de stockage sur site.²⁹

Le gestionnaire du réseau de transmission portugais REN a testé un système qui relie une ligne de transmission à haute tension existante, par l'intermédiaire d'une petite sous-station spéciale, directement aux bornes de recharge pour véhicules électriques. Cette solution réduit les coûts d'infrastructure en évitant toute interaction avec le système de distribution, ce qui élimine la nécessité de moderniser les sous-stations. En outre, elle permet de recharger directement à partir du réseau

de transmission à haute tension, ce qui pourrait permettre de résoudre les problèmes liés à la faiblesse des réseaux de distribution, en particulier dans les régions éloignées.³⁰

D'avantage de recherches et de démonstrations avec les utilisateurs finaux sont nécessaires pour bien comprendre les possibilités de recharge, les coûts et les conditions-cadres pour permettre la recharge des VEB de classe 8. Une analyse adéquate de la demande prévue dans différents lieux est essentielle pour les camions long-courriers qui nécessiteront des charges électriques extrêmement élevées. Des recherches sont également nécessaires pour déterminer comment la flexibilité, l'innovation pour réduire les pics de charge et les différents modèles de financement peuvent permettre un déploiement rentable de l'infrastructure de recharge.

2.3.1.4 Bornes de recharge

Les normes de conception des bornes de recharge pouvant accueillir la charge rapide nécessaire aux camions longue distance de classe 8 en sont aux premiers stades de développement. La prise CCS (Combined Charging System) de bornes de recharge rapide à courant continu (BRCC) est la prise dominante pour les nouveaux camions électriques à batterie dans le secteur du VML. Toutefois, la capacité des connexions CCS est limitée.

La prise CCS atteint une puissance maximale d'environ 350 kW et 500 ampères. Pour les camions de taille moyenne, c'est suffisant : un véhicule doté d'une batterie de 150 kWh a besoin d'environ 20 minutes pour passer de 0 à 80 % de recharge. Certaines applications de camionnage avec des temps d'immobilisation élevés dans les dépôts peuvent également utiliser une puissance de recharge en courant alternatif nettement inférieure (8 kW - 19 kW) qui s'adapte à leur cycle de conduite. En revanche, lorsqu'il s'agit de camions longue distance de classe 8 effectuant des trajets avec des arrêts courts et au moins 400 kWh dans leurs batteries, une puissance de 350 kW ne serait pas assez rapide pour tenir compte de la durée des arrêts obligatoires des chauffeurs pendant les trajets longue distance.

Il est donc essentiel de disposer d'un connecteur d'alimentation plus puissant pour que les camions électriques longue distance soient compétitifs par

28 Greenlane (2024). Rechargement public à zéro émission et ravitaillement en carburant H2. Extrait de : <https://www.drivegreenlane.com>.

29 WattEV (2024). WattEV obtient des subventions fédérales d'un montant record de 75,6 millions de dollars pour étendre le corridor de recharge des camions électriques de la côte ouest. Extrait de : <https://www.wattev.com/post/wattev-secures-record-breaking-75-6-million-in-federal-grants-to-expand-west-coast-electric-truck-c>

30 ENTSO-E (2023). Document de synthèse sur le « Déploiement des véhicules utilitaires électriques lourds et leur impact sur le réseau électrique ». Extrait de : <https://www.entsoe.eu/2023/10/06/position-paper-on-deployment-of-heavy-duty-electric-vehicles-and-their-impact-on-the-power-system/>

rapport à leurs homologues diesel. Un nouveau système de recharge Megawatt Charging System (MCS) est actuellement en cours de développement pour permettre un courant maximal de 3 000 ampères à 1 250 V, soit une puissance de charge maximale de 3 750 kW (3,75 MW), ce qui conviendrait au transport longue distance (Figure 6).

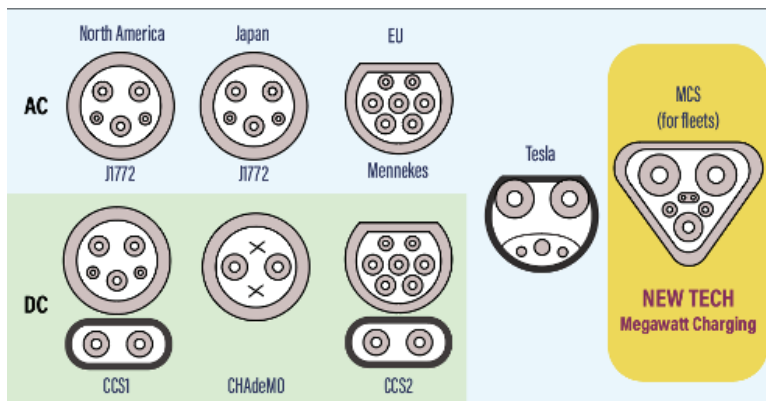


Figure 6 Bornes de recharge.³¹

Le MCS est une norme émergente qui vise à fournir des capacités de charge à haute puissance au-delà de la capacité actuelle des BRCC. Le groupe de travail de la Charging Interface Initiative pour la recharge des véhicules utilitaires lourds dirige l'élaboration de cette norme.³² La norme MCS est encore en phase de développement et il n'existe actuellement aucun véhicule de série capable d'utiliser cette norme. Toutefois, des expériences et des projets pilotes de recharge à ces niveaux de puissance élevés ont été menés. La finalisation de la norme MCS est prévue pour 2024. Une fois mises en œuvre dans les bornes de recharges et les véhicules, les capacités de recharge élevées pourraient permettre aux camions électriques à batterie de classe 8 de se recharger rapidement, ce qui rendrait potentiellement possibles les trajets longue distance avec des camions électriques à batterie, à condition que des investissements importants soient réalisés pour la mise à niveau de la capacité d'alimentation. La Figure 7 présente la puissance de charge associée à différentes bornes de recharge utilisées dans le secteur des VML.

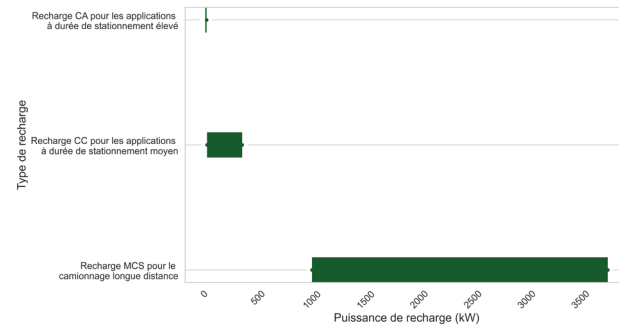


Figure 7 Puissance de recharge des applications VML

2.3.2 Infrastructure de ravitaillement en hydrogène

2.3.2.1 Production et distribution d'hydrogène

Le premier obstacle au développement d'un système de ravitaillement en hydrogène est de s'assurer qu'il y a suffisamment d'hydrogène disponible. L'hydrogène peut être produit par plusieurs méthodes, chacune ayant des intensités d'émission et des coûts variables. La décarbonisation du secteur des transports routiers avec les véhicules à pile à hydrogène nécessitera une adoption accrue de l'hydrogène vert, plus coûteux, produit par électrolyse. Cela nécessitera une augmentation significative de la production d'hydrogène et le développement de sites d'électrolyse ainsi que des sources d'énergie renouvelable correspondantes. Si les conditions économiques s'alignent favorablement sur les besoins du secteur des transports longue distance et d'autres industries, la production d'hydrogène vert pourrait connaître un essor considérable.³³

Un certain nombre de projets de production d'hydrogène propre ont été annoncés au Canada au cours des dernières années afin d'augmenter la production d'hydrogène, notamment pour le secteur des transports.³⁴ Celles-ci devraient fournir des études de cas utiles pour le développement des futures infrastructures de ravitaillement en hydrogène.³⁵

³¹ Solutions energy (2022). Nouvelle borne de recharge de flotte en cours de développement. Extrait de : <https://www.solution.energy/post/new-fleet-charger-in-development>

³² CharIN (2022). Whitepaper CharIN Megawatt Charging System (MCS). Extrait de : https://www.charin.global/media/pages/technology/knowledgebase/c708ba33611670238823/whitepaper_megawatt_charging_system_1.0.pdf

³³ A l'heure actuelle, l'hydrogène est principalement produit à l'aide d'un processus à forte intensité de carbone utilisant le gaz naturel (SMR). Pour réduire les coûts des méthodes de production d'hydrogène à faible teneur en carbone, d'importants investissements en R&D sont nécessaires, au-delà de l'utilisation de l'hydrogène dans le seul secteur des transports.

³⁴ Customized Energy Solutions (2023). La filière hydrogène du Canada. Extrait de : <https://ces-ltd.com/canadas-hydrogen-pathway/>

³⁵ Government of BC (2023). La province crée de nouvelles opportunités dans l'économie de l'hydrogène et le camionnage commercial. Extrait de : <https://news.gov.bc.ca/releases/2023EMLI0064-001800>

Transports Canada réglemente le transport de l'hydrogène gazeux par le biais du Règlement sur le transport des marchandises dangereuses. L'hydrogène destiné aux stations de ravitaillement peut être produit sur place, transporté par camion sous forme de gaz comprimé ou de liquide, ou distribué par des pipelines d'hydrogène (Figure 8).

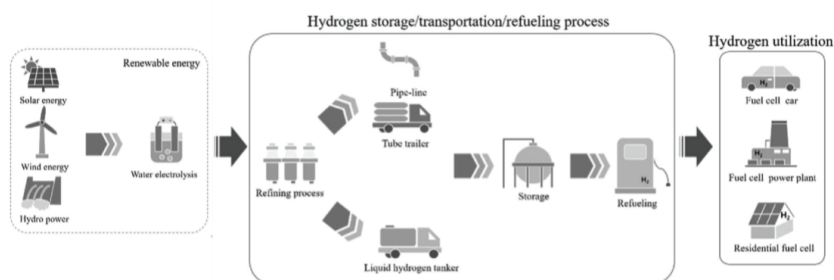


Figure 8 Système d'approvisionnement en hydrogène et de ravitaillement³⁶

L'hydrogène est gazeux à pression et température atmosphériques, et son transport à l'état gazeux est donc le plus rentable car il ne nécessite pas d'énergie supplémentaire pour la pressurisation ou le refroidissement. Des pipelines peuvent transporter de l'hydrogène gazeux et sont donc idéaux pour transporter de l'hydrogène pour répondre à la demande des stations de ravitaillement dédiées (2 000 kg à 3 000 kg par jour). Cependant, les pipelines impliquent des investissements importants. Des études évaluent le potentiel d'adaptation des pipelines de gaz naturel existants pour l'hydrogène et l'expansion de l'infrastructure de pipelines existante dans la province de l'Alberta.³⁷

Compte tenu des coûts de construction ou de modernisation d'un réseau de pipelines, le transport de l'hydrogène par camion pourrait être une option plus rentable. Les remorques tubulaires, qui sont des véhicules utilitaires lourds capables de transporter de l'hydrogène gazeux sous pression, constituent une option rentable, mais comme l'hydrogène reste à l'état gazeux, la quantité pouvant être transportée dans une seule remorque tubulaire est limitée. Les véhicules à hydrogène liquide peuvent transporter davantage d'hydrogène, mais le transport de l'hydrogène liquide nécessite des usines de

liquéfaction et requiert des besoins énergétiques plus importants, et donc des coûts plus élevés, pour maintenir les basses températures requises.

Il y aura probablement une combinaison de méthodes de transport. Par exemple, en Corée du Sud, qui possède l'un des plus grands réseaux de ravitaillement en hydrogène au monde, 93 % de l'hydrogène est fourni à la station de ravitaillement par remorque tubulaire, 4 % de l'hydrogène provient de pipelines et 3 % de l'hydrogène est produit à la station. Le Tableau 1 résume les options de transport d'hydrogène.³⁸

Tableau 1 Comparaison des options de distribution d'hydrogène

Etat	Mode de livraison	Description
Gaz	Pipeline	<ul style="list-style-type: none"> - Approvisionnement continu indépendamment de l'échelle et de la distance - Faible perte d'énergie - Coût fixe élevé et coût variable faible
	Remorque tubulaire	<ul style="list-style-type: none"> - Convient à l'approvisionnement intermittent et à faible volume des stations de ravitaillement de petite et moyenne taille. - Faible perte d'énergie - Faible coût fixe et coût variable élevé
Liquide	Remorque pour camion-citerne à liquides	<ul style="list-style-type: none"> - Doit avoir accès à des installations de liquéfaction et de stock-âge - Convient à la moyenne/grande échelle et à la moyenne/longue distance - Émissions de GES supplémentaires dues à l'électricité consommée pendant la liquéfaction - Perte d'énergie élevée - Coût fixe élevé et coût variable faible

2.3.2.2 Conception des stations d'hydrogène

La variabilité de la conception des stations de ravitaillement d'hydrogène, influencée par des facteurs tels que la taille, les coûts d'exploitation et d'investissement, et l'utilisation, est un facteur déterminant du coût de l'hydrogène livré à la pompe pour le transport. L'optimisation des chaînes d'approvisionnement et l'exploitation des innovations en matière de fabrication pourraient

³⁶ Adapté de Changjong Kim, et al (2022). "Review of hydrogen infrastructure: The current status and roll-out strategy," International Journal of Hydrogen Energy 48 (2023) 1701-1716. Extrait de : <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.053>

³⁷ Ressources naturelles Canada (2020). Stratégie sur l'hydrogène pour le Canada. Extrait de : https://natural-resources.canada.ca/sites/nrcan/files/environment/hydrogen/NRCan_Hydrogen-Strategy-Canada-na-en-v3.pdf.

³⁸ Changjong Kim, et al (2022). « Review of hydrogen infrastructure: The current status and roll-out strategy, » International Journal of Hydrogen Energy 48 (2023) 1701-1716. Extrait de : <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.053>.

permettre de réduire considérablement les coûts de l'hydrogène. La recherche et le développement explorent actuellement la faisabilité de la mise à l'échelle des stations grâce à l'utilisation de composants compacts qui permettraient d'installer davantage d'infrastructures de ravitaillement en hydrogène sur un même terrain. L'augmentation de la taille de la station permettrait de ravitailler plus de véhicules à tout moment, ce qui augmenterait les revenus. L'un des avantages de la conception des stations d'hydrogène est que les composants peuvent être modulaires, ce qui signifie qu'une station pourrait commencer avec un système de ravitaillement et un réservoir de stockage, et en ajouter d'autres au fur et à mesure de l'augmentation de la demande.³⁹

Les véhicules légers et les autobus reçoivent de l'hydrogène à 700 bars et 350 bars, respectivement. Il n'existe pas encore de norme pour les camions. La technologie à 350 bars convient mieux aux opérations à courte distance qui ne nécessitent pas de réservoirs à haute pression, tandis que la technologie à 700 bars permettrait de distribuer plus de carburant et de réduire le temps de ravitaillement, ce qui est souhaitable pour les opérations à longue distance.⁴⁰ On estime qu'une station de ravitaillement en hydrogène pour le transport routier longue distance nécessiterait entre 8 000 et 32 000 kg d'hydrogène par jour pour ravitailler 150 à 650 camions par jour avec un plein moyen de 50 kg.⁴¹

À l'heure actuelle, le Canada compte huit stations d'hydrogène destinées à répondre aux besoins des détaillants, la plupart d'entre elles étant situées en Colombie-Britannique. La construction de stations supplémentaires est prévue dans tout le pays. Ces stations seront équipées pour fournir de 100 kg à 1 000 kg par jour pour les véhicules utilitaires légers et lourds.⁴²

La mise en place de normes permet d'améliorer les taux de remplissage. Le ministère américain de l'énergie a fixé des objectifs pour les poids lourds afin d'atteindre des taux de remplissage de

« La variabilité de la conception des stations de ravitaillement d'hydrogène, influencée par des facteurs tels que la taille, les coûts d'exploitation et d'investissement, et l'utilisation, est un facteur déterminant du coût de l'hydrogène livré à la pompe pour le transport. L'optimisation des chaînes d'approvisionnement. »



8 kg H₂/min d'ici 2030 et de 10 kg H₂/min d'ici 2050, envisageant un temps de remplissage de six minutes pour un camion d'une autonomie de 1 200 km ; pendant ce temps, des études en cours visent à valider les normes et les équipements de ravitaillement en carburant proposés.⁴³

39 Entretien

40 ENTSO-E (2023). Document de synthèse sur « le déploiement des véhicules utilitaires électriques lourds et leur impact sur le réseau électrique ». Extrait de : <https://www.entsoe.eu/2023/10/06/position-paper-on-deployment-of-heavy-duty-electric-vehicles-and-their-impact-on-the-power-system/>.

41 Fuel Cell and Hydrogen Energy Association (2020). Feuille de route pour une économie américaine de l'hydrogène. Extrait de : <https://www.fchea.org/us-hydrogen-study>

42 Hydrogen news (2022). Air Liquide contribue au déploiement de l'infrastructure de ravitaillement en hydrogène des véhicules lourds au Canada. Extrait de : <https://hydrogennews.airliquide.com/press-release-news/2022-08-31/air-liquide-contributes-deployment-heavy-duty-hydrogen-refueling-infrastructure-canada>

43 L'un des défis associés à la transition vers les véhicules zéro émission est de trouver un moyen de remplacer la taxe sur l'essence. On estime que le gouvernement fédéral perçoit environ 6 milliards de dollars par an en taxes d'accise sur l'essence et le diesel, sans compter la TPS ou la TVH sur ces achats. Les options pour remplacer la taxe comprennent une redevance forfaitaire (ex : une redevance d'utilisation de la route) ou une redevance pour la distance parcourue avec le véhicule. Source : Peter Shawn Taylor (2022) : Peter Shawn Taylor (2022). Rise of electric vehicles raises tax concerns (L'essor des véhicules électriques suscite des inquiétudes en matière de fiscalité). Extrait de : <https://www.cpacanada.ca/news/pivot-magazine/2022-01-17-gas-tax-replacement>

3

Évolution du marché



3.1 Réglementations et mesures incitatives

Les réglementations nord-américaines sur les GES et les principaux contaminants atmosphériques (PCA) pour les véhicules lourds deviennent de plus en plus strictes, ce qui ouvre la voie au développement et à la fabrication de technologies alternatives.

Par exemple, les réglementations plus strictes sur les PCA obligent les fabricants à mettre au point des dispositifs de contrôle des émissions, ce qui augmente le coût des camions diesel et rend les camions VZE plus compétitifs. Les réglementations sur les émissions d'échappement accélèrent le potentiel, à la fois opérationnel et économique, des technologies alternatives, y compris les VEB et les VÉPC. En outre, il y a eu récemment un afflux de soutien financier pour la recherche, le développement, le déploiement et l'adoption des camions VZE (et des infrastructures connexes), ce qui peut bénéficier à la fois aux développeurs et aux acheteurs de ces technologies.

Cette section présente une vue d'ensemble des réglementations canadiennes et américaines pertinentes, ainsi que des programmes incitatifs actuels.

3.1.1 Réglementation des émissions de GES

Au Canada, les émissions d'échappement des véhicules lourds et des moteurs sont réglementées par Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) en vertu de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement de 1999 qui limite les émissions de GES et de PCA. En 2013, le Canada a finalisé la première phase du Règlement sur les émissions de gaz à effet de serre des véhicules utilitaires lourds et de leurs moteurs, qui fixe les normes d'émission de GES pour les véhicules utilitaires lourds et leurs moteurs fabriqués ou importés au Canada, à partir de l'année de modèle (AM) 2014. Ce règlement a été mis à jour en 2018 (en tant que phase 2 pour les années de modèle 2021 et suivantes) et modifié pour la dernière fois en octobre 2022. Cependant, en réponse à une contestation juridique aux États-Unis liée à leur règle de la phase 2, le CECC a publié six ordonnances provisoires pour suspendre certaines des dispositions de la phase 2 (normes d'émissions de GES pour les remorques).⁴⁴

Le Canada a toujours aligné sa réglementation sur la norme nationale d'émissions de l'EPA des États-Unis pour les véhicules moyens et lourds. L'alignement sur les États-Unis maximise les avantages pour les deux pays, car les échanges transfrontaliers de marchandises sont optimisés sans qu'il soit

nécessaire d'utiliser des camions différents, et les coûts opérationnels et administratifs sont réduits. Le Tableau 2 présente un exemple de réglementation canadienne et américaine concernant les tracteurs de classe 8. Plus de détails, y compris les références complètes, peuvent être trouvés dans l'annexe A.

Tableau 2: Sélection des limites d'émissions de GES

	Canada	États-Unis	
Régulateur	Environnement et changement climatique Canada	Agence pour la protection de l'environnement et National Highway Traffic Safety Administration	
Réglementation	Réglementation sur les émissions de gaz à effet de serre des véhicules utilitaires lourds et de leurs moteurs ⁴⁵	Normes d'émissions de gaz à effet de serre et normes de rendement énergétique pour les moteurs et véhicules moyens et lourds (Phase 2 ⁴⁶) (Phase 3 ⁴⁷)	
Couverture	Émissions de GES	Émissions de GES Efficacité énergétique	
Exemples de normes d'émissions (Canada et États-Unis)	AM 2017 - 2020	AM 2021 - 2023	AM 2024 - 2026
Classe 8 Cabine couchette à toit surbaissé (g CO₂/short ton-mile)	66	72.3	68
Classe 8 Cabine couchette à toit surélevé (g CO₂/short tone-mile)	72	75.7	70.7
Moteur lourd (utilisé dans les tracteurs) (g CO₂/bhp-hr)	460	447	436

3.1.2 Réglementation sur les émissions des PCA

La norme canadienne actuelle sur les émissions de PCA pour les véhicules lourds – *Règlement sur les émissions des véhicules routiers et de leurs*

moteurs – a été publiée en 2003 et modifiée pour la dernière fois en octobre 2022. Pour les années 2008 à 2026, les limites d'émissions sont alignées sur (et font directement référence à) la norme américaine Control of Air Pollution from New Motor Vehicles : Heavy-Duty Engine and Vehicle Standards (40 CFR Part 86).

Tableau 3: Limites d'émissions de PCA intégrées aux États-Unis et au Canada

PCA	NO _x	NMHC	CO	PM
ELimite d'émissions (g CAC/bhp-hr)	0.2	0.14	15.5 (compression-ignition) 14.4 (spark-ignition)	0.01

Le Tableau 3 présente les réglementations canadiennes et américaines concernant les limites d'émissions de PCA pour les années modèles 2008-2026. Plus de détails, y compris les références complètes, sont disponibles à l'annexe A. Further details, including full references, can be found in Appendix A.

45 Gouvernement du Canada. Règlement sur les émissions de gaz à effet de serre des véhicules lourds et de leurs moteurs. DORS/2013-24. En vigueur jusqu'au 20 mars 2024. Dernière modification le 3 octobre 2022. Extrait de : <https://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/SOR-2013-24.pdf>.

46 Environmental Protection Agency (Agence pour la protection de l'environnement). 40 CFR Parts 9, 22, 85, 86, 600, 1033, 1036, 1037, 1039, 1042, 1043, 1065, 1066, et 1068. Émissions de gaz à effet de serre et normes d'efficacité énergétique pour les moteurs et véhicules moyens et lourds - Phase 2. Extrait de : <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2016-10-25/pdf/2016-21203.pdf>

47 Environmental Protection Agency (Agence pour la protection de l'environnement). 40 CFR Parts 86, 1036, 1037, 1039, 1054, et 1065. Normes d'émissions de gaz à effet de serre pour les véhicules lourds - Phase 3. Extrait de : <https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-03/hd-phase3-veh-standrds-ghg-emission-frm-2024-03.pdf>

Suivant l'exemple des États-Unis, le Canada devrait mettre à jour sa réglementation pour restreindre davantage les émissions de PCA des véhicules utilitaires lourds à partir de l'année modèle 2027. Cela aura un impact supplémentaire sur la capacité des camions MCI diesel de classe 8 à respecter économiquement les réglementations.

3.1.3 Limites de poids des véhicules

Les limites de poids des camions longue distance diffèrent entre les États-Unis et le Canada. Au Canada, les limites de poids relèvent de l'autorité de chaque gouvernement provincial et territorial et s'appliquent aux routes situées à l'intérieur de leurs frontières. Dans chaque province ou territoire, les limites varient en fonction de la configuration, comme le nombre d'essieux et la catégorie du véhicule. Il existe également des restrictions de poids saisonnières dans certaines juridictions (par exemple, lors du dégel printanier).⁴⁸ Afin d'améliorer la cohérence des limites de poids entre les différentes juridictions du Canada, un protocole d'entente (PE) sur les poids et dimensions interprovinciaux a été initialement introduit en 1988 et modifié pour la dernière fois en 2019. En vertu de ce protocole d'entente, des seuils maximaux

acceptables pour le poids brut combiné de sept configurations de véhicules routiers de classe 8 couramment utilisées ont été fixés, allant de 24 250 kg (53 460 lb) pour un camion porteur à 62 500 kg (137 800 lb) pour un train double de type B.⁴⁹

Les limites canadiennes permettent des chargements plus importants que la limite de poids réglementaire fédérale américaine de 36 300 kg (80 000 livres) pour les camions longue distance circulant sur la plupart des autoroutes financées par le gouvernement fédéral, y compris les autoroutes inter-États et le réseau national d'autoroutes. Bien que les lois de certains États dépassent cette norme nationale, les réglementations fédérales prévalent dans la plupart des endroits. Le Tableau 4 présente un résumé de la taille et du poids autorisés pour les camions au Canada et aux États-Unis. La différence entre les limites fédérales de taille et de poids aux États-Unis limite la capacité des transporteurs à bénéficier des limites de poids canadiennes plus élevées lorsqu'ils transportent des marchandises par camion de classe 8 du Canada vers les États-Unis. De nombreux premiers modèles de VZE ont été conçus d'abord pour le marché américain et peuvent ne pas convenir aux entreprises canadiennes qui ont adapté leurs activités aux poids canadiens.

Tableau 4: Réglementation du poids des véhicules au Canada et aux États-Unis

Pays	Type	Allocation de poids
Canada	Un train double (sept ou huit essieux)	53,500 kg (117,950 lbs)
	Train B double (huit essieux)	62,500 kg (137,800 lbs)
	Train C double (huit essieux)	58,500 kg (128,970 lbs)
	Camion porteur (trois essieux)	24,250 kg (53,460 lbs)
	Camion - remorque à poney (six essieux)	42,250 kg (93,145 lbs)
	Camion - remorque complète (sept essieux)	53,500 kg (117,950 lbs)
ÉTATS-UNIS	Tracteur semi-remorque à 5 essieux (limites inter-États et NHS)	36,300 kg (80,000 lbs)
	Tracteur à 7 essieux, semi-remorque	

Adapté de National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (académies nationales des sciences, de l'ingénierie et de la médecine)⁵⁰

48 Transportation Research Board (2010). Examen de l'expérience canadienne en matière de réglementation des grands véhicules utilitaires. Extrait de : <https://nap.nationalacademies.org/read/14458/chapter/11#92>.

49 Conseil des ministres responsables des transports et de la sécurité routière (2019), Limites de poids et de dimensions des camions lourds pour les opérations interprovinciales au Canada. Extrait de : <https://comt.ca/english/programs/trucking/MOU%202019.pdf#page=8> [2]

50 National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (Académies nationales des sciences, de l'ingénierie et de la médecine), (2020). Réduction de la consommation de carburant et des émissions de gaz à effet de serre des véhicules moyens et lourds, phase deux : rapport final. Washington, DC : The National Academies Press. Extrait de : <https://doi.org/10.17226/25542>

En ce qui concerne l'adoption des technologies VZE, les limites de poids deviendront encore plus importantes. Comme indiqué à la section 2.2.2 Charge utile, les VZE sont plus lourds que les camions MCI standard, en raison des batteries et des réservoirs d'hydrogène. La modification des réglementations en vue d'augmenter les poids autorisés pour les véhicules commerciaux sera cruciale pour favoriser les technologies VZE, principalement pour compenser le poids supplémentaire des technologies à court terme.

Plusieurs juridictions ont déjà commencé à adapter leur réglementation pour tenir compte des VZE. Aux États-Unis, par exemple, la Californie autorise les véhicules zéro émission ou presque à dépasser les limites de poids jusqu'à 907 kg (2 000 lbs).⁵¹ En Arizona, les véhicules utilitaires lourds fonctionnant à l'électricité ou à l'hydrogène peuvent également dépasser les limites de poids jusqu'à 907 kg (2 000 lbs).⁵² Au Canada, la Colombie-Britannique a annoncé qu'en 2021, elle autoriserait l'utilisation de 1 500 kg supplémentaires pour les véhicules utilitaires électriques de grande taille et de 1 000 kg pour les camions fonctionnant à l'hydrogène.⁵³ En outre-mer, en juillet 2023, la Commission européenne a proposé la directive 96/53/CE sur les poids et dimensions pour augmenter les limites de poids des VEZ de 42 à 44 tonnes afin de faciliter l'adoption de technologies plus propres.⁵⁴ L'autorisation d'un poids supplémentaire pour les camions pourrait faire peser une charge supplémentaire sur les infrastructures telles que les chaussées et les ponts, ce qui nécessiterait un entretien plus fréquent et pourrait entraîner une augmentation des coûts et des émissions.

3.1.4 Mandats de vente

Amérique du Nord

La réglementation sur les exigences de vente pour les véhicules utilitaires lourds zéro émission a commencé pour la première fois en Californie en 2021 avec la règle Advanced Clean Trucks (ACT), la plus avancée du genre en Amérique du Nord. Cette règle impose aux constructeurs de vendre entre

5 et 9 % de VEZ à partir de 2024, en fonction de la classe de véhicule. Le pourcentage requis augmente progressivement pour atteindre 30 à 50 % en 2030, et 75 % pour les camions rigides de classe 8 et 40 % pour les camions tracteurs de classe 8 en 2035.

Plus récemment, en avril 2023, la Californie a approuvé la première réglementation au monde visant à éliminer progressivement l'utilisation de camions à combustion traditionnelle. La règle, connue sous le nom d'*Advanced Clean Fleets (ACF)*, est alignée sur l'objectif à long terme de l'État de passer à 100 % de camions MHD à zéro émission en Californie d'ici 2045. La règle ACF impose aux opérateurs de flottes d'adopter progressivement des véhicules zéro émission et est conçue pour compléter la règle ACT.⁵⁵ Un tableau récapitulatif des exigences de l'ACF figure à l'annexe B.

À la suite du programme ACT de la Californie, dix-sept États à ce jour⁵⁶ et le district de Columbia ont signé un protocole d'accord pour adopter le mandat ACT, exigeant des fabricants de VML qu'ils vendent une part croissante de camions à émissions nulles. L'engagement a deux objectifs principaux :

- Éliminer les ventes de VML diesel d'ici 2050 avec un objectif intermédiaire d'au moins 30 % des nouvelles ventes de VML en tant que VZE d'ici 2030, et
- Les signataires du protocole d'accord doivent unir leurs forces pour travailler en collaboration au sein du *groupe de travail multi-États sur les VZE*.

En septembre 2021, le gouvernement du Québec s'est joint au groupe de travail. En juillet 2022, le Groupe de travail a créé un plan d'action pour accélérer la décarbonisation du secteur des véhicules lourds et s'assurer que le déploiement des VZE génère également des avantages pour les communautés défavorisées.⁵⁷ La Colombie-Britannique prévoit de créer un mandat de vente pour les VML, conformément à la règle ACT de la Californie, dans le cadre de l'engagement décrit dans la feuille de route de CleanBC à l'horizon 2030.⁵⁸

51 Californie, S. of. (2019). Véhicules zéro émission et quasi-zéro émission. Extrait de : <https://dot.ca.gov/programs/traffic-operations/legal-truck-access/ex-zero-emission-vehicle>.

52 US Department of Energy (2016), Réduction de la marche au ralenti et exemption du poids des véhicules à carburant alternatif. Extrait de : <https://afdc.energy.gov/laws/6559>

53 British Columbia Government News (2021). Poids toléré pour les véhicules commerciaux à faible émission de carbone. Extrait de : <https://news.gov.bc.ca/releases/2021TRAN0035-000920> [2]

54 Commission européenne (2023), Questions et réponses sur les poids et dimensions : nouvelle proposition visant à accélérer l'adoption des véhicules utilitaires lourds zéro émission et à promouvoir le transport intermodal. Extrait de : https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_23_3770

55 CARB (2023), TruckStop Resources, Extrait de : <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/truckstop-resources/zev-truckstop/regulations>.

56 Californie, Colorado, Connecticut, Hawaï, Maine, Maryland, Massachusetts, Nevada, New Jersey, New York, Caroline du Nord, Oregon, Pennsylvanie, Rhode Island, Vermont, Virginie et Washington.

Mondial

En 2021, lors de la COP26, le Canada est devenu signataire du protocole d'accord mondial sur les véhicules moyens et lourds zéro émission (Global MOU). À ce jour, l'initiative compte plus de 30 pays signataires dans le but de favoriser la croissance du secteur des véhicules moyens et lourds zéro émission.⁵⁹ Le groupe s'est engagé à réaliser 30 % de ventes de VML à zéro émission d'ici 2030 ; et 100 % d'ici 2040.⁶⁰ Les États-Unis sont devenus signataires du protocole d'accord lors de la COP27 en 2022.

Plus de détails et un résumé des réglementations en matière de vente et de fabrication en Californie, aux États-Unis et au Canada sont fournis à l'annexe B.

3.1.5 Incitatifs financiers

Pour favoriser l'adoption des véhicules lourds à zéro émission, de nombreux incitatifs sont mis en place par les gouvernements afin d'alléger la charge de l'investissement initial. Le plus souvent, les incitatifs fédéraux sont alloués aux budgets municipaux par le biais de fonds « zéro émission ».

Tableau 5: Résumé des programmes de financement des véhicules lourds au Canada

Nom du programme	Financement	Activités éligibles	Total du Fonds
Programme d'incitatifs pour les véhicules moyens et lourds zéro émission (iVMLZE)	Transports Canada	Achat ou location de VML zero emission éligibles	\$547.5M
Programme d'infrastructure pour les véhicules à émission zéro (PIVEZ)	Ressources naturelles Canada	Bornes de recharge pour VE et hydrogène dans les lieux publics, sur la voie publique, dans les immeubles d'habitation, sur les lieux de travail et pour les flottes de véhicules	\$680M
Programme Écocamionnage	QC Ministère des Transports et de la Mobilité Durable	Achat de nouveaux véhicules à pile à hydrogène ou électriques ; achat de véhicules lourds de seconde main et projet collaboratif de livraison électrique.	\$86.5M ⁶¹
Go Electric Rebates	Ministère de l'énergie, des mines et de l'innovation en matière de faibles émissions de carbone de la Colombie-Britannique	Achat de camions de transport moyens et lourds à batterie électrique ou à pile à hydrogène	\$288M ⁶²
Commercial Vehicle Innovation Challenge (CVIC)	Ministère de l'énergie, des mines et de l'innovation en matière de faibles émissions de carbone de la Colombie-Britannique	Développement, démonstration ou commercialisation d'un produit ou d'une technologie commerciale VZE	\$30M
Commercial Vehicle Pilots Program (CVP)	Ministère de l'énergie, des mines et de l'innovation en matière de faibles émissions de carbone de la Colombie-Britannique	Déploiement de la technologie VZE dans les applications commerciales et au niveau de l'infrastructure d'appui.	\$89M ⁶³
Electrify Nova Scotia MHZEV Rebate Program	Département des ressources naturelles et des énergies renouvelables	Les véhicules éligibles englobent ceux du programme incitatif fédéral iMHZEV (classes 2 à 8) ⁶⁴	\$0.5M

57 US Department of Energy (2023), Soutien au déploiement des véhicules moyens et lourds (VML) à zéro émission. Extrait de : <https://afdc.energy.gov/laws/12460>

58 Gouvernement de la Colombie-Britannique (2023), Loi sur les véhicules zéro émission. Extrait de : <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/industry/electricity-alternative-energy/transportation-energies/clean-transportation-polices-programs/zero-emission-vehicles-act>.

59 Calstart (2023), Protocole d'accord mondial sur les véhicules moyens et lourds zéro émission. Extrait de : <https://globaldrivetozero.org/mou-nations/>

60 Autonomie électrique (2021), Le Canada signe un accord mondial visant des ventes de camions et d'autobus à 100 % sans émissions d'ici 2040. Extrait de : <https://electricaautonomy.ca/2021/11/09/cop26-zero-emission-truck-bus-canada/>

61 Gouvernement du Québec (2024), Programme Écocamionnage 2.0 - Après les voitures, le Québec s'attaque à l'électrification des camions. Extrait de : <https://www.quebec.ca/nouvelles/actualites/details/programme-ecocamionnage-20-apres-les-voitures-quebec-sattaque-a-lelectrification-des-camions-37781>

62 Gouvernement de la Colombie-Britannique (2024), Go Electric Program. Extrait de : <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/industry/electricity-alternative-energy/transportation-energies/clean-transportation-polices-programs/clean-energy-vehicle-program>

63 Gouvernement de la Colombie-Britannique (2023), La Colombie-Britannique fait évoluer l'industrie vers des transports lourds plus propres. Extrait de : <https://news.gov.bc.ca/releases/2023EMLI0021-000600>

64 EVAssist (2024), Rabais pour l'électrification des véhicules moyens et lourds zéro émission (2024). Extrait de : <https://evassist.ca/rebates/mhzev/>

Au départ, le financement était principalement destiné aux véhicules plus facilement électrifiables ayant des cycles de conduite prévisibles et donc des horaires de recharge prévisibles, tels que les autobus de transport en commun. Au fur et à mesure que les véhicules zéro émission de classe 8 se développent, les investissements se concentrent sur ces véhicules.

Le Tableau 5 présente un résumé de haut niveau des programmes incitatifs visant à financer l'adoption de véhicules zéro émission, y compris les camions long-courriers de classe 8. Pour plus de détails sur chaque programme, y compris les références complètes, voir l'annexe C.

3.2 Disponibilité commerciale

À l'échelle mondiale, la disponibilité des modèles de véhicules zéro émission s'est développée, en particulier dans le segment des camions moyens et lourds. Au moment de la rédaction du présent rapport, la disponibilité des modèles a augmenté d'environ 41 % depuis 2021, principalement en raison de l'augmentation du nombre de camions lourds (116 %), suivis par les fourgonnettes (71 %) et les camions moyens (59 %), comme l'illustre la Figure 9.⁶⁵ Les producteurs de véhicules lourds acquièrent progressivement l'expertise nécessaire pour fournir des véhicules zéro émission plus grands et plus

lourds, avec des charges utiles plus importantes. De même, le nombre de FEO proposant des véhicules utilitaires lourds zéro émission a augmenté au cours des trois dernières années (Figure 10).⁶⁶

Models Available by Vehicle Type

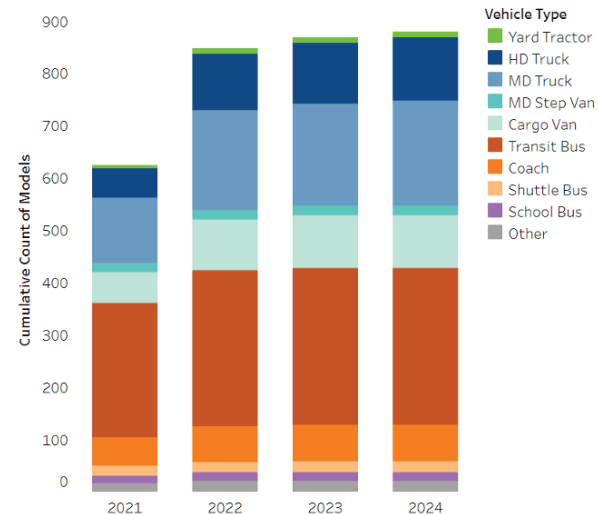
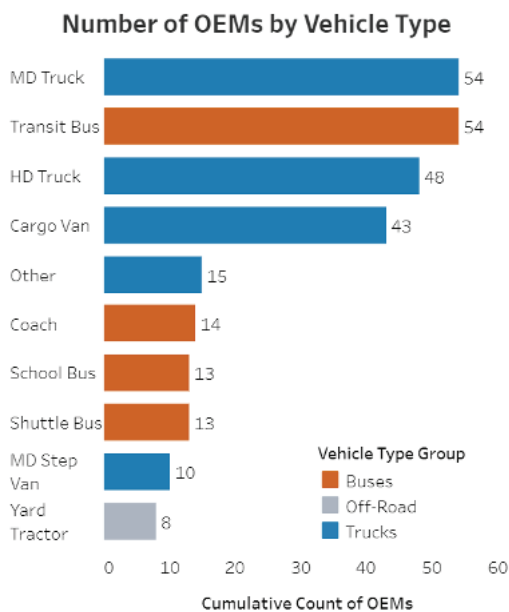
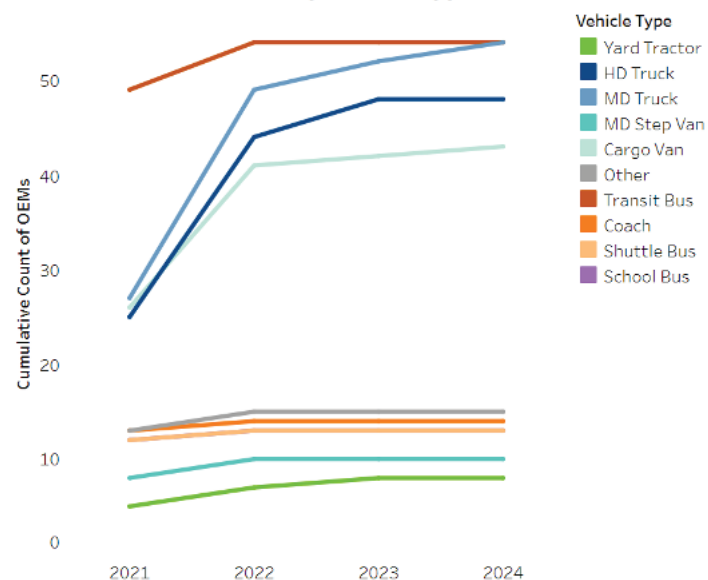


Figure 9 : Disponibilité des modèles moyens et lourds zéro émission dans le monde (2021 à 2024)

Figure 10: Les FEO mondiaux proposant des VZE par type de véhicule



Growth of OEMs by Vehicle Type



65 CALSTART (2024) : Explorateur de données de l'inventaire des technologies zéro émission du programme « Drive to Zero ». Version 3.5. Dernière mise à jour en novembre 2023. Extrait de : <https://globaldrivetozero.org/tools/zeti-data-explorer/>.

66 CALSTART (2024) : Explorateur de données de l'inventaire des technologies zéro émission du programme « Drive to Zero ». Version 3.5. Dernière mise à jour en novembre 2023. Extrait de : <https://globaldrivetozero.org/tools/zeti-data-explorer/>.

3.2.1 Disponibilité actuelle des modèles de classe 8

Le Canada et les États-Unis suivent les mêmes tendances mondiales en ce qui concerne les véhicules moyens et lourds. Le nombre de modèles de camions lourds (classes 7 et 8) au Canada et aux États-Unis est passé de 15 à 32 (soit une augmentation de 113 %) de 2021 à 2024, et le nombre de FEO proposant des camions lourds est passé de 8 à 19 (soit une augmentation de 138 %).⁶⁷

Le Tableau 6 présente la disponibilité des modèles de camions lourds à zéro émission de classe 8 au

Tableau 6 Principaux FEO de camions lourds par gamme au Canada et aux États-Unis

FEO	Modèle	Type	Autonomie maximale (km)	Capacité énergétique
Freightliner	eCascadia ⁶⁹	VEB	370 *	438 kWh
XOS	HDXT	VEB	370 *	N/A
Lion	Lion8T Tractor Truck	VEB	400 *	653 kWh
Volvo	VNR Electric	VEB	443 *	565 kWh
BYD	8TT ERR	VEB	485 *	563 kWh
Nikola	Tre BEV ⁷⁰	VEB	530 *	753 kWh
Einride	Truck	VEB	640 *	N/A
Tesla	Semi	VEB	800	1,000 kWh
Cenntro Electric Group	LM864H	VÉPC	300 *	65.2kg
Toyota	Beta	VÉPC	483 *	40 kg
Hyzon	HyHD8-200 ⁷¹	VÉPC	560 *	50 kg
Kenworth	T680 ⁷²	VÉPC	725	58.8 kg
Hyundai	XCient Fuel Cell Tractor ⁷³	VÉPC	725	68.6 kg
Nikola	Tre FCEV ⁷⁴	VÉPC	800	70 kg
International	HD Hydrogen Fuel Cell Truck	VÉPC	805	N/A

* : adapté au transport régional, sur la base d'une autonomie limitée

Canada et aux États-Unis.⁶⁸ Comme décrit dans la section 2.2.1, un certain nombre de ces modèles sont principalement viables pour le transport routier régional à ce stade. *Il convient de noter que certains modèles ne sont pas encore disponibles au Canada*

3.2.2 Activités actuelles de R&D sur les camions lourds à zéro émission

Développement des véhicules

Bien que le nombre de FEO et de modèles lancés au Canada et aux États-Unis soit en constante augmentation, les camions VEB et VÉPC de classe 8 en sont encore aux premiers stades de la commercialisation. L'activité commerciale dans le secteur de l'électrification des véhicules lourds a bondi avec des douzaines de fabricants qui font des investissements importants pour mettre des VZE sur le marché.⁷⁵ Le développement technologique des VÉPC évolue également, avec la création du Million Mile Fuel Cell Truck Consortium (M2FCT), basé aux États-Unis, qui soutient les possibilités d'adoption des piles à combustible sur le marché des véhicules lourds par le biais de la recherche et du développement (R&D). L'initiative M2FCT se concentre sur quatre piliers : le développement des matériaux, l'intégration des composants, la durabilité des composants et des piles à combustible, et l'analyse des systèmes.⁷⁶

Un certain nombre de camions électriques à batterie et de camions à pile à hydrogène sont actuellement testés en conditions réelles dans le cadre de partenariats entre les FEO, les agences gouvernementales et les organisations industrielles. Par exemple, le programme « Camionnage zéro émission » de Transports Canada a lancé trois bancs d'essai pour le camionnage zéro émission afin d'évaluer les performances des camions électriques à batterie et à pile à hydrogène de classe 8 dans le cadre d'opérations de fret commercial au Canada, dans des lieux, sur des terrains et sous des climats

67 CALSTART (2024) : Explorateur de données de l'inventaire des technologies zéro émission du programme « Drive to Zero ». Version 3.5. Dernière mise à jour en novembre 2023. Extrait de : <https://globaldrivetozero.org/tools/zeti-data-explorer/>.

68 CALSTART (2024) : Explorateur de données de l'inventaire des technologies zéro émission du programme « Drive to Zero ». Version 3.5. Dernière mise à jour en novembre 2023. Extrait de : <https://globaldrivetozero.org/tools/zeti-data-explorer/>.

69 Freightliner, électrique, eCascadia. Extrait de : <https://www.freightliner.com/trucks/ecascadia/>

70 Nikola, TRE VEB. Extrait de : <https://www.nikolamotor.com/the-nikola-tre-bev-reinventing-short-haul-transportation/>

71 Hyzon, Véhicules. Extrait de : <https://www.hyzonfuelcell.com/vehicles/hyhd8-200kw>

72 Kenworth, T680 Véhicule à pile à hydrogène. Extrait de : <https://www.kenworth.com/trucks/t680-fcev/>

73 Hyundai, XCIENT Tracteur à pile à hydrogène. Extrait de : <https://ecv.hyundai.com/global/en/products/xcient-fuel-cell-tractor-fcev>

74 Nikola, Véhicule électrique à pile à hydrogène. Extrait de : <https://nikolamotor.com/tre-fcev/>

75 International Council on Clean Transportation, Environmental Defense Fund, Propulsion Québec Race to Zero (2020). Comment les fabricants se positionnent pour les camions et les bus commerciaux à zéro émission en Amérique du Nord. Extrait de : <https://theicct.org/publication/race-to-zero-how-manufacturers-are-positioned-for-zero-emission-commercial-trucks-and-buses-in-north-america/>

76 Oak Ridge National Laboratory (2021). Véhicules utilitaires lourds une entrée idéale dans l'utilisation des piles à hydrogène. Extrait de : <https://www.ornl.gov/news/heavy-duty-vehicles-ideal-entry-hydrogen-fuel-cell-use>

différents. Ensemble, ces déploiements permettront d'accumuler plus de 500 000 kilomètres de données sur le camionnage zéro émission et d'expériences d'utilisateurs sur les performances des camions de transport de marchandises zéro émission et leur coût d'exploitation par rapport à leurs équivalents diesel.

Dans le cadre des bancs d'essai, des démonstrations de VÉPC ont lieu en Alberta avec l'essai de plusieurs modèles. L'initiative Alberta Zero Emissions Truck Electrification Collaboration (AZETEC) prévoit le déploiement de deux camions VÉPC à longue portée (700 km) entre Edmonton et Calgary, à partir de 2024. Des essais antérieurs à partir de 2023 ont porté sur le test d'un modèle VÉPC sur des distances plus courtes pour tenir compte du manque d'infrastructures de ravitaillement en hydrogène appropriées.⁷⁷

Sur le front des VEB, Tesla a testé son Semi de classe 8 en décembre 2022, effectuant un trajet de 800 km en terrain montagneux entièrement chargé à 37 195 kg (82 000 lb) aux États-Unis.⁷⁸ Bien que cela représente une étape importante, des inquiétudes persistent quant à l'évolutivité pour le camionnage longue distance. Le test a utilisé une combinaison remorque-tracteur dotée d'un excellent aérodynamisme, qui n'est pas représentative de toutes les applications du monde réel. De plus, la batterie a été complètement vidée, contrairement aux recommandations du FEO en matière de longévité. Au Canada, un certain nombre d'entreprises ont acquis et testent un petit nombre de camions de classe 8 pour des opérations régionales de retour au dépôt avec des distances journalières plus courtes que les opérations long-courrier.⁷⁹

Développements de la chaîne d'approvisionnement

Batterie électrique

Au cours des dernières années, le Canada a été témoin d'une évolution importante de sa chaîne d'approvisionnement en batteries électriques, en

particulier pour les véhicules utilitaires lourds. En ce qui concerne le potentiel de développement d'une chaîne d'approvisionnement en batteries sûre, fiable et durable, le Canada se positionne en tant que leader, dépassant la Chine pour la première fois, selon le classement mondial de la chaîne d'approvisionnement en batteries lithium-ion de BloombergNEF.⁸⁰ Le potentiel du Canada découle de ses progrès continus en matière de fabrication et de production, de ses solides références en matière d'ESG, de sa profonde intégration à l'économie américaine et de son engagement politique inébranlable aux niveaux provincial et fédéral. D'autres facteurs jouent un rôle important dans la chaîne d'approvisionnement des batteries au Canada, comme l'abondance de minéraux essentiels, la recherche et l'innovation de pointe dans le domaine des batteries et un écosystème de fabrication mature.⁸¹

Les principaux pôles de production de VML électriques au Canada sont situés au Québec et au Manitoba. Le pôle manitobain se concentre sur les bus, tandis que le pôle québécois est spécialisé dans les camions et les bus.⁸² Avec des entreprises comme Lion Electric qui ouvrent la voie, le Québec est devenu une plaque tournante importante pour les camions lourds. En 2023, Lion Electric, un chef de file dans le segment, a inauguré son unité de fabrication de batteries lithium-ion pour VML. L'installation permettra l'électrification d'environ 14 000 VML par année.⁸³

Hydrogène

Les entreprises canadiennes actives dans le secteur de l'hydrogène couvrent tous les aspects de la chaîne d'approvisionnement des véhicules à pile à hydrogène - de la production et de la distribution d'hydrogène à la fabrication des véhicules en passant par les stations de ravitaillement. Le pôle le plus important du secteur se trouve en Colombie britannique, mais il en existe d'autres en Ontario, au Québec et en Alberta.

77 Autonomie électrique Canada (2023). La démonstration de camions à hydrogène de classe 8 permet aux transporteurs de l'Alberta d'effectuer des essais en conditions réelles. Extrait de : <https://electricautonomy.ca/2023/08/16/hydrogen-truck-demo-alberta-carriers/>.

78 Motortrend (2022). Le camion Tesla Semi est enfin là après des années d'attente - peut-il répondre aux attentes ? Extrait de : <https://www.motortrend.com/news/2023-tesla-semi-truck-ev-first-look-review/>.

79 Newswire (2023). Loblaw met en service son premier camion de transport à batterie électrique, une étape importante vers son objectif d'une flotte neutre en carbone. Extrait de : <https://www.newswire.ca/news-releases/loblaw-rolls-out-first-battery-electric-transport-truck-a-major-milestone-toward-its-goal-of-a-carbon-neutral-fleet-807069561.html>.

80 BloombergNEF (2024). La Chine tombe au deuxième rang dans le classement mondial de la chaîne d'approvisionnement en piles au lithium-ion de BloombergNEF, tandis que le Canada arrive en tête. Extrait de : <https://about.bnef.com/blog/china-drops-to-second-in-bloombergnefs-global-lithium-ion-battery-supply-chain-ranking-as-canada-comes-out-on-top/>.

81 Clean Energy Canada (2022). Le nouveau moteur économique du Canada. Modélisation du potentiel de la chaîne d'approvisionnement des batteries de VE au Canada - et de la meilleure façon de l'exploiter. Extrait de : https://cleanenergycanada.org/wp-content/uploads/2022/09/CanadasNewEconomicEngine_Web.pdf.

82 International Council on Clean Transportation (2020). Le rôle du Canada dans la transition vers les véhicules électriques. Extrait de : <https://theicct.org/publication/canadas-role-in-the-electric-vehicle-transition/>.

83 Cision (2023). Lion Electric inaugure son usine de fabrication de batteries pour véhicules moyens et lourds. Extrait de : <https://www.newswire.ca/news-releases/lion-electric-inaugurates-its-battery-manufacturing-factory-for-medium-and-heavy-duty-vehicles-879357548.html>.

Les dispositifs de propulsion à l'hydrogène mis au point par la société Ballard Power de Vancouver sont déployés dans des véhicules commerciaux dans le monde entier depuis 1990. Au cours de la dernière décennie, son système de pile à combustible a été utilisé dans des autobus urbains dans plus de 15 pays.⁸⁴ Ballard a créé un pôle d'expertise en matière de piles à combustible et a permis à Cellcentric, une coentreprise entre Daimler Truck AG et le groupe Volvo, d'installer ses premières activités canadiennes à Burnaby, en Colombie-Britannique. Le centre, qui emploie 70 personnes, produit des composants pour les systèmes de piles à combustible de la prochaine génération destinés à alimenter les poids lourds.⁸⁵

Le Canada soutient la chaîne d'approvisionnement grâce à des programmes tels que le Fonds canadien pour l'innovation stratégique, qui investit dans plusieurs usines de fabrication de véhicules innovants afin de promouvoir les VZE et de permettre au Canada de jouer un rôle dans la future économie verte.

3.3 Coût total de possession

3.3.1 Économie des véhicules électriques à batterie

Les coûts d'investissement des camions VEB longue distance se limitent au coût des véhicules eux-mêmes. On suppose que le coût de l'infrastructure de recharge rapide sera supporté par les opérateurs de bornes de recharge et éventuellement par les services d'électricité dans les corridors long-courriers, qui transféreront ensuite ces coûts d'investissement et d'entretien des bornes par le biais des tarifs de recharge. L'annexe D présente les coûts estimés de mise à niveau du capital aux États-Unis pour un centre de recharge à grande échelle, sans inclure les coûts des chargeurs MCS de plus grande puissance (1000-3750 kW) qui ne sont pas encore disponibles sur le marché à l'heure actuelle.

Les batteries des véhicules électriques ont connu des baisses de prix importantes au cours de la dernière décennie, et cette tendance devrait se poursuivre. Par conséquent, l'adoption de cette technologie dans le secteur du VML a augmenté, en particulier parmi les premiers utilisateurs et à petite échelle qui ne nécessitent pas de modernisation importante de leurs infrastructures. Cette tendance est particulièrement notable dans les régions offrant des incitatifs financiers.

« La modification des réglementations en vue d'augmenter les poids autorisés pour les véhicules commerciaux sera cruciale pour favoriser les technologies VZE, principalement pour compenser le poids supplémentaire des technologies à court terme. »

Les baisses de coûts des batteries améliorent l'économie des camions longue distance. Toutefois, les exigences en matière d'autonomie des camions longue distance impliquent des batteries très volumineuses, ce qui entraîne un écart de prix important par rapport aux véhicules diesel. Les FEO n'ont pas encore commercialisé de véhicules de classe 8 capables de faire du transport longue distance (à l'exception du modèle Tesla qui dispose d'une batterie de grande taille qui n'a pas été officiellement annoncée). Des études montrent que l'écart de prix attendu est d'environ \$350 000⁸⁶ pour les camions longue distance de classe 8 à 1 000 kWh, dont les batteries sont plus grandes que celles des camions régionaux de classe 8 existants, dont la taille moyenne des batteries est de 450 kWh.⁸⁷ Dans l'ensemble, le coût d'investissement des camions long-courriers dépendra de la taille des batteries qui les équipent, laquelle dépendra de la capacité de recharge sur les corridors de fret. Les camions actuels de classe 8, dont l'autonomie moyenne peut atteindre 350 km, pourraient s'adapter à un modèle utilisant des chargeurs rapides mégawatts si les conducteurs sont prêts à effectuer des arrêts de charge plus fréquents qu'à l'accoutumée. Toutefois, cette approche entraîne des coûts supplémentaires en raison du temps d'attente additionnel aux arrêts de charge. En outre, les limites de la technologie existante en matière de charge utile pourraient obliger les entreprises de camionnage à utiliser davantage de véhicules qu'actuellement, notamment pour les charges dépassant les limites de poids imposées par les États-Unis.

84 International Council on Clean Transportation (2020), Le rôle du Canada dans la transition vers les véhicules électriques. Extrait de : <https://theicct.org/publication/canadas-role-in-the-electric-vehicle-transition/>

85 Autonomie électrique (2023), L'expertise de la Colombie-Britannique en matière de piles à combustible stimule la croissance d'une coentreprise entre Daimler Trucks et le groupe Volvo. Extrait de : <https://electricautonomy.ca/2023/03/02/fuel-cell-daimler-volvo-cellcentric/>

86 Converti de l'USD au CAD au taux de 1,34.

87 ICCT (2023). Coût total de possession des technologies de groupes motopropulseurs alternatifs pour les camions longue distance de classe 8 aux États-Unis. Extrait de : <https://theicct.org/publication/tco-alt-powertrain-long-haul-trucks-us-apr23/>

L'économie des véhicules électriques implique généralement des coûts initiaux plus élevés, suivis d'économies d'exploitation liées à l'entretien et à la recharge pendant la durée de vie du véhicule. Si les coûts de recharge devraient être inférieurs à ceux du diesel, ils sont encore incertains à ce stade en raison de l'évolution du développement des chargeurs mégawatts dont la tarification est incertaine, ainsi que du coût des modernisations du réseau électrique qui devra être supporté par les opérateurs des bornes de recharge ou par les services d'électricité. Les coûts d'entretien des véhicules électriques à batterie devraient être inférieurs à ceux des véhicules diesel à maturité en raison du nombre nettement inférieur de pièces dans le véhicule. Toutefois, les premiers prototypes qui seront testés ne fourniront pas de données d'entretien représentatives des véhicules de série. Les déploiements progressifs, parallèlement à la production en série et aux itérations technologiques, permettront à la technologie de mûrir au fil du temps. En outre, on ne sait pas encore si l'utilisation de la charge mégawatt aura un impact sur la dégradation de la batterie, ce qui pourrait nécessiter un remplacement plus rapide des batteries tout au long du cycle de vie d'un véhicule.

Les premiers utilisateurs de cette technologie auront besoin d'un soutien financier pour surmonter les obstacles liés aux technologies de première génération. Des études menées en Amérique du Nord prévoient que les camions longue distance électriques à batterie atteindront la parité de coût avec le diesel entre 2027 et 2036.⁸⁸

3.3.2 Économie des piles à hydrogène

Comme pour les véhicules électriques à batterie, les coûts d'investissement des véhicules électriques à pile à hydrogène pour le transport longue distance comprennent le véhicule lui-même. On suppose que l'infrastructure de ravitaillement en hydrogène serait fournie par des opérateurs situés dans des centres de ravitaillement, le coût du déploiement et de l'entretien de l'infrastructure de ravitaillement en hydrogène se traduisant par le coût du ravitaillement en hydrogène à la pompe. Les camions longue

« Dans l'ensemble, le coût d'investissement des camions long-courriers dépendra de la taille des batteries qui les équipent, laquelle dépendra de la capacité de recharge sur les corridors de fret. »

distance à pile à hydrogène sont nettement plus chers que les camions diesel, les estimations indiquant une différence d'environ \$600 000⁸⁹ dans les coûts des camions.⁹⁰ Des réductions de coûts sont attendues pour tous les composants des camions à pile à hydrogène au fur et à mesure de l'augmentation de la capacité de production. Dans le cas d'une production à faible volume, l'utilisation de pièces automobiles standard dans les poids lourds peut entraîner des compromis car les pièces ne sont pas adaptées aux applications des poids lourds. Le ministère américain de l'énergie définit des objectifs de réduction du coût des différents composants des camions à pile à hydrogène, y compris la pile à combustible et le stockage d'hydrogène embarqué.⁹¹ En outre, à l'instar des défis auxquels sont confrontés les véhicules électriques à batterie, les limites de la charge utile de la technologie hydrogène actuelle pourraient contraindre les entreprises de camionnage à déployer des véhicules supplémentaires pour transporter des charges qui dépassent les réglementations américaines en matière de poids.

88 RMI (2022). Rendre possible le camionnage à zéro émission. Extrait de : <https://missionpossiblepartnership.org/wp-content/uploads/2022/11/Making-Zero-Emissions-Trucking-Possible.pdf>

89 Converti de USD en CAD au taux de 1,34.

90 ICCT (2023). Coût total de possession des technologies de groupes motopropulseurs alternatifs pour les camions longue distance de classe 8 aux États-Unis. Extrait de : <https://theicct.org/publication/tco-alt-powertrain-long-haul-trucks-us-apr23/>

91 NACFE (2023). Les camions à hydrogène, l'avenir du transport longue distance ? Extrait de : <https://nacfe.org/research/electric-trucks/hydrogen/>

Les coûts de maintenance des piles à hydrogène devraient être inférieurs à ceux des camions diesel et comparables à ceux des camions électriques à batterie.⁹² Les coûts de l'hydrogène à la pompe varieront considérablement en fonction de la méthode utilisée pour produire l'hydrogène et du réseau de distribution de l'hydrogène, l'hydrogène vert étant deux fois plus cher. Des études montrent que l'hydrogène doit atteindre entre 4 et 8 \$/kg⁹³ pour concurrencer les véhicules diesel au cours de la prochaine décennie du point de vue du rapport coût-efficacité.⁹⁴ Il est peu probable que le volume de véhicules et la demande nécessaires pour atteindre l'échelle requise pour la compétitivité des coûts par rapport au diesel soient atteints uniquement par le biais du transport par camion commercial. Par conséquent, l'hydrogène subventionné devrait être essentiel pendant une longue période, et des choix sous-optimaux en matière d'approvisionnement en hydrogène, tels que l'hydrogène gris produit à partir du gaz naturel, qui est plus susceptible d'atteindre des prix commercialement viables à court et à moyen terme, pourraient être nécessaires pendant des décennies. On ne sait pas non plus si l'hydrogène vert produit au Canada sera d'abord alloué au transport routier ou à d'autres secteurs consommateurs d'hydrogène.

Il est possible d'améliorer la production d'hydrogène vert à grande échelle grâce à la recherche et au développement. Les perspectives environnementales actuelles sont positives grâce à la loi Inflation Reduction Act (IRA) aux États-Unis et aux divers programmes mis en place au Canada.⁹⁵ Les détails du crédit d'impôt à l'investissement (CII) canadien pour l'hydrogène propre ont été confirmés dans le budget fédéral de 2023. Ce crédit d'impôt à l'investissement remboursable s'applique aux projets d'hydrogène propre, offrant un soutien allant de 15 à 40 % des coûts admissibles du projet. Le niveau de soutien est plus élevé pour les projets générant l'hydrogène le plus propre. En outre, le CII pour l'hydrogène propre étend un crédit d'impôt à 15 % pour l'équipement essentiel à la conversion de l'hydrogène en ammoniac à des fins de transport. Ce crédit d'impôt n'est applicable que lorsque la production d'ammoniac est associée à la production d'hydrogène propre.⁹⁶

92 À ce stade précoce du prototype, on ne sait pas si la pile à combustible et les réservoirs nécessiteront un entretien supplémentaire.

93 Converti de l'USD à 1,34

94 ICCT (2023). Coût total de possession des technologies de groupes motopropulseurs alternatifs pour les camions longue distance de classe 8 aux États-Unis. Extrait de : <https://theicct.org/publication/tco-alt-powertrain-long-haul-trucks-us-apr23/>.

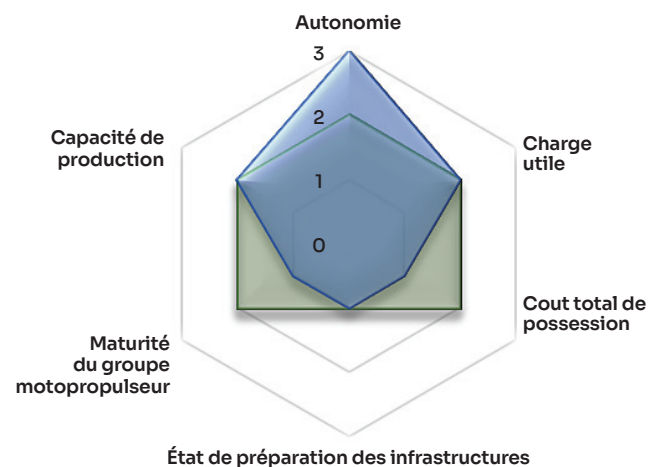
95 Hydrogen Council (2023). Hydrogen Insights 2023. Une mise à jour de l'état de l'économie mondiale de l'hydrogène, avec une analyse approfondie de l'Amérique du Nord. Extrait de : <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2023/05/Hydrogen-Insights-2023.pdf>

96 Association canadienne de l'hydrogène et des piles à hydrogène (2023). Le secteur canadien de l'hydrogène accueille favorablement le budget 2023. Extrait de : <https://www.chfca.ca/2023/04/05/canadas-hydrogen-sector-welcomes-budget-2023/>

4 Synthèse et analyse comparative



La technologie qui domine actuellement pour les véhicules long-courriers de classe 8 est le MCI diesel, dont l'écosystème est bien établi. Aux fins de la présente comparaison, le MCI diesel est considéré comme la référence opérationnelle. En d'autres termes, il s'agit de la technologie en place pour le transport routier lourd longue distance, qui permet des charges utiles suffisantes et une autonomie rentable, et qui fonctionne au sein d'un écosystème bien établi (par exemple, ravitaillement en carburant, F&E, etc.). La Figure 11 présente une représentation visuelle des facteurs clés comparant la technologie et l'état de la commercialisation des technologies des batteries électriques et des piles à combustible à hydrogène au point de référence opérationnel. Elle indique où chaque technologie répond au critère opérationnel actuel (3), est en cours de développement (2) ou nécessite des progrès importants pour répondre au critère opérationnel actuel (1). Le diagramme radar présente les forces et les faiblesses relatives des deux technologies. Dans l'ensemble, une zone plus large indique une proximité avec le repère opérationnel actuel.



Classement de préparation à la technologie et au marché

La technologie répond aux normes actuelles	3
La technologie est en cours de développement	2
Des progrès importants sont nécessaires	1

- Véhicules électriques à batterie
- Véhicules électriques à pile à combustible

Fig 11 : Aperçu de la technologie et de l'état de commercialisation du marché

Technologie et état de commercialisation du marché

Les opérations de camionnage longue distance représentent un segment particulier du secteur du fret routier, caractérisé par de longues distances de déplacement et de lourdes charges utiles. Par conséquent, l'évaluation de la viabilité des technologies à zéro émission pour le camionnage longue distance repose sur des capacités opérationnelles telles que l'autonomie et la charge utile. En 2024, la production prévue de modèles de classe 8 à pile à hydrogène révèle des capacités d'autonomie supérieures à celles des camions électriques à batterie. À ce stade, les gammes de camions électriques à batterie de classe 8 disponibles dans le commerce conviennent principalement aux transports régionaux.

En termes de charge utile, le poids important des batteries représente actuellement un défi majeur pour la technologie électrique à batterie - un problème légèrement moins prononcé pour les camions à pile à combustible à hydrogène en raison de leur stockage d'hydrogène plus léger. Bien que l'on s'attende à ce que ces deux technologies voient leur poids diminuer avec l'augmentation de la capacité de production, elles sont actuellement conçues pour répondre aux limites de poids des camions américains, qui sont inférieures à celles du Canada. L'adaptation de ces technologies aux applications long-courriers est-ouest les plus lourdes du Canada introduira des limitations d'autonomie supplémentaires en raison de l'impact des charges utiles plus lourdes sur l'efficacité énergétique, ce qui risque d'affecter leur taux d'adoption au Canada.

Les deux technologies en sont aux premiers stades de développement et présentent un potentiel d'amélioration grâce à des investissements continus en R&D de la part des FEO. Les camions VEB, par exemple, pourraient bénéficier d'avancées dans la densité énergétique des batteries, l'efficacité de la transmission et les technologies de charge de route, ce qui permettrait de surmonter les limitations actuelles en matière d'autonomie et de poids. En outre, le développement de nouvelles compositions chimiques pour les batteries pourrait

« Des investissements importants dans l'infrastructure de distribution de l'hydrogène et de l'électricité sont nécessaires, accompagnés de progrès et d'essais de bornes de recharge à très haute puissance et de stations de ravitaillement en hydrogène à haute pression. Des progrès sont réalisés sur tous les fronts, mais la technologie qui attire le plus d'investissements dans des corridors de fret spécifiques jouera probablement un rôle crucial dans la détermination de l'orientation de l'industrie. »

considérablement améliorer leurs capacités opérationnelles au fil du temps.⁹⁷ De même, des investissements importants sont en cours pour améliorer la technologie des VÉPC dans le secteur des transports longue distance.

Du point de vue du coût total de possession, l'écart de coût avec les camions VÉPC est plus élevé qu'avec les camions VEB. Les deux options sont nettement plus chères que les camions diesel à ce stade et sont destinées à bénéficier d'économies d'échelle grâce à une production plus importante, conditionnée par des percées technologiques et des investissements dans l'infrastructure. Les coûts d'entretien des deux options devraient être inférieurs à ceux des véhicules diesel, mais la technologie de batterie électrique devrait présenter un léger avantage en raison du nombre moins élevé de pièces détachées.

⁹⁷ Energy Monitor (2023). Des scientifiques américains réalisent une percée dans le domaine des batteries de véhicules électriques à longue autonomie. Extrait de : <https://www.energymonitor.ai/transport/us-scientists-make-breakthrough-for-long-range-electric-vehicle-batteries/?cf-view>

Les coûts de rechargement des camions électriques à batterie sont également nettement inférieurs aux coûts de l'hydrogène vert. Toutefois, les coûts de recharge et de ravitaillement dépendront fortement de la manière dont l'infrastructure sera développée et tarifée sur les corridors long-courriers, créant un décalage potentiel entre les coûts de production et les coûts aux stations de recharge ou aux pompes à hydrogène. Des investissements importants dans l'infrastructure de distribution de l'hydrogène et de l'électricité sont nécessaires, accompagnés de progrès et d'essais de bornes de recharge à très haute puissance et de stations de ravitaillement en hydrogène à haute pression. Des progrès sont réalisés sur tous les fronts, mais la technologie qui attire le plus d'investissements dans des corridors de fret spécifiques jouera probablement un rôle crucial dans la détermination de l'orientation de l'industrie.

Les VEB de classe 8 actuellement fabriqués ne conviennent pour l'essentiel qu'au transport routier régional. Cependant, Tesla a l'intention de lancer la production en série d'un modèle conçu pour certaines applications de transport longue distance en 2024. En attendant, la capacité de fabrication de camions VÉPC longue distance reste limitée. Néanmoins, plusieurs modèles adaptés au transport longue distance sont prévus, principalement en raison de l'état de développement plus avancé de la technologie des piles à hydrogène dans des scénarios où l'infrastructure de ravitaillement a été prise en compte.

Les applications de transport régional des VEB de classe 8 ont le potentiel de favoriser les améliorations technologiques qui pourraient soutenir les augmentations d'autonomie pour les applications long-courriers. Les camions VÉPC longue distance en sont au stade du prototype, le lancement des modèles de production de première génération étant prévu pour 2024.

Le développement de réseaux de recharge et de ravitaillement en hydrogène nécessitera des investissements et des risques importants en matière d'infrastructures. Il est possible que la longue histoire de la construction de systèmes électriques soit un avantage pour le développement d'un réseau de recharge, mais le développement d'un réseau de recharge pour le transport longue distance risque d'être limité par des problèmes de capacité dans certains endroits. L'hydrogène peut bénéficier de sa nature plus modulaire, en ce sens qu'un système de ravitaillement peut commencer

par un ou deux points de ravitaillement avec de l'hydrogène transporté par camion jusqu'à la station, puis s'étendre au fur et à mesure de l'augmentation de la demande. Ainsi, il peut être plus rapide et plus rentable de mettre en place un réseau d'hydrogène. Toutefois, à ce stade, les informations disponibles sont insuffisantes pour déterminer si la construction du système électrique ou le développement d'un nouveau réseau de ravitaillement en hydrogène sera l'option la plus rentable.

Tendances en matière de réglementations et d'incitatifs

Les réglementations nord-américaines en matière d'émissions deviennent de plus en plus strictes, ce qui exige des progrès significatifs dans les technologies existantes (par exemple, les véhicules MCI à moteur diesel, les contrôles d'émissions avant et après commercialisation, etc.). Cela devrait entraîner une augmentation des coûts de production, d'investissement et d'exploitation des véhicules lourds.

Malgré l'évolution des réglementations qui soutiennent le développement et la mise en œuvre des véhicules lourds à zéro émission, les prix élevés continuent de représenter un obstacle important. Des incitatifs pour les véhicules et des investissements dans les infrastructures seront nécessaires pour que les technologies VZE deviennent économiquement viables. Il est encourageant de constater qu'il y a eu récemment un afflux de soutien financier pour l'écosystème plus large des camions à zéro émission, y compris la R&D, le déploiement/adoption pilote, l'infrastructure, ainsi que les éléments de soutien, tels que les lignes directrices, les codes et les normes. Un résumé des principaux programmes dans ce domaine a été présenté à la section 3.1.5 Incitatifs financiers.

Outre les réglementations et les incitatifs, les provinces, les États et le gouvernement fédéral s'efforcent de plus en plus de rendre obligatoires les ventes de VZE. Celles-ci augmentent progressivement pour atteindre 100 % de VML zéro émission entre 2035 et 2045, en fonction du lieu et du type de véhicule. Les implications de cette transition pour les petits propriétaires-exploitants sont importantes, car ils ont tendance à être plus limités financièrement et à dépendre du marché de la revente de véhicules d'occasion. Ils pourraient avoir besoin d'un soutien ciblé pour s'assurer qu'ils peuvent suivre le rythme des changements de l'industrie.

5

Conclusion



Dans le cadre du modèle actuel de transport de marchandises sur de longues distances en Amérique du Nord, les camions de classe 8 sont conçus pour transporter de lourdes charges sur de longues distances, en respectant des règles opérationnelles strictes. Ils font partie intégrante de l'économie canadienne et contribuent également de manière significative aux émissions de GES et de PCA du secteur des transports. Des efforts sont en cours pour atténuer l'impact des émissions et décarboniser le secteur routier. Deux voies principales ont été identifiées : VEB et VÉPC. Le réseau électrique canadien, relativement propre, est prometteur en termes de soutien à la décarbonisation, permettant des réductions d'émissions significatives pour les deux technologies.

Les modèles VZE actuels pour les camions VEB et VÉPC de classe 8 présentent des limitations d'autonomie et de charge utile par rapport aux véhicules diesel à moteur à combustion interne. Les modèles VZE existants présentent toutefois un potentiel pour des applications spécifiques de poids inférieur à celui d'un camion complet, et les deux technologies présentent un potentiel d'amélioration (vers des applications long-courrier à pleine charge) avec des investissements continus en R&D de la part des FEO. Par exemple, les progrès

pour les VEB peuvent inclure l'augmentation de la densité énergétique de la batterie, de nouvelles compositions chimiques de la batterie et des technologies de charge sur route. Pour les VÉPC à hydrogène, les améliorations devraient porter sur des domaines tels que les matériaux et la durabilité des piles à combustible.

Les incitatifs financiers sont appelés à jouer un rôle majeur dans notre futur proche, en facilitant l'essai de ces technologies dans des conditions pilotes. Bien que le paysage actuel des applications soit limité au Canada, des projets pilotes de VÉPC longue distance de classe 8 sont en cours en Alberta. Simultanément, le déploiement d'applications de VEB de classe 8 pour le transport régional se développe au Canada, avec l'anticipation de progrès technologiques qui permettront des applications long-courrier à l'avenir.

Le succès des modèles actuels et des futures technologies VEB et VÉPC potentielles dépend du développement d'infrastructures essentielles (par exemple, un réseau étendu de bornes de recharge publiques à haute puissance pour les VEB et un réseau national complet de distribution d'hydrogène pour les VÉPC). La réalisation de ce potentiel dépend d'une évaluation détaillée des besoins en infrastructures de recharge ou de

ravitaillement en hydrogène, suivie du déploiement de ces infrastructures. Par exemple, les charges électriques associées au secteur de l'infrastructure de recharge longue distance sont très élevées et la satisfaction de ces charges nécessitera une planification importante et sera très coûteuse à installer. De même, la production d'hydrogène vert et l'infrastructure de distribution d'hydrogène nécessiteront des investissements substantiels pour être viables.

Même s'il reste encore beaucoup de progrès à faire, les réglementations évoluent pour faire progresser la viabilité des poids lourds à zéro émission. Parallèlement, un certain nombre de programmes financiers ont récemment été lancés pour soutenir divers aspects de la chaîne d'approvisionnement en VZE, notamment pour le développement et le déploiement de camions longue distance de classe 8 équipés de batteries électriques et de piles à hydrogène. Pour réaliser des percées en matière de coûts qui permettent une trajectoire plus axée sur le marché vers des émissions nulles, les gouvernements et les institutions financières privées doivent orienter les capitaux vers la recherche et le développement hautement prioritaires et les déploiements à petite échelle. Les efforts doivent également se concentrer sur le dégroupage des énergies renouvelables grâce à de nouvelles capacités de production et de transmission d'électricité et de distribution d'hydrogène.

« Les modèles VZE actuels pour les camions VEB et VÉPC de classe 8 présentent des limitations d'autonomie et de charge utile par rapport aux véhicules diesel à moteur à combustion interne. Les modèles VZE existants présentent toutefois un potentiel pour des applications spécifiques de poids inférieur à celui d'un camion complet, et les deux technologies présentent un potentiel d'amélioration (vers des applications long-courrier à pleine charge) avec des investissements continus en R&D de la part des FEO. »



Annexe A

Réglementations sur les émissions de GES et de PCA

Règlements sur les émissions de GES

Canada

Au Canada, les émissions d'échappement des véhicules lourds et des moteurs sont réglementées par ECCC en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement de 1999* afin de limiter les émissions de GES et de PCA. En 2013, le Canada a finalisé la première phase du *Règlement sur les émissions de gaz à effet de serre des véhicules utilitaires lourds et de leurs moteurs*. En 2018, le règlement relatif aux véhicules lourds routiers a été mis à jour (phase 2) et s'applique à partir de l'année de gestion 2021. La phase 2 a été mise à jour pour la dernière fois en octobre 2022. À l'instar de la réglementation américaine de la phase 2 sur les GES (décrite ci-dessous), la deuxième phase de la réglementation canadienne a ajouté les remorques de classe 8 comme catégorie pour les normes d'émissions réglementées. Cependant, en réponse à une contestation juridique aux États-Unis, l'ECCC a émis plusieurs ordonnances provisoires pour suspendre l'application des dispositions relatives aux remorques dans le règlement de la phase 2.⁹⁸

États-Unis

En septembre 2011, l'EPA, en coordination avec la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), a publié la Phase 1 : *Greenhouse Gas Rule pour les années modèles 2014-2018* pour les véhicules moyens et lourds. Les normes sont adaptées aux tracteurs combinés, aux camionnettes et fourgonnettes lourdes et aux véhicules professionnels. En octobre 2016, le règlement américain sur les GES de la phase 2 a été publié pour fixer les limites de gaz à effet de serre pour les véhicules moyens et lourds pour les années modèles 2018-2027. Cette règle couvre les années modèles 2018-2027 pour certaines remorques et les années modèles 2021-2027 pour les semi-remorques, les grandes camionnettes, les fourgonnettes et tous

les types et tailles d'autobus et de camions de travail.⁹⁹ Le 29 mars 2024, l'EPA a publié une règle finale Greenhouse Gas Emissions Standards for Heavy-Duty Vehicles – Phase 3.¹⁰⁰ La Phase 3 révisé les normes de la phase 2 pour l'année modèle 2027 et établit de nouvelles normes plus strictes pour les années modèles 2028 - 2032. La phase 3, ainsi que les normes 2022 de l'EPA visant à contrôler la pollution atmosphérique par le smog et la suie provenant des nouveaux moteurs et véhicules utilitaires lourds, répondent à l'objectif du Clean Trucks Plan de l'EPA, en ce qui concerne les poids lourds.

À la suite de la publication de la phase 3, plus stricte, aux États-Unis, le CCCE devrait entamer une révision des normes d'émission canadiennes dans les années à venir.

Différences entre les États-Unis et le Canada

La réglementation canadienne a toujours été alignée sur la norme nationale d'émissions de l'EPA des États-Unis pour les véhicules moyens et lourds. En ce qui concerne l'alignement des réglementations américaines et canadiennes sur les émissions de GES des véhicules lourds, les deux sont similaires en ce qui concerne la conception de la réglementation, les groupes de véhicules, les valeurs limites et le calendrier. Néanmoins, il est important de souligner deux différences essentielles :¹⁰¹

- La norme américaine porte à la fois sur la consommation de carburant et les émissions de GES, tandis qu'au Canada, la norme ne porte que sur les émissions de GES.
- Tout moteur certifié par l'EPA peut être vendu au Canada sans qu'il soit nécessaire de démontrer la conformité avec la moyenne pondérée des ventes au Canada, à condition que les seuils de vente déterminés soient atteints.

98 Government of Canada (2024), Canada Gazette, Part I, Volume 158, Number 11: ORDERS IN COUNCIL. Retrieved from: [https://www.gazette.gc.ca/rp-pr/p1/2024/2024-03-16/html/order-decret-eng.html](https://www.gazette.gc.ca/rp-pr/Gouvernement du Canada (2024), Gazette du Canada, Partie I, Volume 158, Numéro 11 : ORDRES DU CONSEIL. Extrait de : <a href=)

99 EPA (2024), Normes d'émission de l'EPA pour les moteurs et les véhicules routiers lourds. Extrait de : <https://www.epa.gov/emission-standards-reference-guide/epa-emission-standards-heavy-duty-highway-engines-and-vehicles>

100 EPA (2024). 40 CFR Parties 86, 1036, 1037, 1039, 1054 et 1065. Normes d'émissions de gaz à effet de serre pour les véhicules utilitaires lourds – Phase 3. Extrait de : <https://www.epa.gov/system/feeds/documents/2024-03/hd-phase3-veh-standrds-ghg-emission-frm-2024-03.pdf>

101 Transport Policy (2018), Canada: Heavy-Duty: GHG. Retrieved from: <https://www.transportpolicy.net/standard/canada-heavy-duty-ghg/>

Règlement sur les émissions des PCA

Canada

La norme canadienne actuelle sur les émissions de PCA pour les véhicules lourds, le *Règlement sur les émissions des véhicules routiers et de leurs moteurs (phase 2)*, a été publiée en 2003, est entrée en vigueur en 2004 et a été modifiée pour la dernière fois en octobre 2022.¹⁰² Pour les moteurs de poids lourds, le règlement s'aligne sur (et se réfère à) les sections 10 et 11 du titre 40, chapitre I, sous-chapitre C, partie 86, sous-partie A du CFR. Le tableau A.1 présente les normes d'émission canadiennes par type de moteur.

Tableau A.1 – Normes d'émission pour les moteurs de poids lourds (g/bhp-hr)

AM	Type de moteur	PNBV kg (lb)	NOx	NMHC	NOx + NMHC	CO	PM
2005-2020	Otto HDE ¹⁰³	> 6,350 (14,000)	—	—	1.0	37.1 —	—
2007+	Diesel HDE	≥ 3,856 (8,500)	0.2	0.14	—	15.5 (compression-ignition) 14.4 (spark-ignition)	0.01

États-Unis

Le 20 décembre 2022, l'EPA a adopté la règle finale pour le contrôle de la pollution de l'air provenant des nouveaux véhicules à moteur : Normes relatives aux moteurs et aux véhicules utilitaires lourds.¹⁰⁴

Le tableau A.2 présente un résumé des normes américaines actuelles en matière d'émissions de gaz d'échappement.

Tableau A.2: Normes d'émission américaines HDE (g/bhp-hr)

AM	Type de moteur	PNBV kg (lb)	NOx	NMHC	NOx + NMHC	CO	PM
2026 & earlier	Spark-ignition HDE; Compression-ignition	> 6,350 (14,000)	0.2	0.14	—	15.5 (compression-ignition) 14.4 (spark-ignition)	0.01
2027+	Spark-ignition HDE	> 6,350 (14,000)	0.035	0.06	—	6	0.005

Selon l'EPA, d'ici 2045, les émissions des véhicules utilitaires lourds devraient être réduites de 48 % pour les NOx, de 8 % pour les PM_{2,5} primaires, de 23 % pour les COV et de 18 % pour le CO¹⁰⁵ à la suite de cette nouvelle réglementation. Suivant l'exemple des États-Unis, le Canada devrait mettre à jour sa réglementation pour restreindre les émissions de PCA des véhicules utilitaires lourds à partir de l'année modèle 2027.

Différences entre les États-Unis et le Canada

À l'instar de l'alignement des réglementations sur les émissions de GES entre les États-Unis et le Canada, les réglementations sur les émissions de PCA sont également actuellement alignées pour l'année de modèle 2026 et les années antérieures. La principale différence entre le règlement canadien sur les émissions des véhicules routiers et de leurs moteurs (phase 2) et la législation américaine est la période de mise en œuvre progressive. Toutefois, cela n'a qu'un faible impact puisque le Canada reconnaît les certificats d'émission de l'EPA des États-Unis.¹⁰⁶ En vertu de la réglementation canadienne, les entreprises peuvent choisir de se conformer à la certification des émissions de l'EPA et aux normes d'utilisation mentionnées dans le certificat de l'EPA ou au Règlement sur les émissions des véhicules routiers et de leurs moteurs.

¹⁰² Gouvernement du Canada. Règlement sur les émissions des véhicules routiers et de leurs moteurs (DORS/2003-2). En vigueur à compter du 20 mars 2024. Dernière modification le 3 octobre 2022. Extrait de : <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/sor-2003-2/index.html>

¹⁰³ Pour les années 2021 et suivantes, tous les véhicules lourds HDE sont soumis au Diesel HDE.

¹⁰⁴ EPA (2023). 40 CFR Parties 2, 59, 60, 80, 85, 86, 600, 1027, 1030, 1031, 1033, 1036, 1037, 1039, 1042, 1043, 1045, 1048, 1051, 1054, 1060, 1065, 1066, 1068 et 1090. Contrôle de la pollution atmosphérique provenant des nouveaux véhicules à moteur : Heavy-Duty Engine and Vehicle Standards. Extrait de : <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2023-01-24/pdf/2022-27957.pdf>

¹⁰⁵ United States Environmental Protection Agency (2022). Control of Air Pollution from New Motor Vehicles: Heavy-Duty Engine and Vehicle Standards. Retrieved from: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P1016A9N.pdf>

¹⁰⁶ Les certificats d'émission de l'EPA sont des certificats de conformité aux normes fédérales américaines délivrés par l'EPA. Le Clean Air Act exige que tous les moteurs et véhicules soient couverts par un certificat de conformité avant de pouvoir être commercialisés. Un certificat de conformité démontre que le moteur ou le véhicule concerné est conforme à toutes les exigences applicables en matière d'émissions.

Annexe B

Mandats de vente

Les mandats de vente nord-américains et mondiaux liés aux véhicules zéro émission ont été présentés à la section 3.1.4 Des détails supplémentaires sur la règle d'avril 2023, connue sous le nom d'*Advanced Clean Fleets (ACF)*, pour la Californie sont présentés ci-dessous. En outre, un tableau récapitulatif des réglementations relatives aux ventes et à la fabrication en Californie, aux États-Unis et au Canada est fourni à la fin de la présente annexe.

La loi ACF est conçue pour compléter la règle ACT, car elle oblige les fabricants à vendre uniquement des véhicules moyens et lourds à zéro émission à partir de 2036, et fixe des exigences pour trois types de flottes : (a) les *camions de transport de marchandises dans les ports californiens*, (b) les *flottes des États et des collectivités locales*, (c) les

flottes hautement prioritaires dont les véhicules sont adaptés à l'électrification, leurs sous-transporteurs et les entités qui les engagent.¹⁰⁷ Un tableau récapitulatif des différentes composantes des trois groupes principaux de l'ACF, de leur application, des véhicules concernés et des exigences est présenté ci-dessous (Tableau B.2). Reconnaisant les défis que pose l'adoption des VZE, le CARB donne la possibilité aux *flottes des États et des collectivités locales*, ainsi qu'aux *flottes hautement prioritaires et fédérales*, de choisir l'option de l'étape VZE qui fixe un pourcentage graduel de véhicules zéro émission devant être à zéro émission. Cette option offre une plus grande souplesse et tient compte des différents stades d'avancement de la technologie et de l'état de préparation du marché pour trois groupes différents de parcs automobiles (Tableau B.1).

Tableau B.1 Résumé des groupes ACF¹⁰⁸

Groupe	S'applique à :	Véhicules concernés :	Exigences
Flottes fédérales et de haute priorité	<ul style="list-style-type: none"> Flottes de plus de 50 véhicules, y compris propriété et contrôle communs Flottes dont le chiffre d'affaires est supérieur à 50 millions de dollars Flottes du gouvernement fédéral Entités qui engagent ou répartissent des flottes 	<ul style="list-style-type: none"> Véhicules routiers de la classe 2b-8 Tracteurs non routiers Véhicules légers de livraison de colis 	<p>Les flottes peuvent choisir entre l'exigence du calendrier de l'année modèle et l'option des étapes VZE.</p> <ul style="list-style-type: none"> Calendrier des années modèles : À partir de 2024 : les flottes doivent acheter uniquement des VZE. À partir du 1er janvier 2025 : les véhicules à moteur à combustion interne doivent être retirés à la fin de leur durée de vie utile, comme indiqué dans le règlement. Option des étapes VZE : décrite dans le tableau B.2.

cont

¹⁰⁷ CARB (2023), Ressources TruckStop. Extrait de : <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/truckstop-resources/zev-truckstop/regulations>

¹⁰⁸ Le succès des modèles actuels et des futures technologies de batteries électriques et de piles à combustible dépend du développement d'infrastructures essentielles (par exemple, un réseau étendu de stations de recharge publiques à haute puissance pour les VEB et un réseau national complet de distribution d'hydrogène pour les VEPC). La réalisation de ce potentiel dépend d'une évaluation détaillée des besoins en infrastructures de recharge ou de ravitaillement en hydrogène, suivie du déploiement de ces infrastructures. Par exemple, les charges électriques associées au secteur de l'infrastructure de recharge longue distance sont très élevées et la satisfaction de ces charges nécessitera une planification importante et sera très coûteuse à installer. De même, la production d'hydrogène vert et l'infrastructure de distribution d'hydrogène nécessiteront des investissements substantiels pour être viables. Même s'il reste encore beaucoup de progrès à faire, les réglementations évoluent pour faire progresser la viabilité des poids lourds à zéro émission. Parallèlement, un certain nombre de programmes financiers ont récemment été lancés pour soutenir divers aspects de la chaîne d'approvisionnement des véhicules à zéro émission, notamment pour le développement et le déploiement de camions longue distance de classe 8 équipés de batteries électriques et de piles à combustible à hydrogène.

Tableau B.1 Résumé des groupes ACF¹⁰⁸

Groupe	S'applique à :	Véhicules concernés :	Exigences
État et collectivités locales	<ul style="list-style-type: none"> Agences gouvernementales locales et d'État qui possèdent, louent ou exploitent des camions moyens et lourds* <p>** Les agences situées dans les comtés et divisions désignés et possédant 10 camions ou moins sont exemptées jusqu'en 2027.</p>	Tous les camions moyens et lourds	<p>Les flottes peuvent choisir entre les exigences d'achat de véhicules à émissions zéro et l'option de franchissement d'étapes VZE :</p> <ul style="list-style-type: none"> Exigences d'achat zéro émission : À partir de 2024 : 50 % des achats doivent être à zéro émission. À partir de 2027 : 100 % des achats doivent être à zéro émission. Option des étapes VZE : décrite dans le tableau B.2
Flottes de transport de lots	<ul style="list-style-type: none"> Les camions routiers de classe 7-8 circulant dans les ports maritimes et les gares intermodales de Californie 		<ul style="list-style-type: none"> À partir de 2024 : N'acheter que des camions de transport de marchandises VZE, D'ici 2025 : Déclarer le kilométrage des camions de plus de 12 ans, D'ici 2035 : Veiller à ce que 100 % des camions flottes soient des VZE, quel que soit l'âge du véhicule ou le kilométrage d'exploitation parcouru, Retirer un camion du système s'il atteint l'âge de 18 ans ou 800 000 miles, ou un minimum de 13 ans si le camion a plus de 800 000 miles.

Tableau B.2 Parc de VZE par groupe de jalons et par année¹⁰⁹

Pourcentage de véhicules qui doivent être des véhicules zéro émission.	10%	20%	50%	75%	100%
Groupe 1 : Camions fourgons, fourgonnettes, autobus à deux essieux, tracteurs de manœuvre, véhicules légers de livraison de colis.	2025	2028	2031	2033	2035 et au-delà
Groupe 2 : Camions de travail, tracteurs à cabine courte, autobus à trois essieux	2027	2030	2033	2036	2039 et au-delà
Groupe 3 : Tracteurs à cabine couchette et véhicules spécialisés	2030	2033	2036	2039	2042 et au-delà

109 CARB (2023) Advanced Clean Fleets Regulation Summary. Retrieved from: <https://ww2.arb.ca.gov/resources/fact-sheets/advanced-clean-fleets-regulation-summary>

Le tableau B.3 présente un résumé des réglementations relatives aux ventes et à la fabrication en Californie, aux États-Unis et au Canada.

Tableau B.3 Réglementation sur les véhicules lourds à zéro émission en Californie, aux États-Unis et au Canada

Champ d'application	La juridiction	Objectifs pour les opérations	Réglementation relative à la fabrication des véhicules lourds et à la vente de véhicules lourds (VZE) – Classe 8
Régional/État	Californie	Exploitation à 100 % en VZE de tous les VML d'ici à 2045, dans la mesure du possible ¹¹⁰ Les objectifs provisoires pour les flottes hautement prioritaires, les camions de transport et les flottes publiques sont décrits dans les tableaux B.1 et B.2, conformément à l'Advanced Clean Fleet Rule.	Advanced Clean Truck Rule D'ici 2035, ventes à zéro émission : 75 % pour les camions rigides de classe 4 à 8 40 % pour les camions tracteurs de classe 7 à 8 Advanced Clean Fleet Rule À partir de 2036 : vente uniquement de VML zéro émission
Régional/État	Colorado, Connecticut, Hawaii, Maine, Maryland, Massachusetts, Nevada, New Jersey, New York, North Carolina, Oregon, Pennsylvania, Rhode Island, Vermont, Virginia, et Washington Le Connecticut et le Maine travaillent à l'adoption de la règle. ¹¹¹		Identique à la règle californienne sur les camions propres (Advanced Clean Truck Rule)
Fédéral	Canada et États-Unis		Protocole d'accord mondial D'ici à 2030 : 30 % de nouvelles ventes de VML à zéro émission D'ici à 2040 : 100 % de nouvelles ventes de VML à zéro émission ¹¹²
Régionale/ provinciale	Colombie-Britannique		La province de la Colombie-Britannique est en train de créer un mandat de vente pour les VML, conformément aux règles californiennes.

¹¹⁰ Governor Newsom Announces California Will Phase Out Gasoline-Powered Cars & Drastically Reduce Demand for Fossil Fuel in California's Fight Against Climate Change, Office of Governor Gavin Newsom, 2020, <https://www.gov.ca.gov/2020/09/23/governor-newsom-announces-california-will-phase-out-gasoline-powered-cars-drastically-reduce-demand-for-fossil-fuel-in-californias-fight-against-climate-change/>

¹¹¹ Electric Trucks Now (2023), States are embracing electric trucks. Retrieved from: <https://www.electrictrucksnow.com/states>

¹¹² Protocole d'accord mondial sur les véhicules moyens et lourds à zéro émission (2024). Extrait de : <https://globaldrivetozero.org/mou-nations/>

Annexe C

Incitatifs financiers

Canada - fédéral

Programme d'incitatifs pour les véhicules zéro émission moyens et lourds (iMHZEV)

Le Programme d'incitatifs pour les véhicules moyens et lourds zéro émission (iVMLZE) a été lancé en juillet 2022 par Transports Canada et offre aux organisations canadiennes à but lucratif et sans but lucratif, aux provinces, aux territoires et aux municipalités des incitatifs d'une valeur de 547,5 millions de dollars pour l'achat ou la location de véhicules moyens et lourds zéro émission (iVMLZE) admissibles. Le programme est en vigueur jusqu'en 2026 ou jusqu'à ce que le fonds soit épuisé.¹¹³

L'incitatif maximal disponible pour chaque véhicule est de 200 000 \$, avec une limite de 10 incitatifs par organisation ou un maximum d'un million de dollars, selon la première éventualité, par année civile. Sont exclus du programme les véhicules tout-terrain, les véhicules d'occasion et les véhicules achetés ou loués à l'étranger. Cet incitatif fédéral s'appliquera aux VML a zero emission admissibles, en complément de tout incitatif provincial ou territorial, et peut couvrir jusqu'à 75 % du prix de détail suggéré par le fabricant (PDSF) du véhicule.¹¹⁴

Pour les véhicules loués, les incitatifs sont décrits dans le tableau C.1 ci-dessous

Tableau C.1: Incitatif maximal pour les véhicules loués ¹¹⁵

Classe de véhicule	Montant total de l'incitatif	Location de 48 mois	Location de 36 mois	Location de 24 mois	Location de 12 mois
8 (Coach, VÉPC)	\$200,000	\$200,000	\$150,000	\$100,000	\$50,000
8 (≥350 kWh)	\$150,000	\$150,000	\$112,500	\$75,000	\$37,500
8 (<350 kWh)	\$100,000	\$100,000	\$75,000	\$50,000	\$25,000

La liste des véhicules éligibles est constamment mise à jour par Transports Canada. La liste complète peut être consultée sur le site web de Transports Canada.

Programme d'infrastructure pour les véhicules à émission zéro

Enfin, pour encourager l'adoption d'un plus grand nombre d'infrastructures zéro émission, les opérateurs flottes peuvent obtenir jusqu'à 50 % de financement pour l'installation de bornes de recharge et de ravitaillement commerciales privées afin de répondre aux besoins de leur flotte, grâce au *Programme d'infrastructure pour les véhicules zéro émission (PIVEZ)* de Ressources naturelles Canada.¹¹⁶ L'initiative fournira un total de 680 millions de dollars d'incitatifs pour améliorer l'accessibilité des options de recharge localisée et de ravitaillement en hydrogène pour tous les Canadiens. Trois principaux flux de financement sont disponibles jusqu'en 2027 : les propriétaires/exploitants d'infrastructures VZE, les organisations de livraison et les organisations autochtones. Le projet se concentre sur la mise en œuvre de chargeurs de VE et d'hydrogène dans les lieux publics, sur la voie publique, dans les immeubles résidentiels à logements multiples, sur les lieux de travail et pour les flottes de véhicules. Les exigences minimales en matière de charge et de ravitaillement sont bien inférieures à celles qui seraient requises pour les véhicules longue distance de classe 8 (par exemple, chargeur rapide de 100 kW ou distribution d'hydrogène à 350 bars). Il convient de noter que, selon les exigences de financement, le groupe « organismes de distribution » est destiné aux initiatives de recharge de VE plus petites et localisées coûtant moins de 100 000 \$, et n'est donc pas pertinent pour les camions long-courriers de classe 8.

¹¹³ Transports Canada (2023), Véhicules moyens et lourds à zéro émission. Extrait de : <https://tc.canada.ca/en/road-transportation/innovative-technologies/zero-emission-vehicles/medium-heavy-duty-zero-emission-vehicles>

¹¹⁴ Transports Canada (2023), Véhicules moyens et lourds à zéro émission. Extrait de : <https://tc.canada.ca/en/road-transportation/innovative-technologies/zero-emission-vehicles/medium-heavy-duty-zero-emission-vehicles>

¹¹⁵ Transports Canada (2023), Véhicules moyens et lourds à zéro émission. Extrait de : <https://tc.canada.ca/en/road-transportation/innovative-technologies/zero-emission-vehicles/medium-heavy-duty-zero-emission-vehicles>

¹¹⁶ Ressources naturelles Canada (2024), Programme d'infrastructure pour les véhicules à émission zéro. Extrait de : <https://www.nrcan.gc.ca/energy-efficiency/transportation-alternative-fuels/zero-emission-vehicle-infrastructure-program/21876>

Canada – Provincial

Les programmes de financement provinciaux pour les véhicules lourds à émission zéro sont limités au Québec, à la Colombie-Britannique et à la Nouvelle-Écosse.

Québec

Au Québec, depuis décembre 2021, dans le cadre du *Programme Écocamionnage*, les exploitants de véhicules commerciaux de transport de marchandises (c'est-à-dire les entreprises, les particuliers, les organismes ou les municipalités) qui détiennent une immatriculation au Registre des propriétaires et des exploitants de véhicules lourds (RPEVL) avec une cote de sécurité satisfaisante peuvent bénéficier d'un rabais de 50 % sur le coût différentiel d'un nouveau camion électrique ou à pile à hydrogène, jusqu'à concurrence de 75 000 \$ CAN.¹¹⁷ Une aide financière supplémentaire est accordée si la technologie est installée au Québec (prime de 5 %), si la technologie est assemblée ou fabriquée au Québec (prime de 10 %) et si la technologie répond aux deux critères précédents (prime de 15 %). Des incitatifs sont également prévus pour l'achat de véhicules lourds usagés et les projets de livraison électrique collaborative. Ces projets doivent viser à accroître l'efficacité du transport de marchandises et à réduire les émissions de GES, grâce à la collaboration entre différentes entités telles que les municipalités, les entités juridiques à but non lucratif et les coopératives dont le siège social ou l'exploitation se trouve au Québec depuis au moins deux ans.¹¹⁸

Les opérateurs de flottes peuvent également bénéficier d'un soutien financier pour le conseil, l'électrification de la flotte et la conception de la feuille de route par des sociétés de conseil. Cet incitatif est offert par l'intermédiaire du programme Québec-Écoteleader, qui prévoit des aides pouvant atteindre 60 000 \$ ou 75 % des coûts admissibles.¹¹⁹

British Columbia

La province de la Colombie-Britannique soutient l'adoption des VZE depuis 2018, par le biais du

programme CleanBC Go Electric, qui fournit des incitatifs pour le déploiement de véhicules zéro émission commerciaux et d'infrastructures dans le cadre du *Go Electric Commercial Vehicle Pilot Program (CVP)* et des remises après achat dans le cadre du *Go Electric Rebates* (anciennement *Specialty Use Vehicle Incentive Program - SUVI*).¹²⁰ Dans le cadre de ce dernier incitatif, les entreprises peuvent accéder jusqu'à 33 % du coût des véhicules moyens et lourds éligibles, avec un plafond maximal augmenté à 150 000 \$, à compter de juillet 2023.¹²¹

En plus de ces incitatifs, en août 2023, le ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Innovation à faible teneur en carbone a annoncé deux investissements majeurs dans le secteur des VML. Le premier est une contribution de 19,5 millions de dollars pour construire 130 nouvelles bornes de recharge pour véhicules moyens et lourds. Le second est un incitatif de 30 millions de dollars pour subventionner le développement de la technologie VZE pour VML en Colombie-Britannique dans le cadre du *Go Electric Commercial Vehicle Innovation Challenge (défi d'innovation pour les véhicules commerciaux électriques)*.¹²²

Nouvelle-Écosse

En avril 2024, la Nouvelle-Écosse a lancé le premier programme de remise de la province pour les véhicules moyens et lourds zéro émission. Tory Rushton, ministre des Ressources naturelles et des Renouvelables, a souligné l'importance de la transition vers les véhicules zéro émission pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et atteindre l'objectif net zéro de la province d'ici 2050. Les véhicules admissibles sont ceux utilisés à des fins commerciales ou industrielles et pesant plus de 3 856 kilogrammes (8 500 livres), ainsi que les surfaceuses électriques telles que les Zambonis. Administrée par Clean Foundation dans le cadre du programme de rabais Electrify Nova Scotia, cette initiative pilote offre des rabais pouvant aller jusqu'à 50 000 dollars par véhicule aux entreprises, aux organismes à but non lucratif, aux municipalités et aux communautés mi'kmaq.¹²³

117 Transports et Mobilité durable Québec (2023), Programme Écocamionnage. Retrieved from: <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/aide-finan/entreprises-camionnage/aide-ecocamionnage/Pages/aide-ecocamionnage.aspx>

118 Transports et Mobilité durable Québec (2023), Programme Écocamionnage. Retrieved from: <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/aide-finan/entreprises-camionnage/aide-ecocamionnage/Pages/aide-ecocamionnage.aspx>

119 7GEN (2022), Comment les incitations gouvernementales soutiennent votre transition vers l'électrification du parc automobile. Extrait de : <https://7gen.com/how-government-incentives-support-your-transition-to-fleet-electrification/#:~:text=Fleet%20operators%20can%20also%20benefit,or%2075%25%20of%20eligible%20costs>.

120 Gouvernement de la Colombie-Britannique (2023). B.C. Medium- and Heavy-Duty Zero-Emission Vehicles : 2023 Consultation Paper. Consulté à l'adresse suivante : https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/electricity-alternative-energy/transportation/bc_mhd_zev_2023_consultation_paper_20230516.pdf

121 Plug In BC Collaborative (2023), PlugInBC, Extrait de : <https://pluginbc.ca/goelectricrebates/>

122 BC Ministry of Energy, Mines and Low Carbon Innovation (2023), La C.-B. fait évoluer l'industrie vers des transports lourds plus propres, Extrait de : <https://news.gov.bc.ca/releases/2023EMLI0021-000600>

123 Government of Nova Scotia (2024). Nouveaux rabais pour les gros véhicules à zéro émission. Extrait de : <https://news.novascotia.ca/en/2024/04/02/new-rebates-larger-zero-emission-vehicles>

Annexe D

Résumé des améliorations à apporter au système de distribution d'électricité pour le site de recharge

On suppose que le coût de l'infrastructure de recharge rapide sera supporté par les exploitants de bornes de recharge et éventuellement par les services d'électricité sur les corridors long-courriers. Le tableau ci-dessous présente les coûts de mise

à niveau estimés aux États-Unis pour un centre de recharge à grande échelle, sans tenir compte des coûts des chargeurs MCS de plus grande puissance (1000-3750 kW) qui ne sont pas encore disponibles sur le marché.¹²⁴

Catégorie de composants	Modernisation	Cause typique de modernisation	Coût typique	Délai type (mois)
Client sur place	150 kW BRCC		Acquisition, 75 000 à 100 000 dollars par prise ; installation, 19 000 à 48 000 dollars par prise.	3-10
	350 kW BRCC		Acquisition, 128 000-150 000 USD par prise ; installation, 26 000-66 000 USD par prise.	
Service d'électricité sur place	Installation d'un transformateur de distribution	Charge de 200+kW	Acquisition 12 000-175 000 USD	3-8
Distributeur d'alimentation	Installation/mise à niveau du circuit d'alimentation	Charge de 5+ MW	2 à 12 millions de dollars américains	3-12
Sous-station de distribution	Ajouter un brise-charge	Charge de 5+ MW	~US\$400,000	6-12
	Modernisation de la sous-station	3-10+ MW de charge	3 à 5 millions de dollars américains	12-18
	Installation d'une nouvelle sous-station	3-10+ MW de charge	4 à 35 millions de dollars américains	24-48

124 Brennan Borlaug, et al. (2021). L'électrification des poids lourds et les impacts de la recharge au dépôt sur les systèmes de distribution d'électricité, Nature Energy, Vol. 6. Extrait de : <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00855-0>

Soutenez Pollution Probe dès aujourd'hui !

En apportant votre soutien financier à Pollution Probe, vous vous joignez à des milliers de qui contribuent à faire en sorte que l'air pur et l'eau propre restent des priorités de notre pays.

Voici les différentes façons dont vous pouvez choisir de faire un don :

- > Rejoignez notre **Équipe de Protection de l'Environnement** avec des contributions mensuelles préautorisées, sans complications, qui apportent un soutien régulier à notre travail vital.
- > Initiez un changement avec **un don unique** et aidez-nous à réaliser des progrès mesurables en matière d'environnement.
- > **Préservez l'avenir** en laissant votre propre héritage à l'environnement en soutenant une organisation que vous connaissez et en laquelle vous avez confiance.
- > Faites un **Don de Titres** et ne payez pas d'impôt sur les plus-values. Pour bénéficier de cet avantage fiscal, les titres doivent être transférés et non pas encaissés.
- > Vérifiez si votre employeur offre un **Programme de Dons jumelé** pour maximiser vos efforts philanthropiques. Chaque dollar jumelé signifie deux fois plus d'impact pour les initiatives de Pollution Probe.
- > Faites don de votre vieille voiture par l'entremise de **DON D'UNE VOITURE CANADA**. Recevez un reçu pour fins d'impôt et permettez à la valeur de votre véhicule de revitaliser nos efforts pour un monde plus propre.
- > **Honorez** l'occasion spéciale ou la mémoire d'un être cher en faisant un don en son nom..

SITE WEB : www.pollutionprobe.org/donation

COURRIEL : donations@pollutionprobe.org

TÉLÉPHONE : 416-926-1907 x 247

SANS FRAIS : 1-877-926-1907 x 247



donate
now

» www.pollutionprobe.org/donation