

## Rapport – Phase 2 Groupe Beaudry

Par: Philippe Louisseize, ing.

Révisé par : Mathieu Chevigny et Charles Trudel, ing.

Date: 22 juin 2023





## Table des matières

1.	Faits sailiants	b
2.	Méthodologie	7
3.	Méthodologie : Scénarios d'électrification	9
4.	Limites de l'analyse	. 11
5.	Présentation de l'entreprise	. 12
6.	Véhicules analysés	. 13
7.	Analyse du camion 545262	. 18
8.	Scénario d'électrification pour le camion 545262	. 22
9.	Analyse du camion 545263	. 27
10.	Scénario d'électrification pour le camion 545263	. 30
11.	Analyse du camion 296178	. 35
12.	Scénario d'électrification pour le camion 296178	. 38
13.	Conclusions et recommandations	. 42
14.	Sources des données	. 44
15.	Informations et contact	. 45
16	Remerciements	46



BY NC SA Attribution, pas d'utilisation commerciale, partage dans les mêmes conditions

(CC BY-NC-SA): Cette licence permet à d'autres personnes de remixer, arranger et adapter l'œuvre à des fins non commerciales tant que le crédit à l'auteur est attribué en citant son nom et que les nouvelles œuvres sont diffusées selon les mêmes conditions. Pour consulter le code juridique encadrant cette licence, visitez creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.fr





## Liste des tableaux

Tableau 1 : Énergie nominale vs. utilisable d'un camion électrique à différents stades de vie 10
Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation des véhicules de Groupe Beaudry 14
Tableau 3: Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 545262. 19
Tableau 4 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 545262 21
Tableau 5 : Paramètres d'électrification retenus pour le camion 54526224
Tableau 6 : Épargnes en énergie associée à l'électrification éventuelle du camion 545262 25
Tableau 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 545263 . 28
Tableau 8: Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 545263 29
Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 54526333
Tableau 10: Épargnes en énergie associées à l'électrification éventuelle du camion 3018
Tableau 11 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 296178 36
Tableau 12 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 296178 37
Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 296178
Tableau 14: Épargnes sur l'énergie associées à l'électrification éventuelle du camion 296178 40
Tableau 15: Recommandation d'électrification des camions de Groupe Beaudry
Liste des figures
Figure 1 : Échelle de dénivelé allant du plus petit dénivelé au plus grand
Figure 2 : Épicerie Beaudry, 1917. Source : Groupe Beaudry
Figure 3 : Camions utilisés durant l'essai, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 545262, 545263 et
296178
Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 545262 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de
Groupe Beaudry
Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 545263 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de
Groupe Beaudry
Figure 6 : Fréquence des livraisons du camion 296178 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de
Groupe Beaudry 35





## Liste des graphiques

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion	15
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Groupe Beaudry	16
Graphique 3 : Heures par jour au dépôt, sans les fins de semaine et les fériés	17
Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 54526	52.20
Graphique 5: Journées de mesure du camion 545262, classées en ordre croissant des besoins quotic	diens
simulés en énergie (kWh)	22
Graphique 6: Énergie consommée par jour pour les journées simulés pour le camion 545262	23
Graphique 7: Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 545262	24
Graphique 8: Émission sur la vie du camion 545262, Diesel vs. Électrique	25
Graphique 9: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 54526	3 29
Graphique 10: Journées de mesure du camion 545263, classées par ordre croissant des besoins	
quotidiens simulés en énergie (kWh)	31
Graphique 11 : Énergie consommée par jour pour les journées simulés pour le camion 545263	32
Graphique 12: Moments des déplacements et arrêts du camion 545263	33
Graphique 13: Émissions sur la vie du camion 545263, Diesel vs. Électrique	34
Graphique 14: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 2961	78 37
Graphique 15: Besoins énergétiques quotidiens simulés (en kWh) du camion 296178, classés en orc	dre
croissant	38
Graphique 16: Énergie consommée par jour pour les journées simulés pour le camion 296178	39
Graphique 17: Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 296178	40
Granhique 18 : Émissions sur la vie du camion 296178. Diesel vs. Électrique	41





### À PROPOS DE L'IVI

Cumulant plus de 25 ans d'expérience dans le développement de prototypes de véhicules électriques, autonomes et connectés, l'Institut du véhicule innovant (IVI) est un accélérateur d'innovation qui aide l'industrie québécoise à se positionner rapidement dans un marché en pleine croissance.

Au sein de l'IVI, le Groupe applications technologiques réalise des mandats de déploiement ou d'expérimentation de technologies, de formation et de sensibilisation afin de favoriser l'adoption de nouvelles technologies véhiculaires.

L'Institut du véhicule innovant est un Centre collégial de transfert de technologie (CCTT) affilié au Cégep de Saint-Jérôme. Il détient un statut d'organisme à but non lucratif (OBNL) et est accrédité comme centre de recherche par le CRSNG.

Le projet Flotte rechargeable – Camions lourds vise à soutenir gratuitement les propriétaires et exploitants de véhicules lourds à la venue de camions 100 % électriques sur le marché québécois.

L'objectif du projet est d'encourager les entreprises québécoises à prendre le virage de l'énergie propre et de fournir aux gestionnaires les outils et les connaissances qui leur permettront de mettre en marche le plan d'électrification de leur parc de véhicules lourds.

Pour ce projet d'une durée de trois ans, l'IVI s'associe avec des partenaires de choix de l'écosystème des transports pour aller à la rencontre de transporteurs routiers, élaborer des rapports d'analyses de faisabilité pour une trentaine d'entreprises ciblées, en plus de coordonner des périodes d'essais de modèles de camions lourds électriques en condition réelle d'utilisation commerciale.

Ce projet est réalisé grâce à la participation financière du gouvernement du Québec dans le cadre du programme Action-Climat Québec afin de rejoindre les objectifs du Plan pour une économie verte 2030 et par le soutien des partenaires du projet.

Une subvention de 1 245 560 \$ a été accordée pour la mise en œuvre de ce projet.









## 1. Faits saillants

Le présent rapport a pour but de mesurer la pertinence d'électrifier trois camions de la compagnie de transport Groupe Beaudry de Montréal.

L'analyse des déplacements à l'aide d'appareils de télématique Go9 de Geotab a permis de déterminer les faits saillants suivants sur le potentiel d'électrification, dont les justifications détaillées se trouvent dans les sections suivantes :

## 66 % des journées se terminent en ayant parcouru moins de 225 km

88 % des arrêts de nuit au terminal durent 10 heures ou plus, assez pour ajouter 900 kWh avec une borne de 100 kW pour chaque camion

Camion 545262 – Po	Effet sur le potentiel	
Critère	Valeur	d'électrification
Distances	Courtes	+
Constance	Variées	-
Dénivelé	Faible	+
Recharge en journée	Non	-
Chargement	Lourd	-
Accessoires	Réfrigération	-

Consommation électrique estimée en été	128 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Non
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	470 kWh
Batterie disponible ?	Non

Camion 545263 – Po	Effet sur le potentiel	
Critère	Valeur	d'électrification
Distances	Longues	-
Constance	Variées	-
Dénivelé	Faible	+
Recharge en journée	Non	-
Chargement	Lourd	-
Accessoires	Réfrigération	-

Consommation électrique estimée en été	131 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Non
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	946 kWh
Batterie disponible ?	Non

Camion 296178 – Po	Effet sur le potentiel	
Critère	Valeur	d'électrification
Distances	Moyennes	-
Constance	Variées	-
Dénivelé	Moyen	-
Recharge en journée	Non	-
Chargement	Lourd	-
Accessoires	Aucun	+

Consommation électrique estimée en été	124 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Non
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	733 kWh
Batterie disponible ?	Non





## 2. Méthodologie

Estimer la viabilité de l'électrification d'une route de transport local revient à déterminer les besoins énergétiques d'un camion et les comparer aux tailles de batteries offertes sur le marché. En deuxième lieu, il faut comprendre comment cette énergie peut être restituée à la batterie par le biais d'une infrastructure de recharge lorsque le camion est à l'arrêt. Ceci est généralement fait au terminal de l'entreprise la nuit, mais peut aussi bien avoir lieu le jour entre deux trajets, chez un client, ou même sur une borne de recharge publique.

Puisque l'analyse de la consommation de carburant d'un camion diesel renseigne peu sur la consommation électrique hypothétique de celui-ci, l'IVI a plutôt préconisé de décortiquer chaque déplacement et d'en traduire la dépense énergétique correspondante. Par exemple, le fait de monter un camion d'une masse déterminée à une hauteur connue demandera une énergie pouvant être calculée et convertie en kilowattheures (kWh). Il en va de même pour accélérer cette masse, vaincre la résistance du vent et du roulement des pneus et contrer les pertes du système de rouage.

Les données précises sur les déplacements ont été obtenues en instrumentant les camions d'appareils de télématique Geotab Go9. Bien que ceux-ci soient souvent utilisés pour le suivi des heures de conduite et de la consommation, il est aussi possible d'en extraire des données précises sur la position et la vitesse d'un véhicule à des intervalles de temps rapprochés.

La durée de la prise de mesures choisie est de trois mois pour s'assurer d'avoir un échantillon suffisant et représentatif des activités d'un camion.

Avant de se lancer dans une analyse détaillée des déplacements, une évaluation macroscopique des capacités des camions lourds électriques a été réalisée pour présélectionner des véhicules au diesel qui seraient plus susceptibles d'être candidats à l'électrification en considérant la technologie actuellement disponible sur le marché. Les critères retenus pour effectuer cette sélection sont les suivants :

- Rayon d'opération : 160 km environ, au maximum
- Retour à la base chaque jour
- Transport de marchandises
- Sévérité de l'application et accessoires disponibles sur le marché dans un horizon de 0 à 2 ans





Afin de considérer l'élévation parcourue par le camion évalué, l'IVI a mis en place un outil appelé l'indice de côte. Cet indice indique le dénivelé moyen positif en mètre pour chaque kilomètre parcouru par le véhicule. Voir la Figure 1.

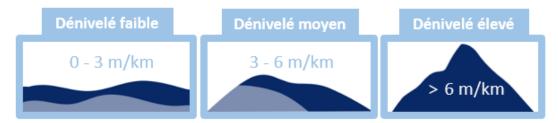


Figure 1 : Échelle de dénivelé allant du plus petit dénivelé au plus grand

Le freinage régénératif pourra être utilisé lors de la descente des côtes parcourues dans le but de récupérer un peu d'énergie potentiel et la retourner à la batterie, mais ce n'est pas la totalité de cette énergie qui sera restituée.

Les besoins énergétiques obtenus grâce à l'analyse varient beaucoup d'une journée à l'autre, ce qui est normal pour un véhicule qui ne parcourt pas toujours la même route. Souvent les journées les plus longues peuvent être écartées, car jugées exceptionnelles ou non représentatives. Dans les projets menés par l'IVI précédemment, les recommandations émises visent à trouver une combinaison de batterie et d'infrastructure de recharge permettant de remplacer un véhicule à combustion par un véhicule électrique qui serait en mesure d'accomplir les mêmes tâches pour au moins 90% des journées échantillonnées.





## 3. Méthodologie : Scénarios d'électrification

À partir des informations recueillies et présentées à la section précédente, un scénario d'électrification a été élaboré pour chaque camion. Ceci consiste à estimer la quantité d'énergie requise pour effectuer l'entièreté des opérations quotidiennes normales de chaque camion durant la période de l'essai, et de déterminer quels seraient les besoins énergétiques quotidiens au courant d'une année entière. Ces besoins aideront à recommander une batterie et les spécifications d'une infrastructure de recharge. Enfin, une analyse des bénéfices économiques et environnementaux est réalisée en tenant compte des paramètres retenus.

Puisque le projet ne dispose pas d'une année entière pour faire les essais, les besoins énergétiques ont été estimés pour la température réelle lors de l'essai, mais aussi pour des températures de 20°C et -20°C. Ces températures ont été sélectionnées, car elles représentent respectivement une température où une batterie est à sa meilleure efficacité, et une température assez froide pour représenter une journée typique où un véhicule électrique aurait une autonomie minimale.

Les calculs financiers utilisent des hypothèses génériques à propos des prix des bornes de recharge et des tarifs d'Hydro-Québec. L'utilisation du tarif expérimental BR est posée comme hypothèse, avec un prix par kilowattheure reflétant l'utilisation d'une seule borne de recharge rapide pour un seul camion. Le déploiement subséquent d'autres bornes de recharge et d'autres camions affecterait le prix de l'énergie.





L'énergie requise calculée dans les trois scénarios ci-dessous est comparée aux capacités nominales d'énergie contenue dans les batteries, ou l'énergie totale. Cette valeur est utilisée, car c'est la spécification qui est le plus souvent annoncée par les manufacturiers de camions.

Malheureusement ce n'est pas l'entièreté de la capacité nominale qui peut servir à faire avancer le camion. D'emblée, les constructeurs y soustraient près de 10 % pour éviter d'endommager la batterie lors des cycles de recharge ou comme provision pour prévenir la dégradation. La capacité utilisable d'un camion neuf ayant une batterie d'une capacité hypothétique de 100 kWh serait donc d'environ 90 kWh.

Ensuite, l'IVI considère prudent de soustraire une marge de 5 % pour diminuer le stress de tomber en panne.

De cette capacité totale annoncée de 100 kWh, 85 kWh seront disponibles pour compléter les trajets du camion lors de sa mise en service. Ceci explique la différence qui peut être observée entre les capacités nominales affichées et l'énergie montrée sur certains graphiques.

De plus, le gestionnaire de flotte doit prévoir qu'une dégradation surviendra, ce qui diminuera la capacité de la batterie au fil de l'utilisation. Ainsi, après plusieurs années, la batterie vendue avec 100 kWh d'énergie nominale ne pourrait compléter que des trajets requérant un maximum de 75 kWh. Cette dégradation varie beaucoup selon les conditions, donc l'IVI préfère laisser le soin au gestionnaire de gérer la diminution de l'autonomie et les routes complétées.

Le Tableau 1 résume les capacités utilisables à différentes étapes de la vie du véhicule.

Tableau 1 : Énergie nominale vs. utilisable d'un camion électrique à différents stades de vie

Capacité totale (nominale), telle qu'annoncer à la vente	Capacité réelle utilisable, camion neuf	Capacité avec marge confort, camion neuf	Capacité approximative restante avec marge de confort, long terme
100 kWh	90 kWh	85 kWh	75 kWh





## 4. Limites de l'analyse

Les données et analyses présentées dans ce rapport sont basées sur une modélisation réalisée par l'IVI. Bien que celle-ci soit effectuée avec le plus de rigueur possible, certaines variables ne peuvent être simulées de façon réaliste ou pratique. Il est donc à prévoir qu'il y aurait une différence, et une variation entre l'énergie estimée et l'énergie qui serait réellement utilisée pour les déplacements en camion électrique. Les résultats présentés ne constituent donc aucunement une garantie de l'exactitude de la consommation d'un camion électrique qui remplacerait un des camions diesel étudiés, ni une garantie que le remplacement d'un des camions diesel étudiés est réellement possible sans perte de productivité ou sans effet pour l'entreprise, ses employés ou ses clients.

Les suggestions de tailles de batteries et les résultats rapportés sont valables au moment de la mise en service du véhicule. Il est important de considérer qu'une dégradation de la batterie surviendra au cours de la vie du véhicule. Cette dégradation est causée par le nombre de cycles de recharges et le temps écoulé depuis la fabrication. Durant les années suivant sa mise en service, une batterie devrait expérimenter une dégradation de 10 %, en moyenne. Ainsi, une batterie dont la capacité utilisable serait de 300 kWh en début de vie devrait être utilisée à 285 kWh (-5%) en début de vie, et aurait 225 kWh (-15%) utilisables après plusieurs années. Il faut donc prévoir qu'après quelques années d'opération, il ne sera peut-être plus possible de compléter les routes les plus longues sans prévoir d'ajustement tel qu'une séance de recharge additionnelle pendant la journée. Alternativement, choisir une batterie contenant plus d'énergie peut prémunir le gestionnaire de flotte contre ceci, si disponible.

De plus, les valeurs utilisées pour l'approximation des coûts des camions, du carburant et de l'électricité varieront grandement selon les équipements sélectionnés, la période d'amortissement, la complexité de l'installation, la consommation et la tarification électrique. Tous ces éléments affecteront l'estimation finale du calcul de rentabilité.

Les coûts d'installation électrique, d'assurance, d'achat d'infrastructure de recharge et même le prix d'achat des camions sont basés sur les meilleures approximations obtenues par l'IVI au moment d'écrire le rapport. Ceux-ci peuvent avoir changé au moment de la lecture ou d'un achat ultérieur. Il est donc nécessaire pour toute entreprise, incluant celle visée par le présent rapport, d'obtenir ses propres soumissions pour estimer avec précision sa rentabilité.

Malgré les meilleures estimations de l'IVI, si l'entreprise décide d'électrifier une route, elle doit comprendre qu'il est possible qu'il soit nécessaire d'apporter des ajustements pour éviter les pannes et interruptions de service, couvrir les besoins des journées les plus extrêmes, ou améliorer la rentabilité.

Puisque le présent projet a pour but d'informer le plus de gestionnaires de parcs de véhicules lourds possibles, donc d'offrir une analyse à plusieurs organisations, seulement trois (3) véhicules par entreprise sont étudiés. Il est donc important de considérer que les conseils résultants peuvent ne pas être représentatifs de l'ensemble des opérations du participant.





## 5. Présentation de l'entreprise

# GROUPE BEAUDRY

## La force familiale en distribution alimentaire

L'entreprise Groupe Beaudry est un distributeur alimentaire en affaires depuis plus de 100 ans. Opérateurs de plusieurs centres de distribution répartis dans la province de Québec et de marchés d'alimentation, l'entreprise assure elle-même le transport de ses marchandises avec sa propre flotte de camions réfrigérés.

La flotte de Groupe Beaudry est composée de 42 camions, dont 36 sont des camions porteurs.

Bien que les camions du Groupe Beaudry livrent principalement aux installations de l'entreprise, ils opèrent tout de même en charge partielle, ou LTL (Less Than Truck-Load) puisqu'ils font plusieurs livraisons par jour et déchargent une partie de leur cargaison seulement à chaque arrêt. Outre les installations de l'entreprise, les véhicules peuvent effectuer des collectes chez des fournisseurs et des livraisons dans des dépanneurs d'autres bannières.



Figure 2 : Épicerie Beaudry, 1917. Source : Groupe Beaudry





## 6. Véhicules analysés

Pour donner suite aux discussions avec le gestionnaire du parc, les trois camions retenus pour l'analyse sont les unités 545262, 545263 et 296178. Ces trois camions sont des porteurs qui font des livraisons aux dépanneurs du Groupe Beaudry. 545262 et 545263, qui opèrent généralement à Montréal, sont munis d'une unité de réfrigération électrique fonctionnant en ajoutant un alternateur à la courroie moteur, alors que l'unité de réfrigération du troisième camion fonctionne avec une génératrice au diesel indépendante du moteur du camion.







Figure 3 : Camions utilisés durant l'essai, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 545262, 545263 et 296178.

Ces camions ont été retenus car ils répondaient aux critères généraux de sélection quant aux distances approximatives parcourues et au retour au dépôt la nuit. En effet, les porteurs livrant à des dépanneurs aux alentours de leur port d'attache parcourent en moyenne 200 km par jour et sont arrêtés le soir, aux dires des gestionnaires de la flotte de Groupe Beaudry.

Ces trois camions ont des opérations semblables à une vingtaine de camions de la flotte. Les autres camions porteurs et les quelques tracteurs parcourent de plus longues distances, par exemple pour relocaliser des remorques entre Québec et Montréal.

Bien qu'il soit tentant d'appliquer les conclusions des trois camions présentés aux véhicules similaires de la flotte de Beaudry, l'IVI préfère ne pas émettre de diagnostic ferme sur ces autres camions, car beaucoup de variables autres que la distance influence les simulations effectuées. Une étude approfondie de ces véhicules s'imposerait donc pour affirmer avec certitude le potentiel d'un véhicule autre que ceux présentés dans ce document.

Certaines informations ont été jugées pertinentes à présenter ensemble, elles sont présentées immédiatement ci-bas. Des détails sont ensuite divisés par camion, pour bien comprendre leurs modes de fonctionnement et comment celui-ci impacterait la consommation électrique.

Quelques données saillantes ont été compilées dans un tableau résumé, voir le Tableau 2. Bien que ces données ne fournissent que très peu d'information sur la possible consommation d'un camion qui serait électrifié, elles permettent de comprendre les généralités des opérations de ces trois camions. Ces informations ne devraient pas receler d'importantes surprises pour les gestionnaires de Groupe Beaudry.





Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation des véhicules de Groupe Beaudry

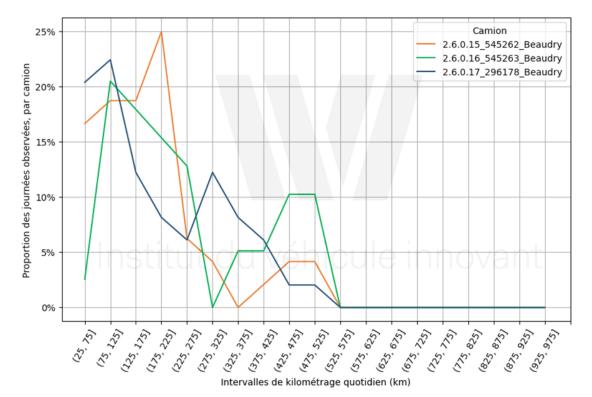
Camion #	545262	545263	296178
Distance parcourue			
Durant le test	9 104 km	10 043 km	9 428 km
Annuellement (estimée)	36 416 km	40 171 km	37 771 km
Carburant			
Consommé durant le test	4 031 L	4 191 L	3 058 L
Consommé annuellement (estimé)	16 125 L	16 764 L	12 230 L
Consommation moyenne	44,3 L/100 km	41,7 L/100 km	32,4 L/100 km
Ralenti			
Temps par jour en moyenne	1,5 h	1,9 h	1,7 h
Carburant consommé au ralenti par jour	8,2 L	7,9 L	7,5 L
Carburant consommé par année (estimé)	1 608 L	1 300 L	1 500 L
<b>Opérations</b>			
Vitesse moyenne en mouvement	44,7 km/h	50,7 km/h	62,8 km/h
Masse totale moyenne	11 812 kg	11 837 kg	11 810 kg
Nombre de jours actifs durant l'essai	49 jours	41 jours	50 jours

Les informations principales que l'on peut tirer de ce tableau sont que les camions étudiés sont peu chargés. Toutefois leur consommation reste élevée, surtout pour les deux camions de Montréal. Cela est probablement dû au fait que les camions eux-mêmes sont lourds, et que leur unité de réfrigération branchée sur la courroie d'entraînement du moteur requiert une puissance importante. Par exemple, le camion 296178 consomme beaucoup moins et c'est ce camion qui est équipé d'une unité de réfrigération indépendante fonctionnant au diesel.





Le facteur le plus déterminant de la consommation électrique est la distance parcourue. Le graphique cidessous montre la distribution des distances quotidiennes parcourues par camion.



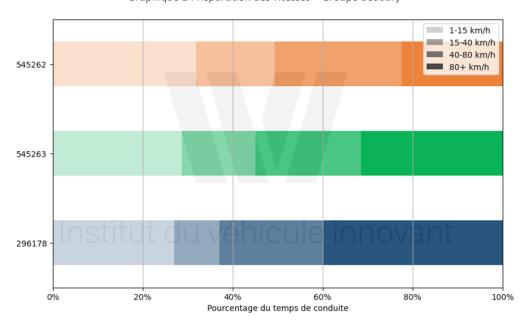
Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion

En observant le Graphique 1, il est possible de remarquer que les trois camions parcourent effectivement très souvent moins de 200 km. Cependant, ceux-ci ont été utilisés sur des routes plus longues durant l'essai. On observe une remontée des courbes du graphique, principalement autour de 500 km pour les camions 545262 et 545263, et autour de 300 km pour le camion 296178. Ces journées viendront affecter négativement les possibilités d'électrification, à moins que le gestionnaire de flotte ne soit en mesure de les raccourcir ou les remplacer sans que ceci soit pénalisant pour ses opérations.





Un autre facteur d'importance est la vitesse du véhicule. Le graphique ci-dessous apporte plus de précisions sur la répartition du temps dans différentes plages de vitesses. De gauche à droite, les quatre dégradés de couleurs indiquent la proportion du temps de conduite passée entre 1 et 15 km/h, 15 - 40 km/h, 40 - 80 km/h, et finalement 80 km/h et plus. Ces divisions représentent respectivement des vitesses typiques pour un camion qui circulerait dans une cour, dans le trafic, en ville puis sur l'autoroute. Les bandes plus foncées représentent donc des moments à vitesse plus élevée. Il est possible de constater que le camion 296178 passe plus de 40 % de son temps à vitesse d'autoroute. Le camion 545263 passe également plus de 30 % de son temps à vitesse d'autoroute. Leur vitesse élevée est une autre cause pouvant expliquer leur forte consommation de diesel.

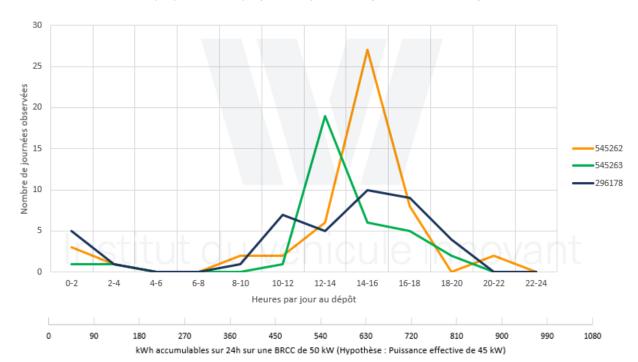


Graphique 2 : Répartition des vitesses – Groupe Beaudry

Le mode de ravitaillement des véhicules électriques est complètement différent de celui des véhicules à combustion interne. En effet, la méthode la plus efficace et la moins coûteuse pour les véhicules électriques consiste à charger le véhicule à la borne de recharge la plus lente possible, au dépôt, durant ses périodes d'inactivité. Il va donc de soi que plus ce temps est long, plus la borne peut être lente (moins puissante). L'IVI préconise la sélection d'infrastructures de recharge les moins puissantes possibles pouvant satisfaire les besoins, car celles-ci sont moins coûteuses à acquérir, installer puis opérer. Les trois véhicules rentrent à un terminal de Beaudry et y passent plusieurs heures, la plupart du temps. Ils disposent donc de cette longue période pour s'y recharger. Le Graphique 3 montre la répartition des heures passées sur les terrains de Groupe Beaudry à l'arrêt.







Graphique 3 : Heures par jour au dépôt, sans les fins de semaine et les fériés

Ce graphique montre aussi une échelle de l'énergie pouvant potentiellement être restituée à la batterie durant les heures d'arrêt au dépôt. Par exemple, un camion arrêté 10 heures et branché sur une borne de 50 kW, soit de puissance effective de 45 kW, pourrait accumuler 450 kWh d'énergie dans la batterie, dans les bonnes conditions. Ces valeurs pourront être comparées aux besoins quotidiens en énergie, pour prouver que la recharge au dépôt peut suffire aux besoins du camion.

Les trois camions analysés disposent d'une durée d'arrêt à un terminal du Groupe Beaudry supérieure à 10 heures par jour et ce, 88 % des jours.

Les pages suivantes présentent en détail l'analyse des déplacements de chaque camion, qui conduira à déterminer leurs besoins énergétiques si ceux-ci étaient remplacés par des camions électriques, dans la portion scénario d'électrification de ce rapport.

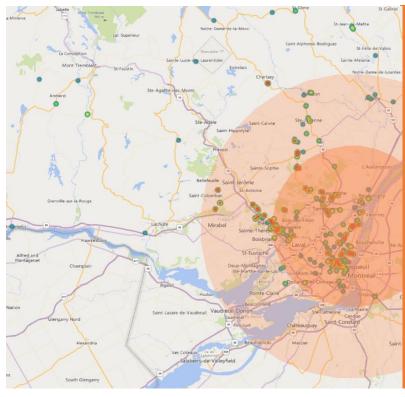




## 7. Analyse du camion 545262

Le camion au diesel 545262 est utilisé pour des livraisons aux dépanneurs dans la grande région de Montréal. On peut déduire, vu la nature de ses opérations et en observant la multitude d'arrêts fréquents, que ses livraisons doivent être d'assez courte durée.

La carte suivante permet de visualiser la localisation et la fréquence des livraisons :



La couleur des points représente la fréquence des arrêts à un endroit. Ainsi, les zones rouges sont visitées très fréquemment.

Le camion 545262 effectue très fréquemment des livraisons ou cueillettes le long de quelques grands axes de la région Montréalaise, soit l'autoroute 40 Est dans Montréal, la route 117 dans les basses-Laurentides, la route 125 dans Lanaudière.

On peut voir quelques trajets dans l'ouest des Laurentides vers l'Outaouais, mais somme toute la grande majorité des déplacements se font dans un rayon de 50 km du dépôt de Groupe Beaudry.

Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 545262 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Groupe Beaudry

2,3 m/km Route plate

Le dénivelé du territoire parcouru est un critère important dans l'évaluation de la consommation d'énergie. La vallée du Saint-Laurent n'est pas très montagneuse, tel que démontré par l'indice de côtes établi par l'IVI.

Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 2,3 mètres pour chaque kilomètre parcouru. Le freinage régénératif pourra être utilisé lors de la descente des côtes parcourues dans le but de récupérer un peu d'énergie cinétique et la retourner à la batterie, mais ce n'est pas la totalité de cette énergie qui sera restituée.





Le détail des distances parcourues chaque jour de l'essai est présenté dans le tableau suivant. Celui-ci comporte trois sections pour couvrir l'entièreté des détails des déplacements du camion. En haut, la distance maximale, au 90<sup>e</sup> percentile, médiane et moyenne sont présentées, ainsi que l'écart-type (σ) et le Coefficient de Variation (CV).

Ensuite, le graphique du centre montre les moyennes de déplacement pour chaque journée de la semaine.

Finalement, la section du bas est organisée en calendrier où les dates sont remplacées par la distance parcourue lors de cette journée, en kilomètres. Un dégradé de couleurs permet de visualiser quelles journées ont été plus intenses. Celles-ci ont une teinte plus foncée. Les journées en gris pâles sont celles où le camion a parcouru moins de 20 km. Il est donc considéré que le camion a été inactif à ces moments. Les journées en gris foncés sont celles où le camion a parcouru un certain nombre de km, mais où les données de chargement n'étaient pas disponibles.

Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 545262

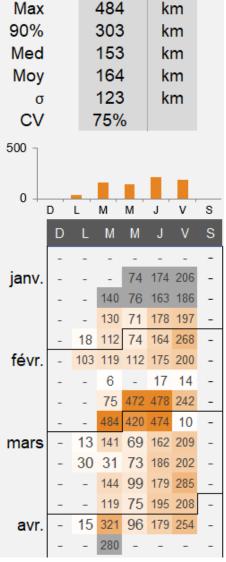
L'utilisation du camion 545262 est assez particulière et intéressante. Une recommandation fréquente est de considérer la distance parcourue lors de la journée au 90° percentile (303 km), cependant l'interprétation du dégradé de couleurs du graphique de droite permet d'écrire une histoire des déplacements assez claire pour ce véhicule. Outre certaines valeurs aberrantes, Il semble avoir des routes très régulières définies selon le jour de la semaine.

En négligeant les journées complètement différentes, on constate que le camion parcourt en moyenne les distances suivantes :

- 130 km le mardi (Terrebonne),
- 75 km le mercredi (Est de Montréal),
- 175 km le jeudi (Saint-Jérôme), et
- 200 km le vendredi (Chertsey),
- Le véhicule ne roule généralement pas le lundi.

La destination de la route associée à une journée est spécifiée entre parenthèses.

Ces distances sont bien réparties autour de la distance moyenne et la médiane.



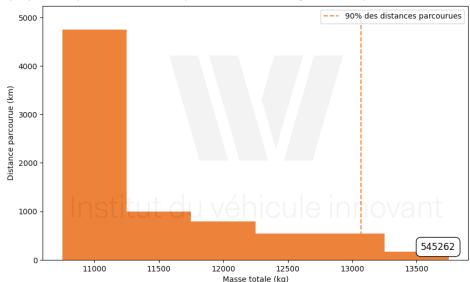






## Freightliner M2 2022 | Porteur– PNB 17 250 kg

L'énergie requise pour chaque accélération et chaque montée est directement proportionnelle à la masse totale du véhicule, incluant son chargement. Puisque le camion 545262 effectue plusieurs livraisons variées au fil des journées, le poids de la cargaison transportée a été noté pour chaque trajet. Le graphique suivant montre le chargement typiquement transporté, et la distance totale parcourue durant l'essai avec ces niveaux de chargement.



Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 545262

Le Graphique 4 permet de constater que le camion circule sans cargaison environ 50 % du temps. Le reste du temps son chargement varie, mais la proportion diminue à mesure que le chargement augmente. Pour 90 % de la distance de l'essai, il pesait moins de 13 000 kg.

Pour un camion électrique dont le Poids Nominal Brut (PNB) maximal recommandé est 15 000 kg et qui accuserait un surplus de poids estimé à 2000 kg dû à la batterie, c'est donc dire que ce poids de 13 000 kg deviendrait 15 000 kg. Le chargement devrait être limité pour parcourir le 10 % restant des trajets.









## Freightliner M2 2022 | Porteur-PNB 17 250 kg

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 545262 permet de déterminer les grandes lignes qui affecteront son potentiel d'électrification des façons suivantes :

Tableau 4 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 545262

Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	Courtes	+
Constance	Variées	-
Dénivelé	Faible	+
Recharge en journée	Non	-
Chargement	Lourd <sup>1</sup>	-
Accessoires	Réfrigération électrique	-

Le camion 545262 a des routes relativement courtes, mais son poids à vide est élevé. Une unité de réfrigération est présente, et elle est actuellement électrique sur ce camion.

Ses deux plus longues journées typiques sont aussi les plus montagneuses. Ces trois points feront en sorte que sa consommation sera élevée.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Les trois camions analysés sont considérés comme transportant un chargement lourd. En réalité leur chargement n'est pas très lourd, mais leurs équipements (boîte isolée, unité de réfrigération, essieu arrière double) causent un surpoids d'environ 3000 kg par rapport à un camion équivalent.





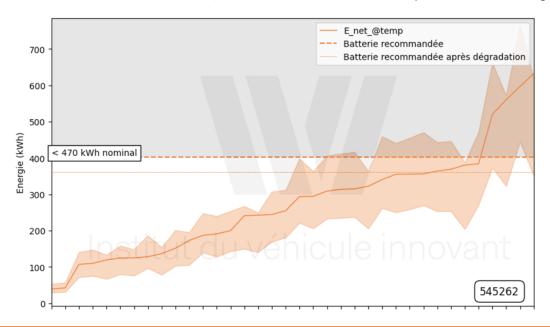
## Freightliner M2 2022 | Porteur-PNB 17 250 kg

## 8. Scénario d'électrification pour le camion 545262

La distance quotidienne, les montées, le chargement et autres mesures présentées dans la section précédente ont tous été utilisés pour évaluer une consommation d'énergie électrique quotidienne en kWh. Tous les trajets de chaque journée ont été regroupés pour obtenir un aperçu de l'énergie qui serait requise par période de 24h pour compléter l'entièreté de ces trajets.

Le graphique suivant montre la consommation électrique estimée par jour, disposée en ordre croissant. Ceci permet de mieux visualiser à quel point la configuration de batterie répondra au besoin.

Graphique 5: Journées de mesure du camion 545262, classées en ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



#### Guide d'interprétation du Graphique 5:

- La courbe orange du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire orange montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20°C) ou très froid. La valeur plus élevée représente l'énergie lors d'une journée froide (-20°C).
- La zone sous la ligne pointillée horizontale représente les journées où le camion dispose d'assez d'énergie pour compléter tous les trajets de la journée.
- Un camion avec une batterie de 470 kWh total disposerait de 400 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse). Cette capacité a été sélectionnée car c'est la capacité minimale requise pour compléter 90 % des journées sur toute une année.
- La fine ligne horizontale représente l'énergie après une dégradation de 10 %. Elle permet de comparer les journées qu'il sera possible de compléter à long terme.
- La zone grise représente les journées impossibles à compléter sans recharger en cours de journée
- La fine ligne horizontale représente l'énergie après une dégradation de 10 %







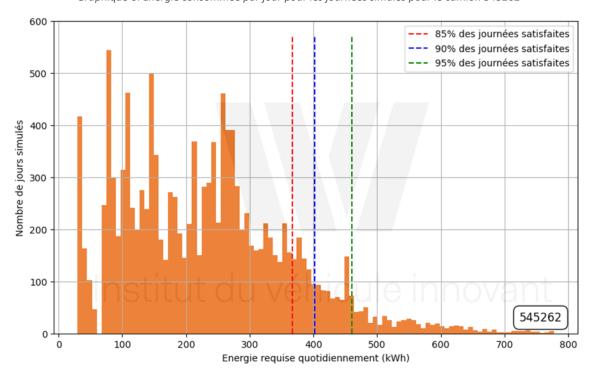
### Freightliner M2 2022 | Porteur– PNB 17 250 kg

La consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 128 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

Comme la période d'acquisition de données s'est déroulée sur une durée de 3 mois, elle ne représente pas la consommation réelle pour toutes les saisons. Les mois d'été auront un besoin en énergie nettement inférieur au mois d'hiver. Une méthode a donc été développée afin d'estimer les besoins énergétiques pour le camion sur une année complète.

L'équipe de l'IVI a utilisé un API qui a identifié les valeurs de température moyenne pour chaque jour sur les 365 jours précédents, et ce selon la station météo la plus proche de l'entrepôt du participant. Ensuite, les données de consommations énergétiques générées pour chaque jour de l'essai du camion ont été évaluées pour chacune des 365 températures obtenues. Cette méthode considère donc que chaque journée d'une année a des chances égales de se faire attribuer les routes et chargements de chacune des journées de l'échantillon. Les journées d'échantillons aberrantes par leur besoins énergétiques normalisés à 20°C ont été retirées (plus de détails dans la section Méthodologie : Scénario d'électrification). Par exemple, pour un camion avec 40 jours de données valides, l'IVI a simulé 14 600 données, soit 365 multiplié par 40. Le Graphique 6 illustre la quantité d'énergie requise quotidiennement pour chacune de ces données.

Ensuite, trois lignes verticales indiquent la quantité de kWh nécessaire pour effectuer respectivement 85 %, 90 % et 95 % de ces journées. Ces lignes peuvent servir de guide pour le gestionnaire de flotte. Elles représentent un pourcentage de journées sur une année de travail qu'un camion électrique pourrait accomplir en une seule charge, sans recours à la recharge en cours de journée.



Graphique 6: Énergie consommée par jour pour les journées simulés pour le camion 545262





## Freightliner M2 2022 | Porteur– PNB 17 250 kg

Pour compléter l'entièreté des trajets d'une journée 90 % du temps sur une année complète, l'IVI estime que la batterie requise devrait avoir une capacité utilisable avec marge de 400 kWh, ce qui équivaut à une batterie dotée d'une énergie totale d'environ 470 kWh.

Pour compléter 95 % des journées, la capacité nominale requise est de 540 kWh.

Pour compléter 85 % des journées, la capacité nominale requise est de 430 kWh.

Le Graphique 7 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 545262. Chaque bande horizontale représente un jour du mardi 28 au vendredi 31 mars, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée. Les nuits ont été coupées, car il n'y avait aucun déplacement. Ces dates ont été sélectionnées car elles sont représentatives des autres semaines. Le camion roule presque toujours quatre jours par semaine.

06:00 08:00 10:00 12:00 14:00 16:00

Arrêt au dépôt
En circulation
Arrêt chez un client

Graphique 7: Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 545262

En partant de la gauche, on observe que le camion est arrêté au dépôt jusqu'à environ 6h le matin. Ensuite il effectue des livraisons jusqu'en milieu d'après-midi. L'horaire est semblable d'une journée à l'autre, mais la largeur des bandes bleues (donc le temps en circulation) varie, ce qui signifie que le camion fait des trajets variés d'une journée à l'autre. Il ne revient pas au dépôt en cours de journée.

Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classes 6 et 7 vont d'environ 140 à 315 kWh. Puisque celle-ci constitue une importante partie du prix du véhicule, il est important de sélectionner la plus petite batterie qui répondra aux besoins énergétiques à long terme. À ce sujet, il est prudent de prévoir une dégradation de la batterie qui pourrait diminuer l'autonomie d'environ 10% sur la durée d'utilisation du véhicule dans la flotte.

Tableau 5 : Paramètres d'électrification retenus pour le camion 545262

Capacité nominale requise pour satisfaire 90% des journées	470 kWh
Batterie recommandée disponible sur le marché	Non









### Freightliner M2 2022 | Porteur-PNB 17 250 kg

En date de la rédaction de ce rapport, aucun produit existant ne propose une batterie ayant la capacité nominale requise pour électrifier les opérations régulières du camion 545262, sans adapter les opérations. La plus grosse batterie disponible sur le marché pour les camions de classe 7 est de 315 kWh.

Les bénéfices financiers peuvent difficilement être calculés pour un camion inexistant. Cependant, il est possible de poser une hypothèse sur l'économie possible en coût énergétique d'un camion de classe 7 avec une batterie de 470 kWh. Ce calcul a été effectué avec un coût de 2 \$ par litre de diesel et de 0,12 \$ par kilowattheure. Une économie possible de 190 190 \$ serait envisagée sur 7 ans.

Tableau 6 : Épargnes en énergie associée à l'électrification éventuelle du camion 545262

Coût annuel de carburant avant électrification	33 057 \$
Coût annuel d'électricité	5 887 \$
Économie annuelle de coûts d'énergie	27 170 \$
Économie potentielle après 7 ans	190 190 \$

En énergie, la flotte pourrait épargner 190 190\$ sur 7 ans. Il faudrait donc que le surcout de l'achat du véhicule, combiné au coût de l'infrastructure de recharge soit inférieur à cette valeur pour que l'électrification de ce camion soit rentable. À cela s'ajouteront des épargnes sur la maintenance, ainsi que plusieurs autres facteurs affectant la rentabilité. Néanmoins, il s'agit d'une estimation pouvant servir de guide pour la décision future concernant un achat de camion.

Il est possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. L'électrification éviterait la propagation de plus de 375 tonnes de CO2, ce qui n'est pas négligeable. Un camion électrique est plus polluant à produire, mais définitivement moins polluant à utiliser que son équivalent au diesel. Le point d'équivalence d'émission cumulées des GES arriverait après seulement 13 727 km. Ces valeurs viennent des analyses indépendantes de l'IVI, basées sur des études ICCT et tiennent compte des émissions de GES de la production d'électricité par barrages hydro-électrique s.

500
400
Émissions de CO2 - Diesel
Émissions de CO2 - Électrique

200
100
0
1 1 2 3 4 5 6 7 Années

Graphique 8: Émission sur la vie du camion 545262, Diesel vs. Électrique





## Freightliner M2 2022 | Porteur– PNB 17 250 kg

Le camion 545262 requiert une batterie de 470 kWh pour compléter ses trajets quotidiens, ce qui n'existe pas sur le marché actuellement pour un camion de classe 7. L'IVI ne recommande pas l'électrification pour ce camion.

Dans l'éventualité où un tel camion serait sur le marché, son surcoût à l'achat incluant l'infrastructure de recharge devrait être inférieur à 190 000 \$ pour que celui-ci soit rentable.

Cependant, en tenant compte des routes individuelles parcourues à chaque jour de la semaine, les journées de mardi et mercredi, soient les trajets vers Terrebonne et Montréal-Est respectivement, pourraient être électrifiés. Voici une estimation de l'énergie totale requise dans un camion pour compléter ces trajets selon la saison :

Route	Distance moyenne	Énergie requise en été	Énergie requise en hiver
Terrebonne	108 km	204 kWh	291 kWh
Montréal-Est	84 km	131 kWh	193 kWh

En tenant compte de l'énergie utilisée de 400 kWh maximum en une journée et des 10 heures d'arrêt au dépôt au minimum, une borne de 50 kW ferait l'affaire pour restaurer l'énergie requise à ce camion. Cela est d'autant plus vrai pour les routes de Terrebonne et de Montréal-Est.





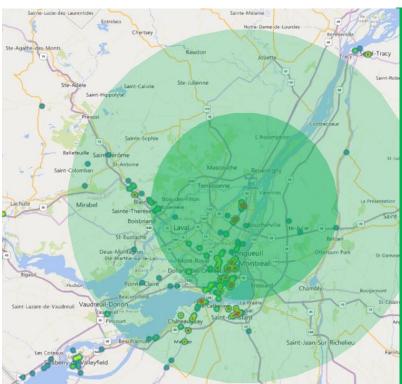


## Freightliner M2 2022 | Porteur– PNB 17 250 kg

## 9. Analyse du camion 545263

Le camion au diesel 545263 est utilisé pour livrer des marchandises à des dépanneurs de la région de Montréal, de façon très similaire au camion 545262. Il a opéré à Montréal la majeure partie de l'essai, puis dans les trois dernières semaines de l'essai il a été réaffecté à Gatineau. Ces derniers jours ne sont pas présentés en détail dans l'entièreté des graphiques suivants.

La carte suivante permet de visualiser la fréquence des arrêts à différents endroits. Plus les points sont gros et rouges, plus les arrêts du camion y sont longs et fréquents :



Alors que le camion précédent livrait plus dans l'est de Montréal et vers le nord, 545263 se concentre plus sur le sud-ouest de l'île de Montréal, qui se trouve dans un rayon de 25 km du terminal, et l'ouest de la rive-sud. Ces derniers lieux de livraison couvrent et dépassent le rayon de 50 km.

Il effectue aussi des livraisons à une fréquence non-négligeable à Laval et dans les basses Laurentides, le long de la route 117.

Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 545263 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Groupe Beaudry



Le camion 545263 a roulé surtout à Montréal et dans les environs de Gatineau. Pour chaque kilomètre parcouru, il a monté un dénivelé de 2,7 mètres.

Bien que les environs de Gatineau soient un peu plus montagneux, les routes empruntées ne causent pas une grande

augmentation par rapport à d'autres camions qui roulent seulement à Montréal.









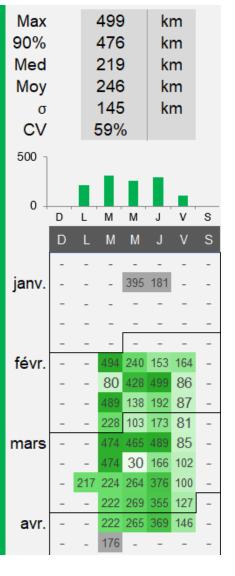
Le détail des distances parcourues chaque jour de l'essai est présenté dans les trois sections du tableau suivant. En haut se trouvent les distances principales de l'analyse et en bas, un calendrier des distances. Le dégradé des teintes permet de visualiser l'intensité des déplacements de chaque jour de plus de 20 km. Le graphique du milieu montre les moyennes de déplacement pour chaque journée de la semaine.

Tableau 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 545263

Ici, le chiffre qui parle le plus est le 90e percentile de distance quotidienne, soit 476 km. Le camion 545263 parcourt fréquemment ce genre de distances, principalement les mardis, mercredis et jeudis.

De façon semblable au camion 262, une certaine périodicité des routes semble avoir lieu à chaque semaine, mais de façon un peu moins claire. Ceci est observable en observant le dégradé des couleurs. On y voit un effet de « colonnes ». Par exemple, tous les vendredis de courts trajets forment une colonne vert pâle.

La route du vendredi est plus courte et régulière, particulièrement au mois de février. Lors de ces journées, les livraisons ont eu lieu dans le sud-ouest de l'ile de Montréal.





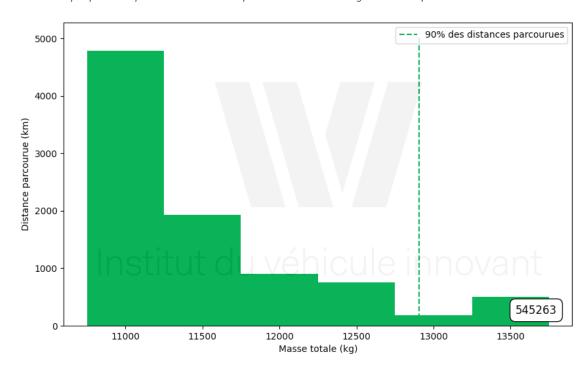






## Freightliner M2 2022 | Porteur-PNB 17 250 kg

L'énergie requise pour les accélérations et montées varie fortement avec la masse totale du véhicule, incluant son chargement. Le Graphique 9 résume le chargement typiquement transporté, tel que noté durant l'essai.



Graphique 9: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 545263

Le camion 545263 roule lui aussi très fréquemment sans cargaison. La fréquence des trajets diminue au fur et à mesure que le chargement augmente, sauf pour les trajets très chargés qui se produisent un peu plus souvent. Ceci représente toutefois environ 5 % de la distance parcourue par le camion.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 545263 permet de déterminer les grandes lignes qui affecteront son potentiel d'électrification des façons suivantes :

Tableau 8: Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 545263

Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	Longues	-
Constance	Variées	-
Dénivelé	Faible	+
Recharge en journée	Non	-
Chargement	Lourd	-
Accessoires	Réfrigération électrique	<del>-</del>





## Freightliner M2 2022 | Porteur– PNB 17 250 kg

## 10. Scénario d'électrification pour le camion 545263

La distance quotidienne, les montées, le chargement et autres mesures présentées dans la section précédente ont tous été utilisés pour évaluer une consommation d'énergie électrique quotidienne en kWh. Tous les trajets de chaque journée ont été regroupés pour obtenir un aperçu de l'énergie qui serait requise par période de 24h pour compléter l'entièreté de ces trajets.

Le graphique suivant montre la consommation électrique estimée par jour, disposée en ordre croissant. Ceci permet de mieux visualiser à quel point la configuration de batterie recommandée répondrait au besoin.

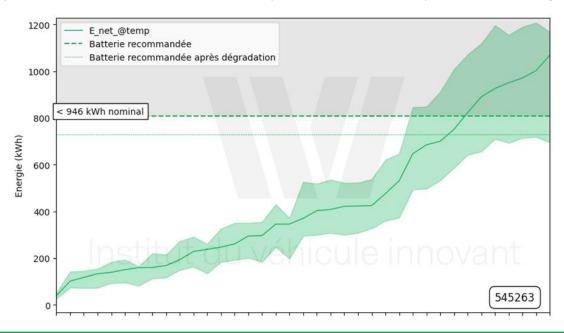






## Freightliner M2 2022 | Porteur – PNB 17 250 kg

Graphique 10: Journées de mesure du camion 545263, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



### Guide d'interprétation du Graphique 10 :

- La courbe verte du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire verte montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20°C) ou très froid. La valeur plus élevée représente l'énergie lors d'une journée froide (-20°C).
- La zone sous la ligne pointillée horizontale représente les journées où le camion dispose d'assez d'énergie pour compléter tous les trajets de la journée.
- Un camion avec une batterie de 946 kWh nominale disposerait de 809 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse). Cette capacité a été sélectionnée car c'est la capacité minimale requise pour compléter 90 % des journées sur toute une année.
- La fine ligne horizontale représente l'énergie après une dégradation de 10 %. Elle permet de comparer les journées qu'il sera possible de compléter à long terme.
- La zone grise représente les journées impossibles à compléter sans recharger en cours de journée.

La consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 131 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

Le Graphique 11 représente les tailles de batteries recommandées pour accomplir 85%, 90% ou 95% des journées d'une année, sans que le camion électrique n'ait recours à la recharge en cours de journée. Pour obtenir ce graphique, l'IVI a considéré que toutes les journées de l'année ont des chances égales de se faire attribuer les routes de l'une ou l'autre des journées valides de l'échantillon récolté. L'IVI a développé

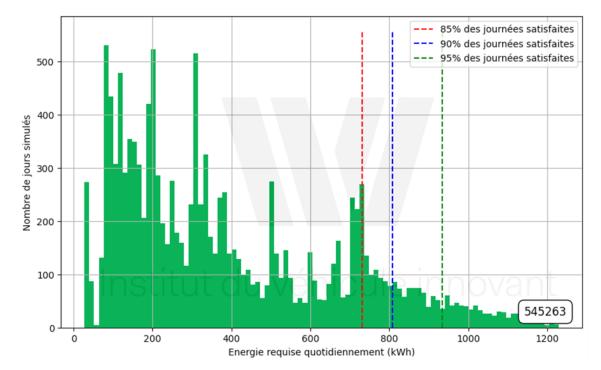






## Freightliner M2 2022 | Porteur – PNB 17 250 kg

une méthode pour propager sur une année les données récoltées en trois mois. Cette méthode est expliquée en détail dans la section précédente.



Graphique 11 : Énergie consommée par jour pour les journées simulés pour le camion 545263

Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classes 6 et 7 vont d'environ 140 à 315 kWh.

Durant la période de mesure, le camion 545263 n'est pas repassé près du dépôt durant la journée. Il n'aurait donc pas pu bénéficier de recharges entre ses trajets quotidiens. Il aurait donc besoin d'une batterie lui permettant de compléter l'entièreté de ses trajets sans recharger, les moments possibles pour recharger étant seulement la nuit.

L'horaire des déplacements et des arrêts du camion peut être visualisé sur le Graphique 12, ci-dessous. Ce graphique représente les déplacements pour une semaine typique du camion 545263. Chaque bande représente une journée, en ordre du mardi au vendredi de bas en haut. La semaine représentée est celle du 7 au 10 mars 2023. Les heures de la nuit ont été coupées, car il n'y a aucun déplacement. On y constate que le véhicule circule généralement entre 5 :30 et 16:00. Le Graphique 12 permet également de valider que le camion passe minimalement 14 heures par jour à l'entrepôt.

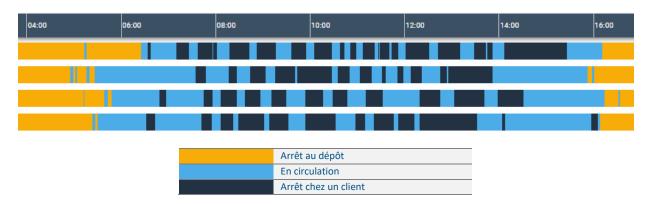






## Freightliner M2 2022 | Porteur – PNB 17 250 kg

Graphique 12 : Moments des déplacements et arrêts du camion 545263



Les paramètres requis pour l'électrification du camion 545263 seraient donc les suivants :

Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 545263

Capacité nominale requise pour satisfaire 90% des journées	946 kWh	
Batterie recommandée disponible sur le marché	Non	

En date de la rédaction de ce rapport, aucun produit existant ne propose une batterie ayant la capacité nominale requise pour électrifier les opérations régulières du camion 545263. La plus grosse batterie disponible sur le marché pour les camions de classe 7 est de 315 kWh.

Les bénéfices financiers peuvent difficilement être calculés pour un camion inexistant. Cependant, il est possible de poser une hypothèse sur l'économie possible en coût énergétique d'un camion de classe 7 avec une batterie de 946 kWh. Ce calcul a été effectué avec un coût de 2 \$ par litre de diesel et de 0,12 \$ par kilowattheure. Une économie possible de 193 662 \$ serait envisagée sur 7 ans.

Tableau 10: Épargnes en énergie associées à l'électrification éventuelle du camion 3018

Coût annuel de carburant avant électrification	34 279 \$
Coût annuel d'électricité	6 613 \$
Économie annuelle de coûts d'énergie	27 666 \$
Bénéfice net après 7 ans	193 662 \$

Dans le scénario d'électrification présenté pour le camion 545263, celui-ci serait en mesure de compléter l'entièreté des journées, hormis quelques journées d'hiver plus froides où un camion diesel pourrait être utilisé pour le remplacer ou compléter la journée. Le point d'équivalence des émissions arrive vers 28 000 km, soit après seulement huit mois d'opération. Après 7 ans, le camion aura évité l'émission de 370 tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent. Ces valeurs viennent des analyses indépendantes de l'IVI, basées sur des études ICCT.

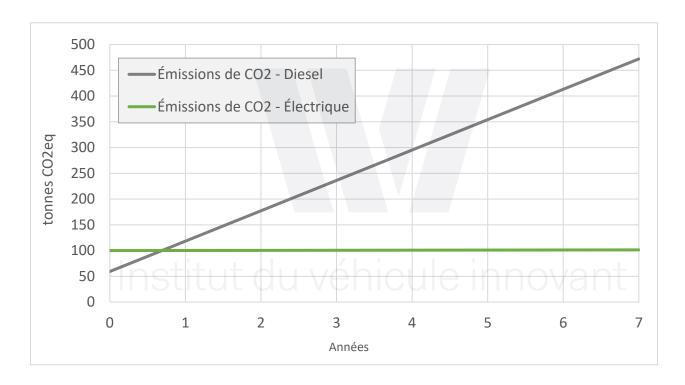






## Freightliner M2 2022 | Porteur – PNB 17 250 kg

Graphique 13: Émissions sur la vie du camion 545263, Diesel vs. Électrique



Le camion 545263 requiert une batterie de 946 kWh pour compléter ses trajets quotidiens, ce qui n'existe pas sur le marché actuellement pour un camion de classe 7. L'IVI ne recommande pas l'électrification pour ce camion.

Dans l'éventualité où un tel camion serait sur le marché, son surcoût à l'achat incluant l'infrastructure de recharge devrait être inférieur à 193 000 \$ pour que celui-ci soit rentable. À ce moment, une borne de recharge de 120 kW serait recommandée pour recharger le camion en 10 heures, lors de ses arrêts au dépôt du Groupe Beaudry.

Comme pour le camion 545262, une route se démarque et est souvent répétée. Ce qui est fort intéressant est que cette route du vendredi, vers le Sud-Ouest de Montréal, a le même point de départ que les deux autres routes du camion précédent. De plus leurs horaires actuels ne sont pas en conflit. Il serait donc intéressant d'attribuer ces trois routes, en plus d'une ou deux autres routes courtes supplémentaires, à un seul camion électrique.

L'énergie totale d'une batterie pouvant combler 90% du besoin énergétique quotidien estimé de cette route serait de 200 kWh en été, et 263 kWh en hiver.







## 11. Analyse du camion 296178

Le camion 296178 est lui aussi utilisé pour les livraisons aux dépanneurs. Son port d'attache devrait être à Saguenay, par contre il a été réaffecté pour la majeure partie de l'essai à Québec et Lévis.

La carte suivante permet de visualiser la fréquence des arrêts à différents endroits. Plus les points sont gros et rouges, plus les arrêts du camion y sont longs et fréquents :

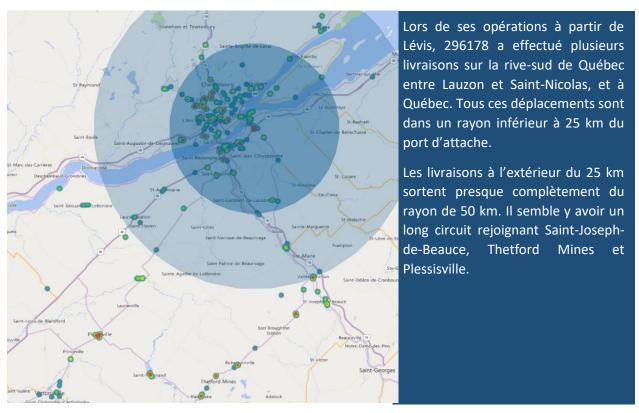
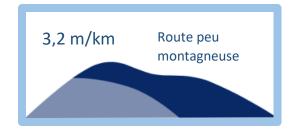


Figure 6 : Fréquence des livraisons du camion 296178 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Groupe Beaudry



Durant l'essai, le camion 296178 a roulé à Saguenay, puis à Québec. Ces régions sont un peu montagneuses. Pour chaque kilomètre parcouru, le véhicule a monté 3,2 mètres.

Monter ces côtes requiert donc un peu plus d'énergie qu'une route plus plate, mais très peu.





## Freightliner M2 2021 | Porteur-PNB 17 250 kg

Le détail des distances parcourues chaque jour de l'essai est présenté dans les trois sections du tableau suivant. En haut se trouvent les distances principales de l'analyse et en bas, un calendrier des distances. Le dégradé des teintes permet de visualiser l'intensité des déplacements de chaque jour de plus de 20 km. Le graphique du milieu montre les moyennes de déplacement pour chaque journée de la semaine.

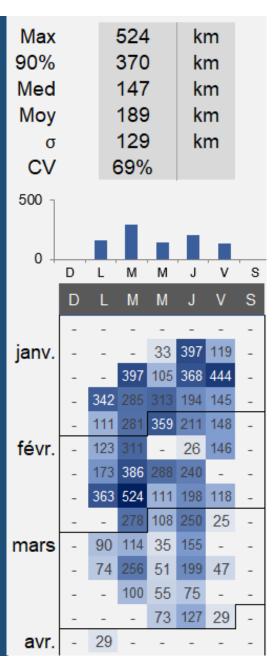
Tableau 11: Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 296178

Les valeurs de kilométrage moyens et le 90<sup>e</sup> percentile de distance parcourue sont ici à prendre avec un peu de discernement. Ces valeurs représentent l'essai au complet.

En regardant plus en détails, on voit que la fréquence des journées foncées (donc où le camion a roulé beaucoup) semble être supérieure alors que le camion était à Saguenay, jusqu'au 20 janvier.

Il persiste quelques longues journées à Lévis, mais particulièrement au mois de mars la moyenne de distance des journées diminue.

Outre ces quelques informations anecdotiques, il est difficile d'établir une règle précise pour estimer la distance que parcourra le camion selon la journée ou la période de l'année. Ses déplacements pourraient donc être qualifiés d'irréguliers, et ce autant à Saguenay qu'à Lévis.

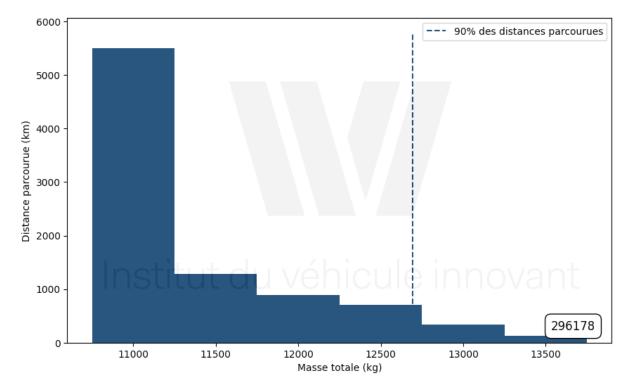






## Freightliner M2 2021 | Porteur-PNB 17 250 kg

L'énergie requise pour les accélérations et montées varie fortement avec la masse totale du véhicule, incluant son chargement. Pour réaliser l'étude de sa consommation énergétique, le poids de la cargaison transportée a été noté pour chaque trajet. Le graphique ci-dessous résume le chargement typiquement transporté.



Graphique 14: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 296178

Le profil de chargement du camion 296178 est presque identique au 545262 de Montréal, soit souvent pas ou très peu chargé, et une représentation de moins en moins importante de chargements lourds. Le camion n'est presque jamais chargé près de sa limite de chargement.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 296178 permet de déterminer les grandes lignes qui affecteront son potentiel d'électrification des façons suivantes :

Tableau 12 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 296178

Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	Moyennes	-
Constance	Variées	-
Dénivelé	Moyen	-
Recharge en journée	Non	-
Chargement	Lourd	-
Accessoires	Réfrigération, diesel	+



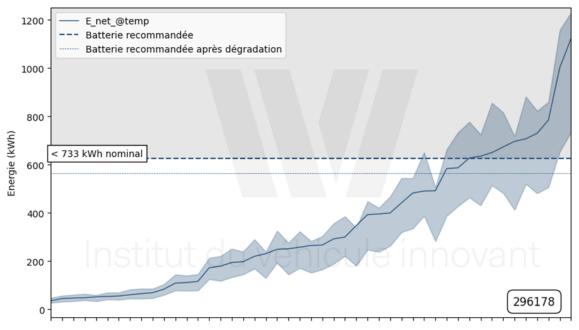




## 12. Scénario d'électrification pour le camion 296178

Le graphique suivant montre la consommation électrique estimée par jour, disposée en ordre croissant. Ceci permet de mieux visualiser à quel point la configuration de batterie recommandée répondra au besoin.

Graphique 15 : Besoins énergétiques quotidiens simulés (en kWh) du camion 296178, classés en ordre croissant



#### Guide d'interprétation du Graphique 15 :

- La courbe bleue du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire bleue montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20°C) ou très froid. La valeur plus élevée représente l'énergie lors d'une journée froide (-20°C).
- La zone sous la ligne pointillée horizontale représente les journées où le camion dispose d'assez d'énergie pour compléter tous les trajets de la journée.
- Un camion avec une batterie de 733 kWh total disposerait de 627 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse). Cette capacité a été sélectionnée car c'est la capacité minimale requise pour compléter 90 % des journées sur toute une année.
- La fine ligne horizontale représente l'énergie après une dégradation de 10 %. Elle permet de comparer les journées qu'il sera possible de compléter à long terme.
- La zone grise représente les journées impossibles à compléter sans recharger en cours de journée.

La consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 124 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

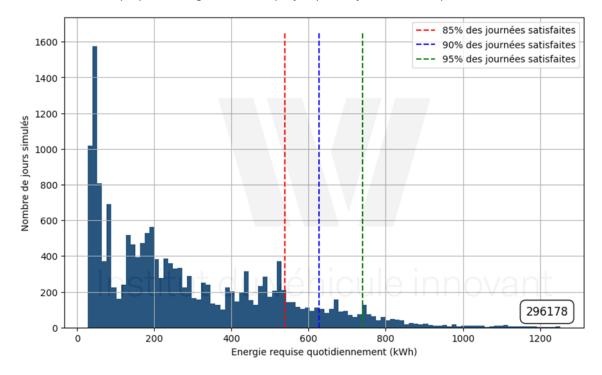






## Freightliner M2 2021 | Porteur-PNB 17 250 kg

Le Graphique 16 représente les tailles de batteries recommandées pour accomplir 85%, 90% ou 95% des journées d'une année, sans que le camion électrique n'ait recours à la recharge en cours de journée. Pour obtenir ce graphique, l'IVI a considéré que toutes les journées de l'année ont des chances égales de se faire attribuer les routes de l'une ou l'autre des journées valides de l'échantillon récolté. L'IVI a développé une méthode pour propager sur une année les données récoltées en trois mois. Cette méthode est expliquée en détail dans le scénario d'électrification du camion 545262.



Graphique 16: Énergie consommée par jour pour les journées simulés pour le camion 296178

Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classes 6 et 7 vont d'environ 140 à 315 kWh.

Durant la période de mesure, le camion 296178 n'est pas repassé près du dépôt durant la journée. Il n'aurait donc pas pu bénéficier de recharges entre ses trajets quotidiens. Il aurait donc besoin d'une batterie lui permettant de compléter l'entièreté de ses trajets sans recharger, les moments possibles pour recharger étant seulement la nuit.

Le Graphique 17 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 296178. Chaque bande horizontale représente un jour du mardi au vendredi, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée. Les nuits ont été coupées aux heures où il n'y avait aucun déplacement.

Il est à noter que l'horaire de ce camion a beaucoup de variance. Le véhicule a circulé selon des horaires différents à Saguenay et Québec, et il est même arrivé qu'il soit utilisé de nuit. Pour les besoins de cette analyse, seuls les déplacements de jour à Québec ont été retenus.

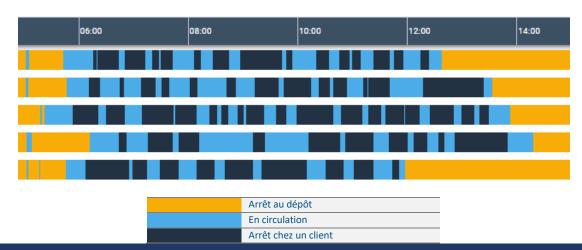






## Freightliner M2 2021 | Porteur-PNB 17 250 kg

Graphique 17: Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 296178



En partant de la gauche, on observe que le camion quitte le dépôt autour de 5h30 le matin.

Le camion effectue plusieurs courts arrêts chez des clients variés et revient en début ou milieu d'aprèsmidi. Il ne revient pas au dépôt durant le jour.

Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 296178

Capacité nominale requise pour satisfaire 90% des journées	733 kWh	
Batterie recommandée disponible sur le marché	Non	

En date de la rédaction de ce rapport, aucun produit existant ne propose une batterie ayant la capacité nominale requise pour électrifier les opérations régulières du camion 296178. La plus grosse batterie disponible sur le marché pour les camions de classe 7 est de 315 kWh.

Les bénéfices financiers peuvent difficilement être calculés pour un camion inexistant. Cependant, il est possible de poser une hypothèse sur l'économie possible en coût énergétique d'un camion de classe 7 avec une batterie de 733 kWh. Ce calcul a été effectué avec un coût de 2 \$ par litre de diesel et de 0,12 \$ par kilowattheure. Une économie possible de 134 302 \$ serait envisagée sur 7 ans.

Tableau 14: Épargnes sur l'énergie associées à l'électrification éventuelle du camion 296178

Coût annuel de carburant avant électrification	25 107 \$
Coût annuel d'électricité	5 921 \$
Économie annuelle de coûts d'énergie	19 186 \$
Économie potentielle après 7 ans	134 302 \$

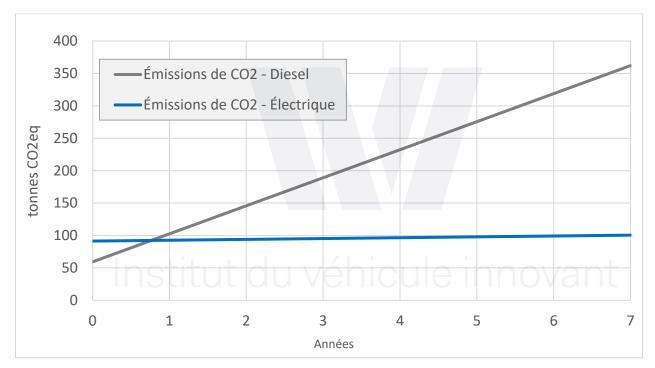






## Freightliner M2 2021 | Porteur-PNB 17 250 kg

Il est possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Le point d'équivalence des émissions de CO<sub>2</sub> arrive après 28 800 km. Après 7 ans, l'électrification pourrait permettre la diminution de l'émission d'environ 261 tonnes de CO<sub>2</sub>. Ces valeurs viennent des analyses indépendantes de l'IVI, basées sur des études ICCT et tiennent compte des émissions de GES de la production d'électricité par barrages hydro-électriques.



Graphique 18 : Émissions sur la vie du camion 296178, Diesel vs. Électrique

Le camion 296178 requiert une batterie de 733 kWh pour compléter ses trajets quotidiens, ce qui n'existe pas sur le marché actuellement pour un camion de classe 7. L'IVI ne recommande pas l'électrification pour ce camion. Restaurer cette énergie avec les 10 heures de disponibles à l'arrêt au dépôt quotidiennement nécessiterait une borne de recharge de 100 kW.

Dans l'éventualité où un tel camion serait sur le marché, son surcoût à l'achat incluant l'infrastructure de recharge devrait être inférieur à 134 000 \$ pour que celui-ci soit rentable.





## 13. Conclusions et recommandations

L'analyse des trois camions diesel instrumentés chez Groupe Beaudry a apporté beaucoup d'informations sur le potentiel d'électrification de ceux-ci. En plus du kilométrage quotidien, les habitudes de déplacements de chaque camion ont permis d'élaborer un score d'adéquation avec les camions lourds électriques actuellement offerts sur le marché, que voici :

Tableau 15: Recommandation d'électrification des camions de Groupe Beaudry

Véhicule	<b>Camion 545262</b>	<b>Camion 545263</b>	<b>Camion 296178</b>
Potentiel d'électrification (/10)	5	4	3
Recommandation d'électrification de l'IVI	Non	Non	Non
Capacité totale de batterie requise	470 kWh	946 kWh	733 kWh

La note accordée au potentiel d'électrification est obtenue en donnant une pondération aux critères les plus importants apportés par cette analyse, soit la proportion des jours réalisables, la nécessité d'adapter les opérations ou non pour y arriver, le délai avant d'arriver au point d'équivalence, les bénéfices sur la durée d'utilisation, et la présence d'accessoires difficiles à électrifier.

Bien entendu, ce score est valide au moment de la parution de ce rapport. L'évolution des prix, capacités des batteries et disponibilité des accessoires amènera probablement une amélioration de ces scores avec le temps.

Bien qu'aucun des véhicules analysés ne soit un candidat parfait à l'électrification en considérant l'ensemble de ses déplacements comme un tout, les camions 545262 et 545263 obtiennent un score plus élevé car une partie de leurs opérations pourrait être électrifiée facilement. Une étude plus approfondie des routes de livraisons individuelles s'impose au sein du Groupe Beaudry. En effet, agglomérer quatre ou cinq routes d'environ 100 km créerait une route candidate à l'électrification.

La plus grande inconnue qui persiste dans ce scénario est la présence d'une unité de réfrigération, dont la consommation énergétique n'a pas été estimée dans ce scénario. Comme première expérience, une unité de réfrigération au diesel pourrait toutefois être utilisée pour maximiser l'autonomie du camion.

Les recommandations émises dans le présent rapport considèrent une batterie neuve et non dégradée. Il est important de constater qu'avec le temps et les cycles de recharge, une dégradation de l'ordre de 10 % ou plus pourrait apparaître, réduisant d'autant l'autonomie d'un véhicule électrique.

Les trois camions instrumentés lors de ce test sont arrêtés relativement longtemps la nuit, ce qui leur permettrait d'utiliser des bornes de recharge peu puissantes, et donc moins coûteuses. Cependant dans son analyse, l'IVI a considéré chaque minute passée au dépôt de Groupe Beaudry comme étant propice à la recharge, alors que ceci pourrait être moindre si le chargement de la cargaison prend beaucoup de temps, par exemple. Malgré ceci une borne de 100 kW serait nécessaire pour recharger une batterie de 946 kWh telle que celle recommandée pour le camion 545263, mais il faudra faire attention de positionner une borne à un endroit permettant de recharger le véhicule pendant qu'on y ajoute les marchandises, ou de le rebrancher après. Aussi, plusieurs bornes de recharge rapide publiques pour les camions lourds





apparaîtront sous peu au Québec. L'utilisation de ces bornes pourrait être avantageuse pour un camion qui n'a pas l'habitude de repasser au dépôt durant la journée.

Le présent rapport fait l'état des possibilités d'électrification pour trois camions de la flotte de Groupe Beaudry. Ces véhicules ont été choisis sur le volet par l'IVI et le participant pour répondre aux questionnements des gestionnaires de flotte et pour leurs déplacements limités pouvant produire des candidats à l'électrification. Il ne faut donc pas utiliser ces résultats comme généralisation quant au potentiel d'électrification de l'entièreté du parc de Groupe Beaudry, ni comme des camions lourds de classes 6 à 8 en général. Le but de ce document n'est pas de produire un diagnostic sur un échantillon représentatif de ce marché.





## 14. Sources des données

Les données utilisées dans le présent rapport viennent des sources suivantes. Au besoin, plus de précisions pourraient être données à la demande d'un participant.

#### Historique du prix du carburant :

https://www150.statcan.gc.ca/

## Données météorologiques :

https://open-meteo.com

### Données sur les émissions de GES pour la fabrication de véhicules et de batteries :

- Nom du document : Automotive Li-Ion Batteries: Current Status and Future Perspectives, Argonne National Lab, auteurs : Dr. Y. L. Ding, Z. P. Cano, Prof. A. P. Yu, Prof. Z. W. Chen, lien : https://www.osti.gov/pages/servlets/purl/1561559
- https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global-LCA-passenger-cars-jul2021\_0.pdf
- https://www.ghgenius.ca/index.php

#### Coût des véhicules électriques :

> Données publiées dans les médias et données privilégiées obtenues de partenaires

#### Données scientifiques pour les calculs énergétiques :

- Projets antérieurs de l'IVI
- https://x-engineer.org/drivetrain-losses-efficiency/
- https://www.researchgate.net/figure/Drag-coefficient-of-different-vehicles-type-1\_fig1\_331695168





## 15. Informations et contact

Si vous avez des questions à la suite de la lecture du présent rapport, vous pouvez contacter l'équipe du projet à l'aide des informations ci-dessous :

Institut du véhicule innovant

100, rue Claude-Audy, Saint-Jérôme (Québec), J5L 0J2

450-431-5744 x 261 | flotte@ivisolutions.ca

Plusieurs publications auxquelles l'IVI a participé pourront aider le gestionnaire de flotte dans sa démarche d'électrification. Celles-ci peuvent être trouvées à l'adresse suivante :

https://www.ivisolutions.ca/ressources-consultables/





### 16. Remerciements

Ce projet est réalisé grâce à la participation financière du gouvernement du Québec dans le cadre du programme Action-Climat Québec et rejoint les objectifs du Plan pour une économie verte 2030.



L'équipe tient également à remercier Hydro-Québec pour son implication à titre de partenaire majeur.



Enfin, l'équipe tient à remercier tous les partenaires du projet Flotte Rechargeable – Camions Lourds. Leur dévouement, leur professionnalisme et leur coopération ont été d'une haute importance pour l'achèvement de ce rapport.























La collecte de données pour cette phase du projet a notamment été rendue possible en utilisant les appareils GO de :





