Flotte
rechargeable
Camions lourds

Étude sur le potentiel d'électrification de camions lourds à moteur diesel
Rapport phase 2 –Brasseries Sleeman

Par : Mathieu Chevigny
Révisé par : Philippe Louisseize, ing. et Charles Trudel, ing.

Date : Lundi le 10 juillet 2023 | Version révisée : 25 juillet 2023

Institut du véhicule innovant

Table des matières

1. Faits saillants 6
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 223177 18
8. Scénario d'électrification pour le camion 223177 21
9. Analyse du camion 183215 27
10. Scénario d'électrification pour le camion 183215 30
11. Analyse du camion 443448 35
12. Scénario d'électrification pour le camion 443448 38
13. Conclusions et recommandations 43
14. Sources des données 45
15. Informations et contact 46
16. Remerciements 47

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 Brasseries Sleeman..... 14
Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 223177 . 19
Tableau 4 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 223177 20
Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 223177..... 24
Tableau 6: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 223177 24
Tableau 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 183215 . 28
Tableau 8: Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 183215 29
Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 183215..... 32
Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 183215 33
Tableau 11 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 443448 36
Tableau 12 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 2012 37
Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 443448..... 40
Tableau 14: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 443448 40
Tableau 15: Recommandation d'électrification des camions des Brasseries Sleeman..... 43

Liste des figures

Figure 1 : Échelle de dénivelé allant du plus petit dénivelé au plus grand 8
Figure 2 : Camions utilisés durant la période d'instrumentation, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 223177, 183215 et 443448 13
Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 223177 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt des Brasseries Sleeman..... 18
Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 183215 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt des Brasseries Sleeman..... 27
Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 443448 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt des Brasseries Sleeman..... 35

Liste des graphiques

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion 15
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Brasseries Sleeman..... 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 223177. 20
Graphique 5: Journées de mesure du camion 223177, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)..... 21
Graphique 6 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 223177 22
Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 223177..... 23
Graphique 8 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 223177..... 25
Graphique 9: Émission sur la vie du camion 223177, Diesel vs. Électrique 25
Graphique 10: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 183215 29
Graphique 11: Journées de mesure du camion 183215, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)..... 30
Graphique 12 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 183215 31
Graphique 13 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 183215..... 32
Graphique 14 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 183215..... 33
Graphique 15: Émission sur la vie du camion 183215, Diesel vs. Électrique 34
Graphique 16: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 443448 37
Graphique 17: Journées de mesure du camion 443448, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)..... 38
Graphique 18 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 443448 39
Graphique 19 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 443448..... 40
Graphique 20 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 443448..... 41
Graphique 21: Émission sur la vie du camion 443448, 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 Brasseries Sleeman.

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 :

93 % des journées se terminent en ayant parcouru moins de 225 km

88 % des arrêts de nuit au terminal durent 14 heures ou plus, assez pour ajouter 630 kWh avec une borne de 50 kW pour chaque camion

Camion 223177 – Tracteur classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	**Valeur**	
Distances	**Courtes**	**+**
Constance	**Constantes**	**+**
Dénivelé	**Faible**	**+**
Recharge en journée	**Non**	**-**
Chargement	**Moyen**	**+/-**
Accessoires	**Non**	**+**

Estimation de consommation électrique en été	153 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	189 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Non
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	497 kWh
Batterie disponible ?	Oui

Camion 183215 – Tracteur classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	**Valeur**	
Distances	**Moyennes**	**+/-**
Constance	**Variées**	**-**
Dénivelé	**Faible**	**+**
Recharge en journée	**Non**	**-**
Chargement	**Moyen**	**-**
Accessoires	**Non**	**+**

Estimation de consommation électrique en été	155 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	189 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Oui
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	595 kWh
Batterie disponible ?	Oui

Camion 443448 – Tracteur classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	**Valeur**	
Distances	**Courtes**	**+**
Constance	**Constantes**	**+**
Dénivelé	**Faible**	**+**
Recharge en journée	**Non**	**-**
Chargement	**Moyen**	**+/-**
Accessoires	**Non**	**+**

Estimation de consommation électrique en été	165 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	208 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Non
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	485 kWh
Batterie disponible ?	Oui

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 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 potentielle 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 d'instrumentation, 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 effectuer la collecte de données, les besoins énergétiques ont été estimés pour la température réelle lors de l'analyse, 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 le nombre qui est le plus souvent annoncé par les manufacturiers de camions.

Toute cette énergie ne servira pas 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 même batterie vendue avec 100 kWh d'énergie nominale pourra compléter 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

Sleeman Breweries est une brasserie dont les origines remontent à 1851 en Ontario. Aujourd'hui faisant partie de Sapporo Breweries Ltd, Sleeman est la troisième brasserie en importance au pays, avec des opérations à travers le territoire du Canada.

L'entreprise distribue et livre elle-même ses produits à partir de ses entrepôts. Au Québec, ses différents clients sont principalement des dépanneurs, des épiceries et des bars, en plus de ses propres entrepôts et usines. Tous ces clients ont des besoins et des réalités différentes en termes de livraisons, qui amènent l'entreprise à devoir adapter sa flotte et ses opérations.

Les Brasseries Sleeman comptent actuellement 5 centres de distributions à travers le Québec et plus de 56 camions. Les routes parcourues par ceux-ci peuvent changer toutes les 12 semaines tout dépendant des clients. Leurs camions font majoritairement de courtes routes, soit d’environ 100 km. Les routes maximales tournent dans les alentours des 350 km.

L’entreprise conserve actuellement ses camions 6 ans. Cette période correspond à la durée de la location des camions. La même durée de vie sera donc utilisée pour les scénarios d’électrification présentés dans ce rapport.

6. Véhicules analysés

Pour donner suite aux discussions avec le gestionnaire du parc, les trois camions retenus pour l'analyse sont les unités 223177, 183215 et 443448. Les trois camions analysés sont des tracteurs classe 8 de la marque Freightliner. En regardant la Figure 2, il est possible de voir que les deux premiers camions en partant de la gauche sont des modèles de type New Cascadia tandis que le troisième est un M2.

Figure 2 : Camions utilisés durant la période d'instrumentation, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 223177, 183215 et 443448

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 trois véhicules choisis parcourent de courtes distances. Tout comme la plupart des véhicules de l'entreprise, les camions sont remplis durant la nuit et ils font plusieurs livraisons durant le jour dans un rayon relativement proche de l'entrepôt.

La compagnie compte environ 56 tracteurs, dont quelques-uns qui parcourent des trajets avec des distances similaires à ceux étudiés dans ce rapport. Bien qu'il soit tentant d'appliquer les conclusions des trois camions présentés dans ce rapport à tout autre camion de la flotte, l'IVI préfère ne pas émettre de diagnostic ferme sur ceux-ci, car beaucoup de variables autres que ceux mentionnés précédemment influencent les simulations effectuées. Une étude approfondie de ces véhicules s'imposerait donc pour affirmer avec certitude le potentiel d'électrification des véhicules autres que ceux présentés dans ce document.

Certaines informations ont été jugées pertinentes à présenter de manière regroupée plutôt qu'individuellement par camion. 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 Brasseries Sleeman.

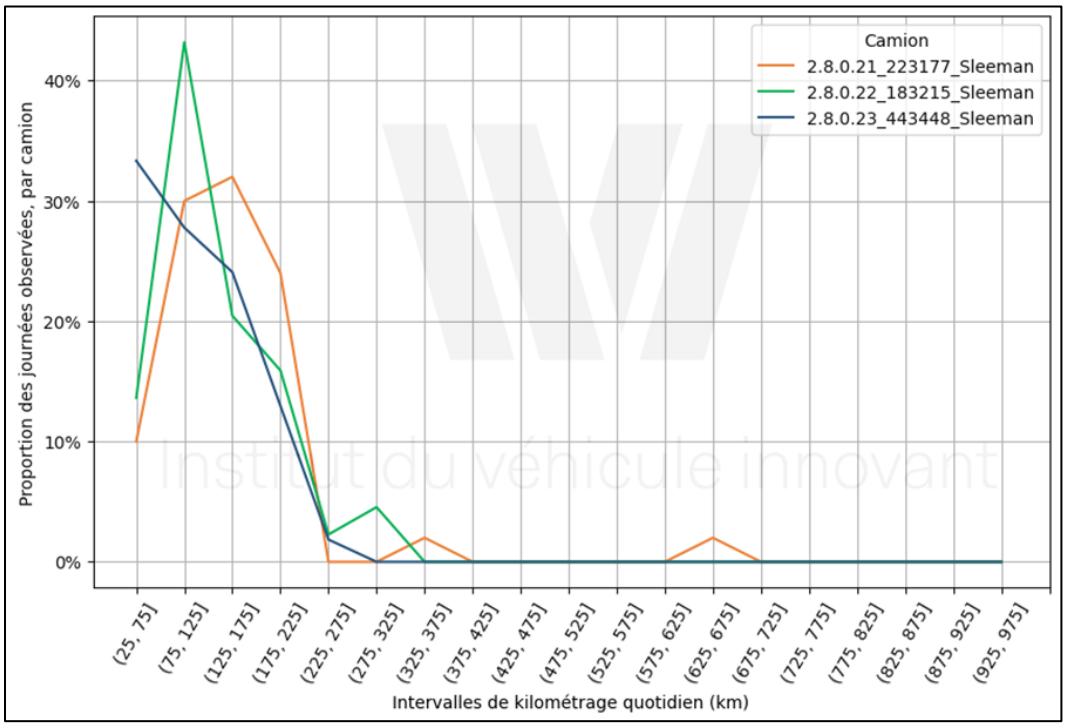
Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation des véhicules de Brasseries Sleeman

Camion #	223177	183215	443448
Distance parcourue			
Durant le test	9 194 km	8 691 km	7 153 km
Annuellement (estimée)	36 775 km	34 765 km	28 611 km
Carburant			
Consommé durant le test	4 242 L	3 975 L	3 454 L
Consommé annuellement (estimé)	16 968 L	15 900 L	13 815 L
Consommation moyenne	44,1 L/100 km	44,0 L/100 km	45,6 L/100 km
Ralenti			
Temps par jour en moyenne	0,6 h	0,7 h	0,5 h
Carburant consommé au ralenti par jour	3,5 L	2,7 L	3,4 L
Carburant consommé par année (estimé)	746 L	607 L	782 L
Opérations			
Vitesse moyenne en déplacement	46,5 km/h	42,4 km/h	37,0 km/h
Nombre de jours actifs durant l'analyse	54 jours	57 jours	58 jours
Masse totale moyenne pondérée	16 699 kg	16 540 kg	18 898 kg

Il est possible de remarquer dans le Tableau 2 que le camion 223177 et le camion 183215 ont des données très similaires. Ce qui est cohérent puisque ce sont tous les deux des freightliners Cascadia et ils parcourent des routes très similaires. Pour ce qui est du camion 443448, sa consommation est un petit peu plus élevé, ce qui peut être expliqué par le fait qu'il parcourt des trajets un peu plus montagneux et qu'il est plus chargé que les deux autres camions.

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

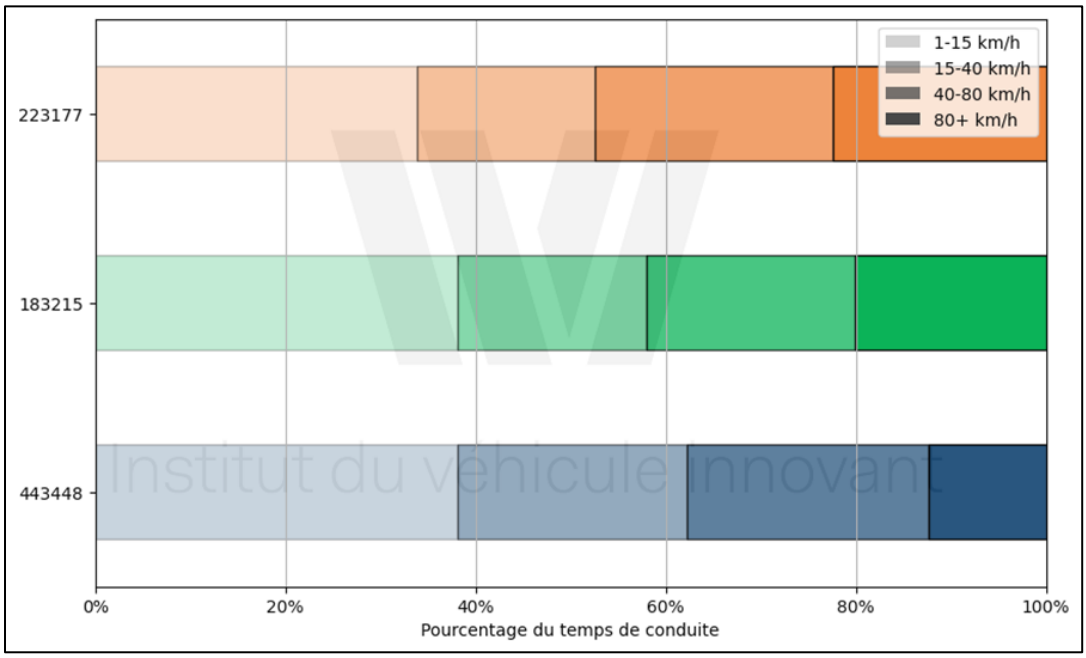
Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion



En observant le Graphique 1, il est possible de voir que le camion 223177 et le camion 183215 parcourent moins de 175 km 60 % du temps. Pour le camion 223177 et le camion 443448, 90 % des déplacements quotidiens se situent sous la barre des 225 km.

Un autre facteur d'importance est la vitesse du véhicule. Le graphique suivant 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 223177 et le camion 183215 passent plus de 20 % de leur temps de conduite à vitesse d'autoroute. Cette plage de vitesse représente la pire plage de consommation pour un véhicule électrique.

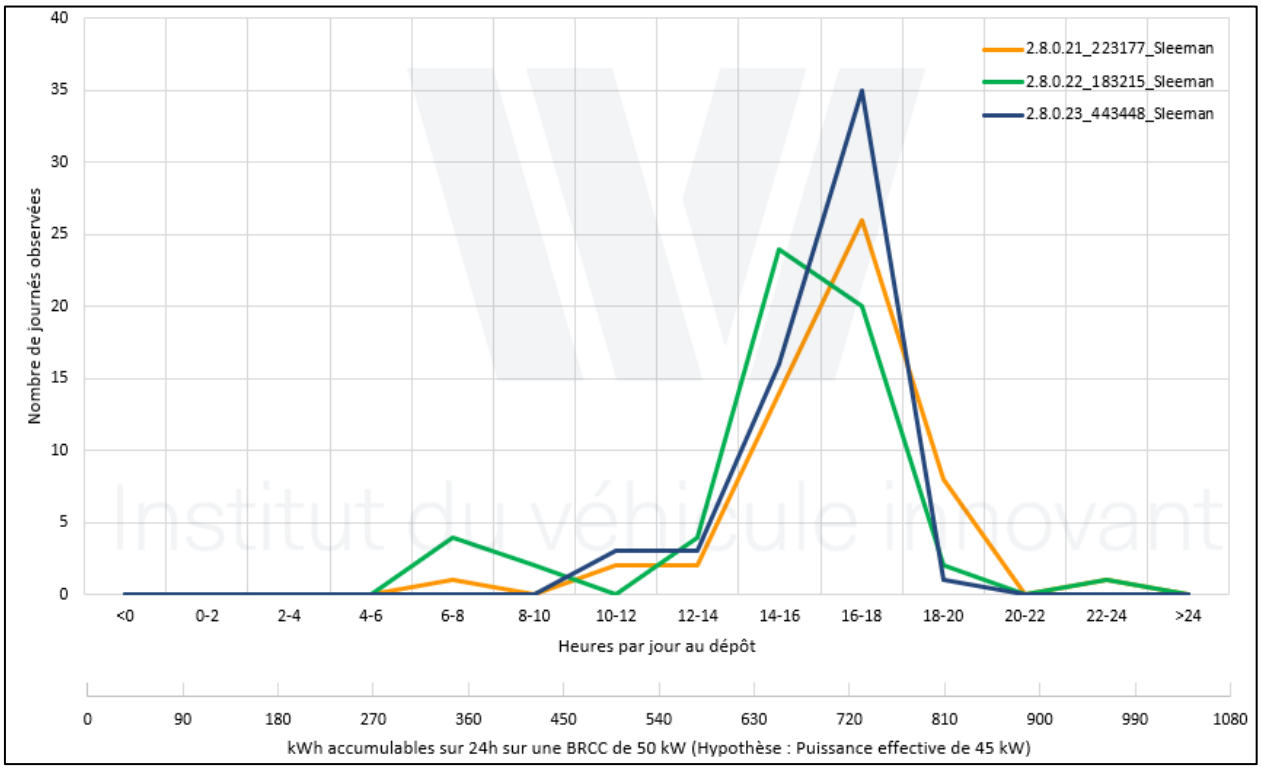
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Brasseries Sleeman



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 d'opérer commercialement un véhicule électrique 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 (incluant les marges de sécurité et de confort), car celles-ci sont moins coûteuses à acquérir, installer puis opérer.

Les trois camions sélectionnés reviennent à l'entrepôt des Brasseries Sleeman la nuit. Le Graphique 3 montre la répartition des heures passées sur le terrain des Brasseries Sleeman à l'arrêt.

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



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

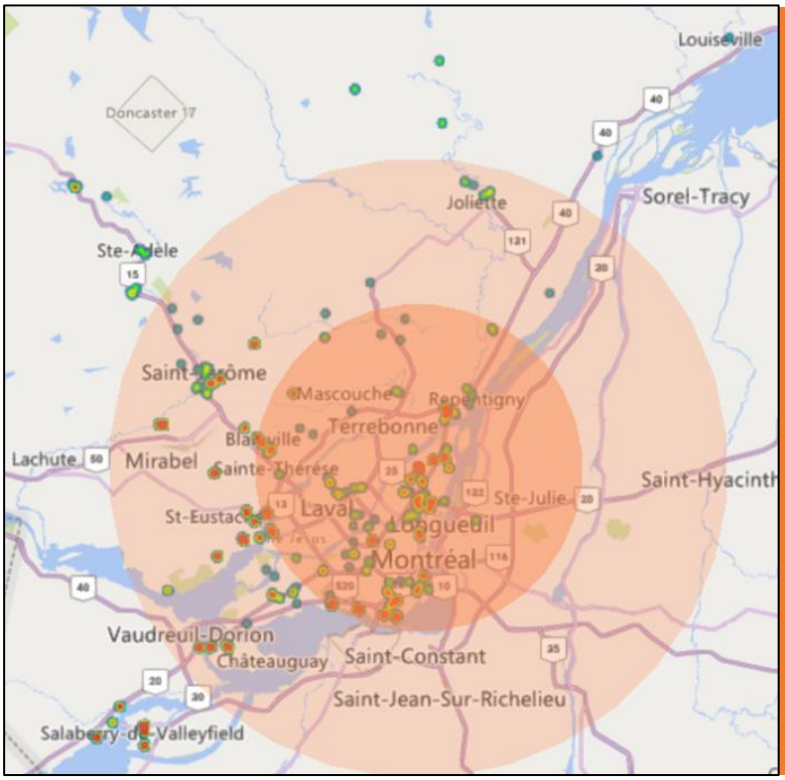
Les trois camions disposent d'une durée d'arrêt au terminal de Brasseries Sleeman supérieure à 14 h dans plus de 88 % des cas. Un temps de recharge de 14 h sur une borne de 50 kW, avec une puissance effective de 45 kW, permet de recharger 630 kWh. Ce qui est assez pour recharger entièrement la plupart des batteries disponibles sur le marché.

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 223177

Le camion au diesel 223177 est surtout utilisé pour des trajets d'approvisionnement dans les épiceries sur l'île de Montréal et en périphérie de l'île. Il part de l'entrepôt avec sa cargaison de bière tous les matins et il fait plusieurs arrêts afin de vider celle-ci durant la journée.

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.

La majorité des livraisons effectuées par le camion 223177 se font dans un rayon de 50 km de l'entrepôt des Brasseries Sleeman. Un arrêt fréquent a également été répertorié à Valleyfield, soit en dehors de ce rayon.

Ce camion ne revient pas à l'entrepôt durant la journée. Cela signifie que pour le scénario d'électrification, le camion devra avoir assez d'autonomie pour faire sa journée complète sans recharge.

Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 223177 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt des Brasseries Sleeman

Le dénivelé du territoire parcouru est un critère important dans l'évaluation de la consommation d'énergie. L'indice de côte du camion 223177 indique qu'il parcourt majoritairement des routes plates. Ceci est cohérent puisqu'il se déplace surtout dans la région métropolitaine de Montréal.

Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 1,7 mètre pour chaque kilomètre parcouru.

Le détail des distances parcourues chaque jour de la période de collecte de données est présenté dans le tableau 3. Celui-ci comporte trois sections pour couvrir l'entièreté des détails des déplacements du camion. En haut, la distance maximale, au 90e 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 sont celles où le camion a parcouru moins de 20 km. Il est donc considéré que le camion a été inactif à ces moments.

Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 223177

Dans la première section de ce tableau, la donnée du 90e percentile est celle qui sera le plus utile pour le gestionnaire de flotte. Cette donnée indique que dans 90 % des jours de la période d'instrumentation, le camion a effectué des distances quotidiennes inférieures à 224 km. Cette valeur peut être utilisée comme étant la valeur maximale que le camion parcourt en une journée. Les valeurs de la moyenne et de la médiane peuvent également être utilisées afin de représenter une journée typique du camion.

Le graphique à bande indique la distance quotidienne moyenne effectuée par le camion 223177 pour chaque jour de la semaine. Il est possible de constater que le camion ne roule pas la fin de semaine et qu'il parcourt des distances très différentes chaque jour de la semaine.

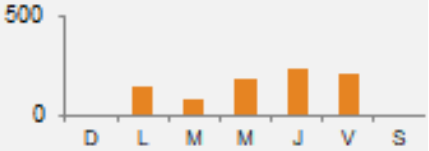
Dans le calendrier, il est possible de constater que le camion semble parcourir un itinéraire semblable du lundi au jeudi de semaine en semaine. Les vendredis, le camion semble faire un itinéraire plus aléatoire. En majorité, les distances quotidiennes parcourues par le camion ne sont pas très grandes.

En retirant les vendredis ainsi que les journées grises de la moyenne, celle-ci passe de 164 km à 135 km.

Les journées surlignées en gris ont été retirées de l'étude, car le camion remplaçait un autre camion de la flotte de Sleeman.

Il est également important de noter que selon le gestionnaire de flotte, les routes des camions peuvent changer toutes les 12 semaines.

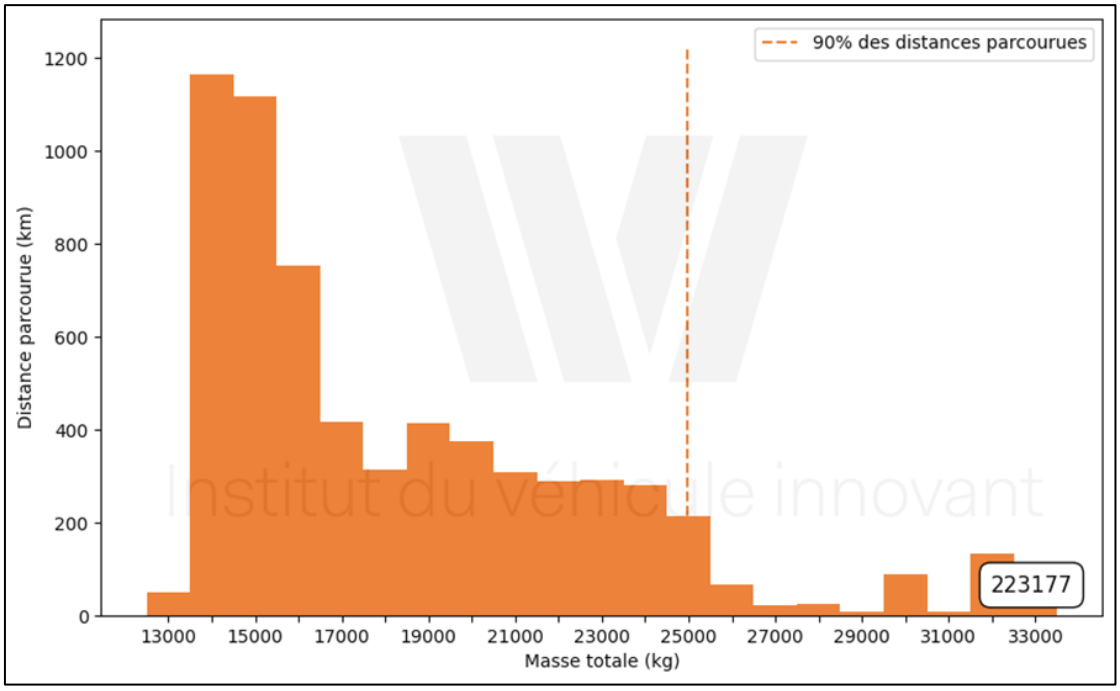
Max	629	km
90%	224	km
Med	132	km
Moy	164	km
σ	122	km
CV	74%	



	D	L	M	M	J	V	S
	-	-	-	-	-	-	-
févr.	-	51	57	204	167	50	-
	-	145	90	225	-	-	-
	-	-	96	88	167	221	-
	-	114	87	110	314	-	-
mars	-	125	130	200	190	78	-
	-	461	91	208	175	-	-
	-	125	97	-	168	49	-
	-	128	94	213	187	172	-
avr.	-	131	9	193	182	410	-
	-	-	120	128	629	156	-
	-	36	79	224	166	95	-
	-	132	94	200	171	627	-
	-	132	8	211	-	-	-
mai	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-

L'énergie requise pour chaque accélération et chaque montée est directement proportionnelle à la masse totale du véhicule, incluant son chargement. Le graphique suivant montre proportionnellement la distance parcourue du camion 223177 par rapport à sa masse totale.

Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 223177



En observant la répartition des différentes masses selon les distances parcourues sur le Graphique 4, il est possible de constater que le chargement du camion est varié. Ceci peut être expliqué par le fait que le camion livre son chargement de façon progressive durant la journée. Pour plus de 90 % des distances parcourues, le camion a une masse totale inférieure à 25 000 kg.

Un véhicule électrique plus lourd n'occasionnerait donc pas de pénalité de poids pour le cas du camion 223177 puisqu'il atteint très peu fréquemment un poids s'approchant (à 2000 kg près) du PNBV.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 223177 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 223177

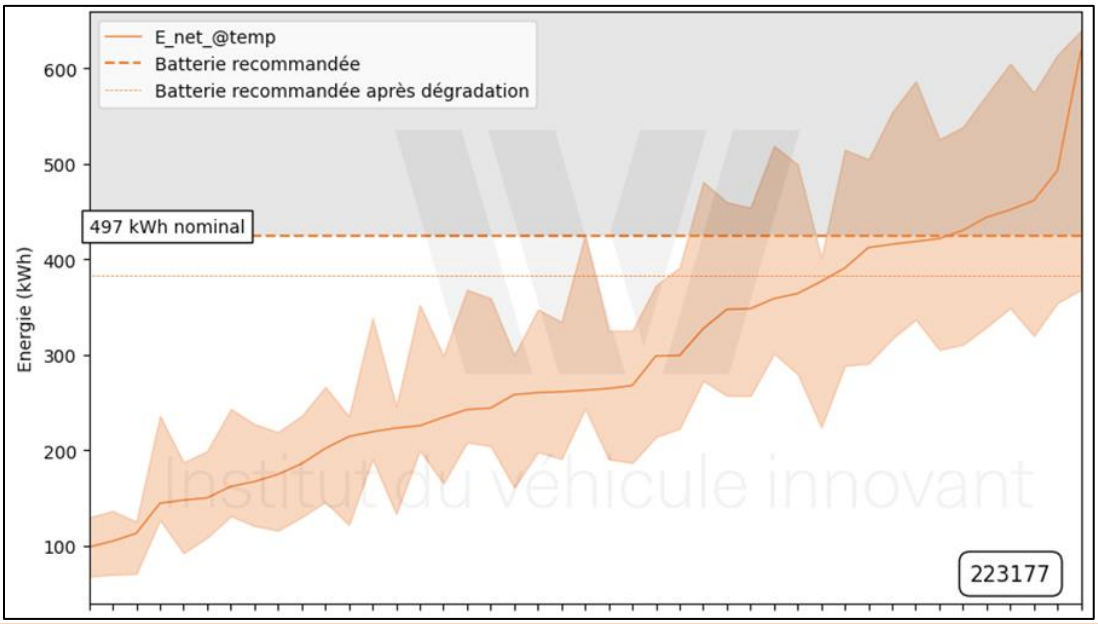
Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	**Courtes**	**+**
Constance	**Constantes**	**+**
Dénivelé	**Faible**	**+**
Recharge en journée	**Non**	**-**
Chargement	**Moyen**	**+/-**
Accessoires	**Non**	**+**

8. Scénario d'électrification pour le camion 223177

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 active ont été regroupés pour obtenir un aperçu de l'énergie qui serait requise par période de 24 h pour compléter l'entièreté de ces trajets.

Le Graphique 5 montre la distribution de ces énergies pour chaque journée durant la période d'instrumentation. Ces journées ont été réordonnées en ordre croissant de besoin énergétique quotidien. Ceci permet de mieux visualiser à quel point la configuration de batterie recommandée répondra au besoin.

Graphique 5: Journées de mesure du camion 223177, classées par 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 capacité nominale de 497 kWh total disposerait de 425 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 223177 d'effectuer 90 % de ses journées.
- La zone grise représente les journées impossibles à compléter sans recharger
- 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.

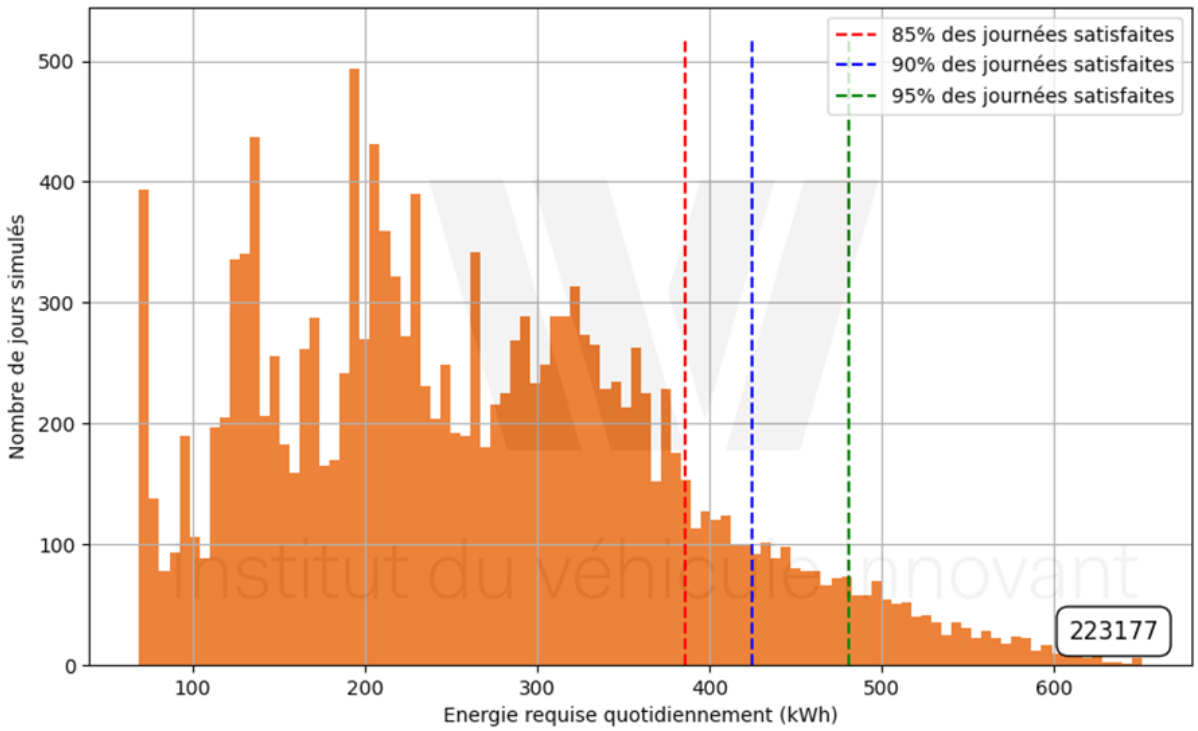
La consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 153 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids. La consommation moyenne annualisée a été calculée à l'aide du calcul expliqué plus bas et elle est représentée dans le tableau de la section 1.

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'analyse 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 leurs 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 ci-dessous 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 simulées pour le camion 223177



Pour compléter l'entièreté des trajets d'une journée pour 90 % des jours sur une année complète, l'IVI estime que la batterie requise devrait avoir une capacité utilisable avec marge de 425 kWh, ce qui équivaut à une batterie dotée d'une énergie nominale 497 kWh.

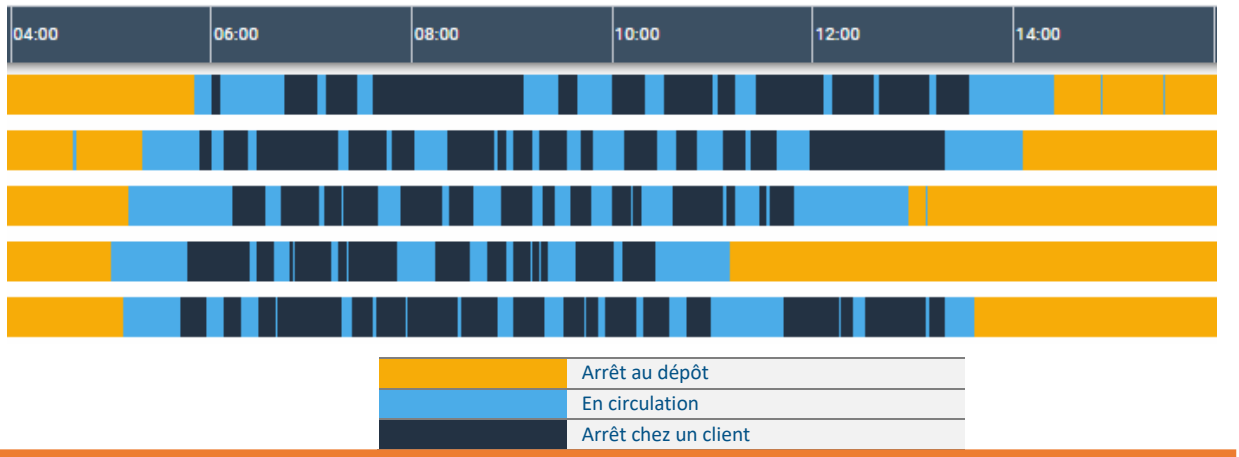
Pour compléter 95 % des journées, la capacité nominale est de 563 kWh.

Pour compléter 85 % des journées, la capacité nominale est de 451 kWh.

Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classes 8 vont d'environ 250 à 650 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.

Le Graphique 7 permet de visualiser les arrêts lors d'une journée typique du camion 223177. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, 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. La semaine représentée est celle du 27 au 31 mars 2023.

Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 223177



Il est possible d'observer que le camion fait plusieurs arrêts de courtes durées durant sa journée. Il part le matin chargé vers 5 h et il revient vers 15 h à l'entrepôt des Brasseries Sleeman.

Il est arrêté à l'entrepôt durant la nuit pour une période de 13-15h. Durant cette période, le camion est chargé pour ses livraisons du lendemain.

Une puissance de 50 kW est généralement considérée comme le standard minimal pour un camion lourd. Cette borne fournira une puissance réelle au véhicule d'environ 45 kW. Comme pour les batteries, la stratégie consiste à sélectionner la borne de recharge la moins puissante qui réponde aux besoins.

En multipliant la puissance par le nombre d'heures, on arrive à l'énergie ajoutée quotidiennement. Celle-ci serait donc d'au moins 585 kWh (13 h * 45 kW). Cette valeur est plus que suffisante pour effectuer une charge complète.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 223177 seraient donc les suivants :

Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 223177

Capacité de la batterie embarquée	497 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 50 kW
90 % des opérations remplies ?	Oui

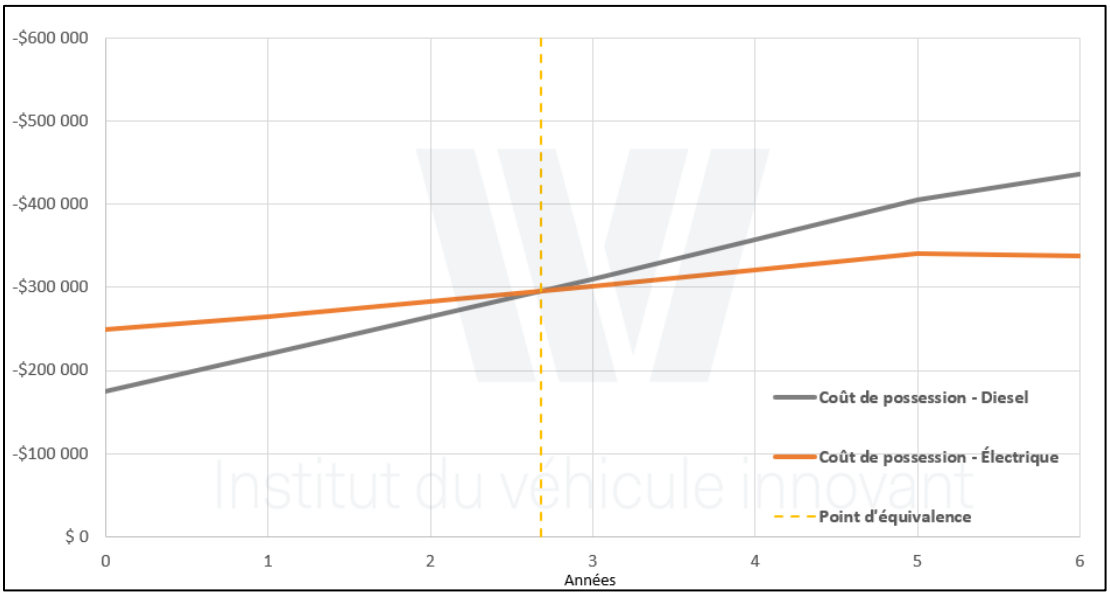
Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 6. Les bénéfices nets sont calculés sur une période de 6 ans, qui correspond à la période où Sleeman garde leur camion. Il est important de préciser que les calculs ont été faits sur la base d'un achat et non d'une location.

Tableau 6: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 223177

Coût annuel de carburant avant électrification	33 246 $
Coût annuel d'électricité	7 071 $
Économie annuelle de coûts d'énergie	26 175 $
Surcoût total à l'achat (après subventions)	75 000 $
Période de retour sur investissement	**2,7 années**
Bénéfice net après 6 ans	**97 414 $**

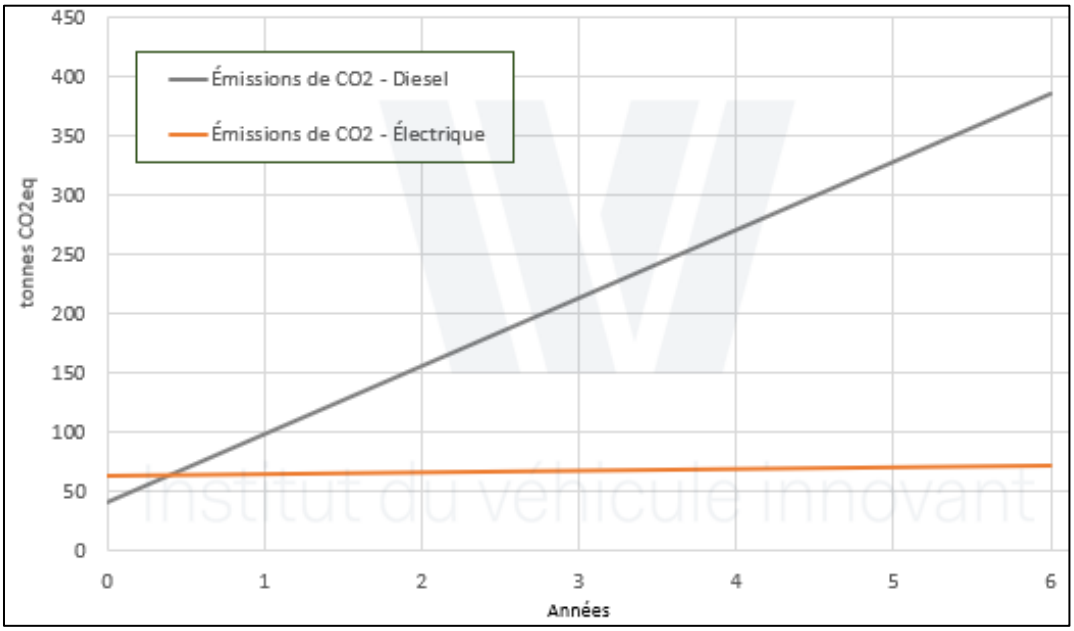
Sur une période de 6 ans, les coûts du camion au diesel s'élèveraient au-delà de 435 869 $ tandis que pour un véhicule électrique, les coûts seraient aux alentours de 338 456 $. Ces simulations tiennent compte des incitatifs actuels, de l'inflation, de la maintenance des camions, de l'énergie et de la puissance, du coût de la borne et de son installation et de son entretien. Le coût du diesel considéré est 2,00 $/L et le coût de l'électricité est fixé à 0,12 $/kWh.

Graphique 8 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 223177



Il est possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté au graphique ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 313 tonnes de CO2 équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 14 334 km ou encore 0,4 année. Ces valeurs sont obtenues grâce à 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 9: Émission sur la vie du camion 223177, Diesel vs. Électrique



Camion # 223177

Freightliner New Cascadia – 2019 | Tracteur Classe 8– PNB 36 364 kg

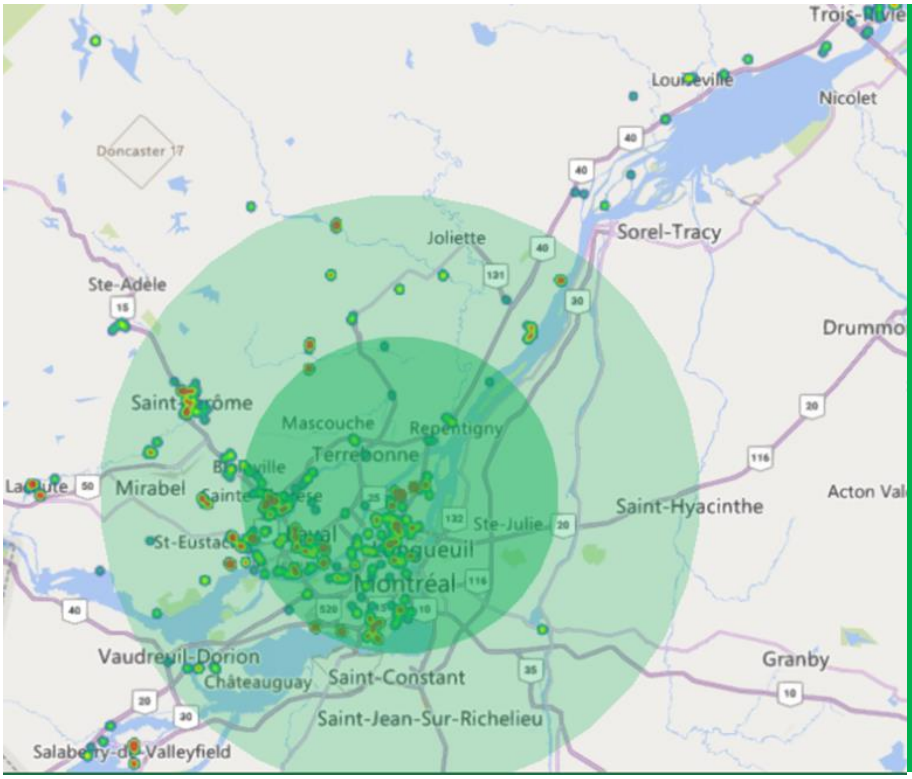
Le camion 223177 a un bon potentiel d'électrification. Ses routes sont courtes, et il est possible de couvrir toutes ses opérations avec une batterie et une borne de recharge raisonnables. De plus, la rentabilité et la réduction des émissions de GES sont très intéressantes.

Il est intéressant de noter une différence de 47 kWh recommandés entre le scénario qui répond à 85 % des journées et le scénario qui répond à 90 % des journées. Cet écart important est intéressant pour le gestionnaire de flotte, car en réduisant de très peu la distance de certains trajets ou en réduisant le pourcentage de journée annuelle effectué par le camion électrique de 5 %, il serait possible de réduire considérablement la batterie requise et par conséquent les coûts monétaire et environnemental de celle-ci. De plus, il serait possible d'effectuer cette réduction si les routes des mercredis, en janvier et février, quand il fait en bas de -20°C sont remplacées par un camion diesel.

9. Analyse du camion 183215

Le camion au diesel #183215 est utilisé pour effectuer des livraisons dans les épiceries et dans les dépanneurs.

La carte suivante permet de visualiser la fréquence des arrêts à différents endroits.



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

Le véhicule 183215 se déplace majoritairement dans la région métropolitaine de Montréal et plus précisément, sur l'est de l'île de Montréal ainsi que l'ouest des Basses-Laurentides. Ses déplacements se font surtout dans un rayon de 25 km de l'entrepôt de Sleeman.

Ce camion ne revient pas à l'entrepôt des Brasseries Sleeman durant la journée.

Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 183215 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt des Brasseries Sleeman

Le dénivelé du territoire parcouru est un critère important dans l'évaluation de la consommation d'énergie. L'indice de côte du camion 183215 indique qu'il parcourt majoritairement des routes plates. Ceci est cohérent puisqu'il se déplace majoritairement sur l'île de Montréal.

Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 1,6 mètres pour chaque kilomètre parcouru.

Le détail des distances parcourues chaque jour de l'analyse 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 183215

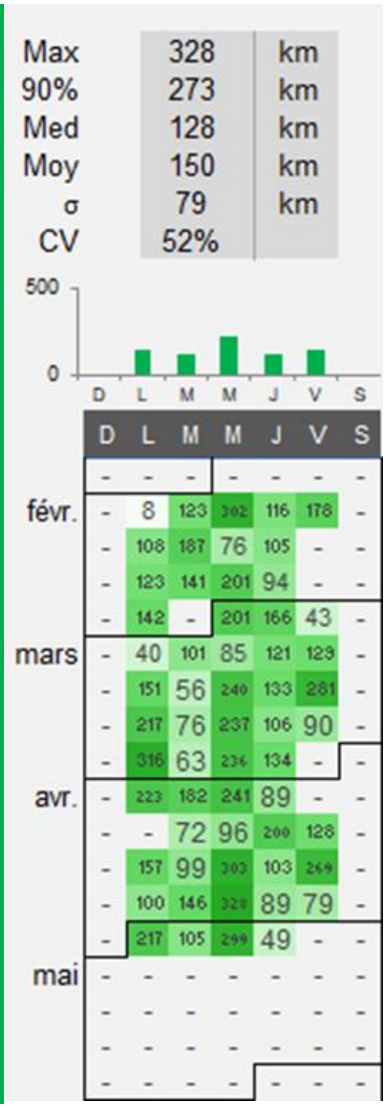
Dans la première section du tableau 7, il est possible de constater que le 90e percentile est plutôt élevé, soit 273 km. Cependant, le kilométrage quotidien moyen est faible à seulement 150 km.

Dans le graphique à bande, il est possible de voir que le camion ne circule pas les samedi et dimanche.

Le calendrier représente bien l'étendue des données. Le camion 183215 ne semble pas avoir de routes constantes.

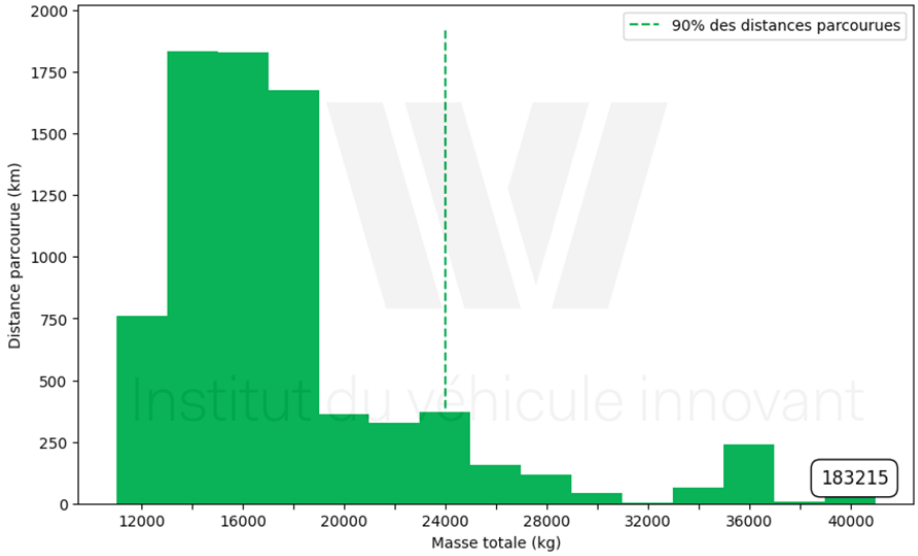
Tout comme le camion 223177, il est important de noter que les routes sont susceptibles de changer toutes les 12 semaines.

Il est également important de noter que les mercredis, le camion parcourt des distances beaucoup plus importantes. Ce facteur sera étudié dans la *section scénario d'électrification* de ce camion.



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 suivant résume le chargement typiquement transporté.

Graphique 10: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 183215



Il est possible de voir sur le Graphique 10 que le camion 183215 circule majoritairement avec une remorque vide. Il distribue son chargement progressivement au cours de la journée. Plus de 90 % des distances parcourues durant la période d'analyse ont été faits avec une masse totale inférieure à 24 000 kg.

Il est important de noter qu'un camion électrique aura une masse totale supérieure à un camion diesel dû à la masse additionnelle des batteries. Cela ne devrait pas être un problème pour la majorité des déplacements de ce camion puisque sa masse moyenne est très loin de son PNB (poids nominal brut).

Cependant, il est important de noter quand date de l'écriture de ce rapport, il ne serait pas possible pour ce camion d'effectuer les chargements supérieurs à 32 0000 kg. Ce critère est établi par le poids supplémentaire des batteries et le fait que les manufacturiers n'offrent pas présentement la possibilité de charger au-delà de 80 000 lb, soit 36 364 kg.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 183215 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 183215

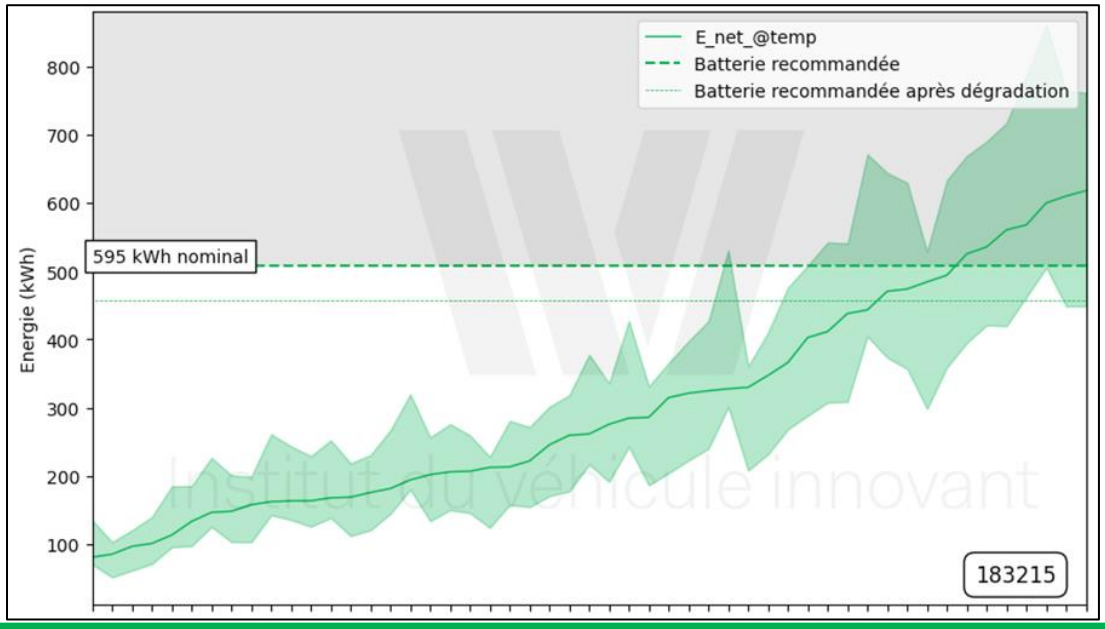
Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	**Moyennes**	**+/-**
Constance	**Variées**	**-**
Dénivelé	**Faible**	**+**
Recharge en journée	**Non**	**-**
Chargement	**Moyen**	**-**
Accessoires	**Non**	**+**

10. Scénario d'électrification pour le camion 183215

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 11 montre la distribution de ces énergies pour chaque journée de la période d'instrumentation. Ces journées ont été réordonnées en ordre croissant de besoin énergétique quotidien. Ceci permet de mieux visualiser à quel point la configuration de batterie répondra au besoin.

Graphique 11: Journées de mesure du camion 183215, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



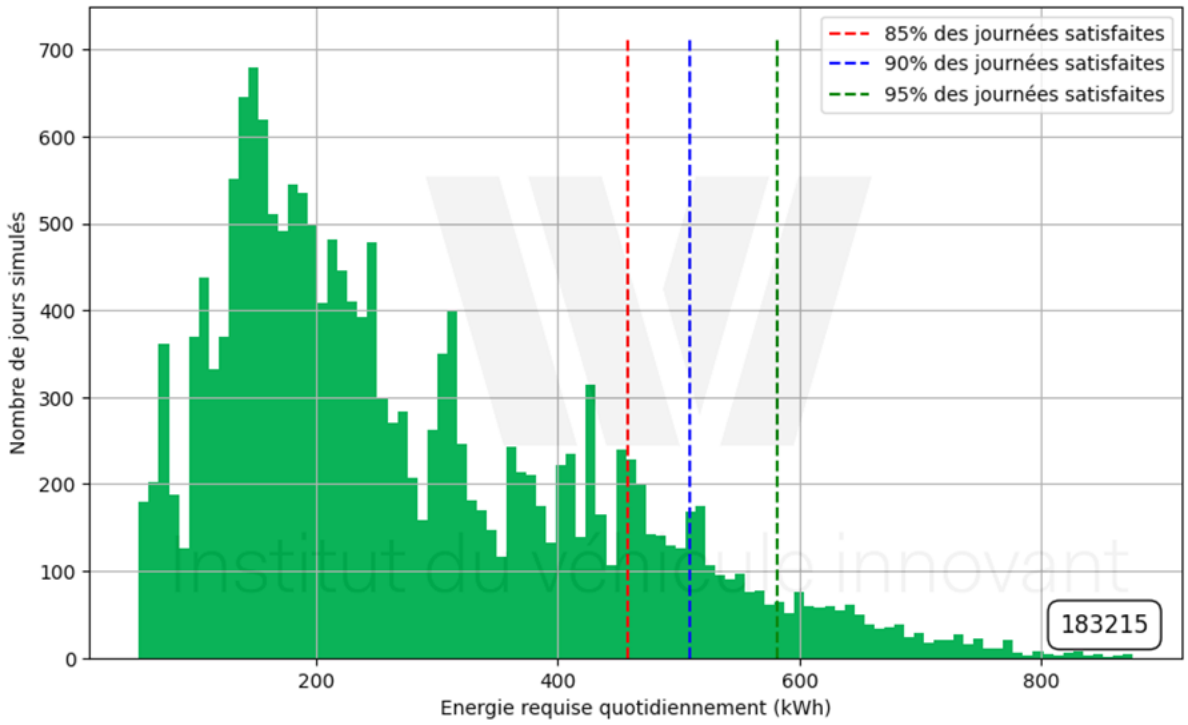
Guide d'interprétation du Graphique 11:

- 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 capacité nominale de 595 kWh disposerait de 509 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 183215 d'effectuer 90 % de ses journées.
- La zone grise représente les journées impossibles à compléter sans recharger
- 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 consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 155 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

Le Graphique 12 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 au-dessus du Graphique 6.

Graphique 12 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 183215



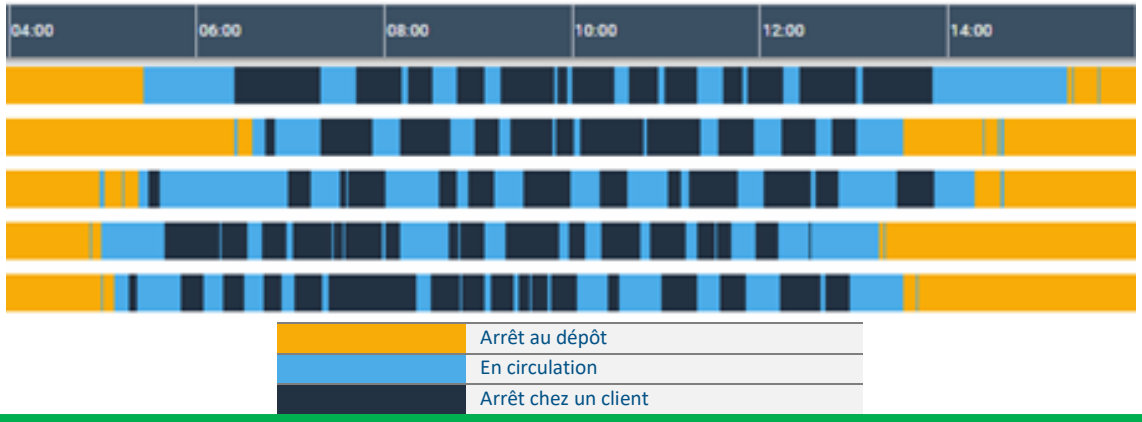
Une batterie de 595 kWh nominale permettrait alors de réaliser 90 % des journées sur une année moyenne en un seul cycle de décharge de la batterie, tandis qu'une batterie de 535 et de 680 kWh pourrait respectivement satisfaire 85 et 95 % des journées sur une année moyenne.

ⓘ Il est intéressant de noter qu'en réattribuant les routes des mercredis à un autre camion, la batterie de capacité nominale recommandée pour effectuer 90 % des journées simulées pour un an est réduite à 457 kWh. Soit une réduction d'environ 140 kWh. Un trajet similaire au trajet parcouru le reste de la semaine pourrait alors remplacer celui du mercredi.

Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classes 8 vont d'environ 250 à 650 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.

Le Graphique 13 permet de visualiser les arrêts lors d'une journée typique du camion 183215. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, 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. La semaine représentée est celle du 17 au 21 mai.

Graphique 13 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 183215



On observe que le camion 183215 circule majoritairement entre 4h30 du matin et 15h00 de l'après-midi. Il est important de noter que le camion passe la nuit à l'entrepôt des Brasseries Sleeman. Le chargement du camion ce fait entre 22h00 et 5h00.

Durant une journée typique, le camion est arrêté entre 13 h et 14 h à l'entrepôt de Sleeman.

Une puissance de 50 kW est généralement considérée comme le standard minimal pour un camion lourd. Cette borne fournira une puissance réelle au véhicule d'environ 45 kW. Comme pour les batteries, la stratégie consiste à sélectionner la borne de recharge la moins puissante qui réponde aux besoins.

En multipliant la puissance par le nombre d'heures, on arrive à l'énergie ajoutée quotidiennement. Celle-ci serait donc d'au moins 585 kWh (13 h * 45 kW). Cette valeur est suffisante pour effectuer une charge complète.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 183215 seraient donc les suivants :

Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 183215

Capacité de la batterie embarquée	595 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 50 kW
90 % des opérations remplies ?	Oui

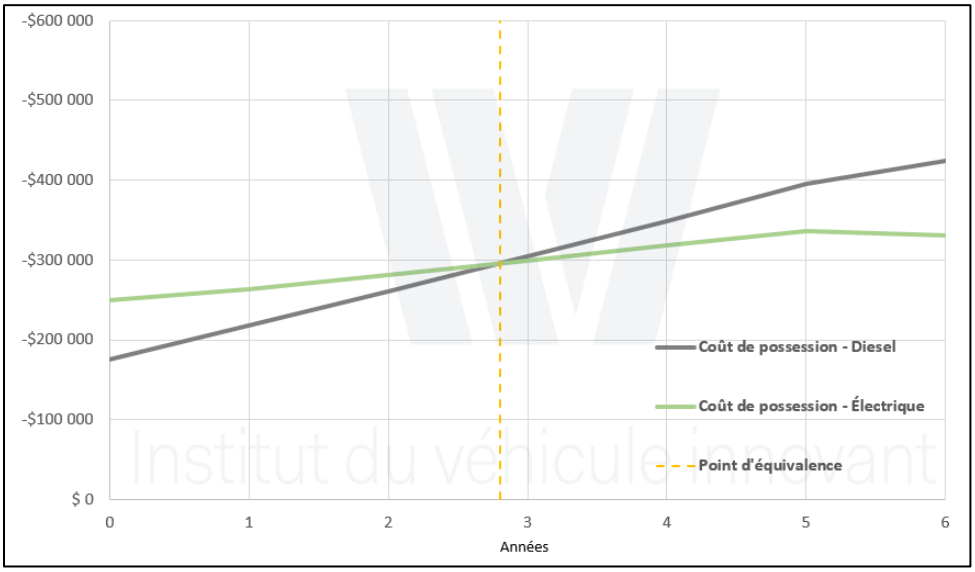
Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 10. Les bénéfices ont été comptabilisés sur une période de 6 ans, puisque cette période correspond au nombre d'années que les Brasseries Sleeman gardent leurs camions.

Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 183215

Coût annuel de carburant avant électrification	31 358 $
Coût annuel d'électricité	6 779 $
Économie annuelle de coûts d'énergie	24 579 $
Surcoût total à l'achat (après subventions)	75 000 $
Période de retour sur investissement	**2,9 années**
Bénéfice net après 6 ans	**90 741 $**

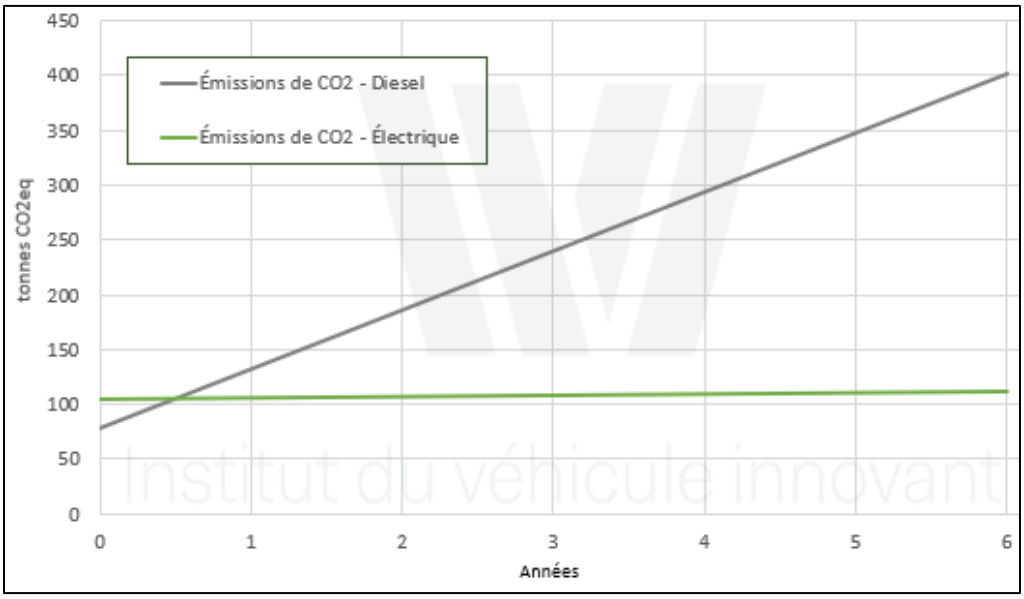
Sur une période de 6 ans, le véhicule électrique aurait un coût total de 333 066 $ tandis que le véhicule au diesel aurait un coût de 423 807 $, soit un surcoût de 21 %. Ces simulations tiennent compte des incitatifs actuels, de l'inflation, de la maintenance des camions, de l'énergie et de la puissance, du coût de la borne et de son installation et de son entretien. Le coût du diesel considéré est 2.00 $/L et le coût de l'électricité est fixé à 0.12 $/kWh.

Graphique 14 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 183215



Il est possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté au graphique ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 289 tonnes de CO2 équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 17 930 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-électriques.

Graphique 15: Émission sur la vie du camion 183215, Diesel vs. Électrique



Le camion 183215 démontre un potentiel d'électrification. C'est-à-dire que l'IVI recommande son électrification puisque la batterie recommandée est dans l'intervalle des batteries disponibles sur le marché. Un gain environnemental important ainsi qu'un gain monétaire sont possibles.

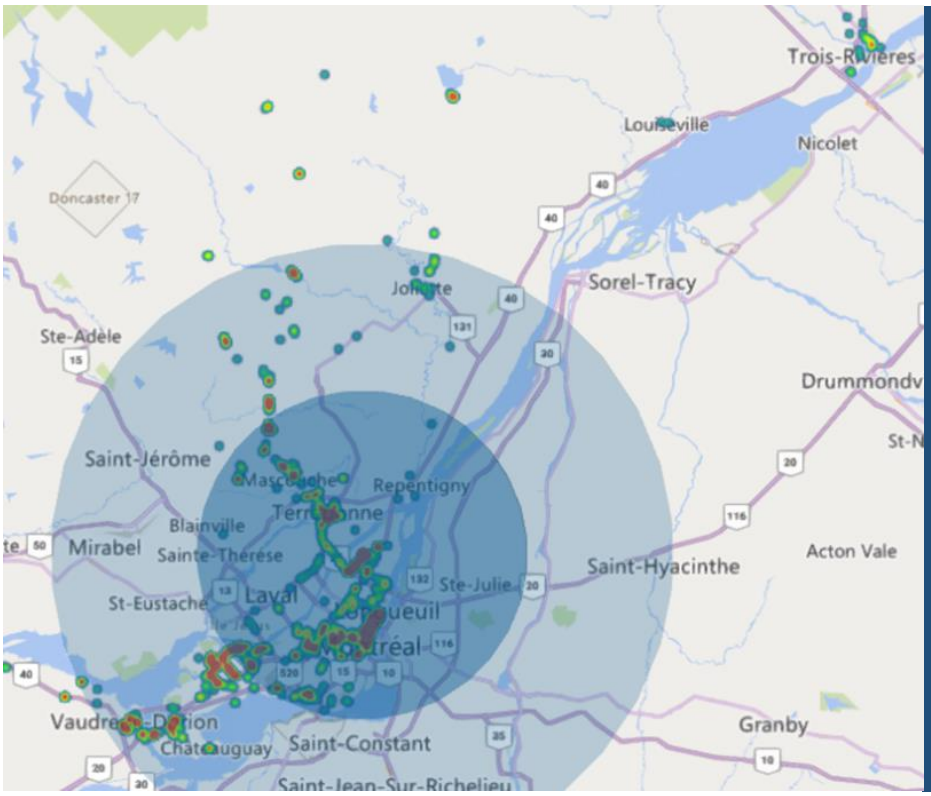
⚠ Cependant, la capacité de batterie nécessaire pour y arriver est à la limite de ce qui est actuellement disponible dans les catalogues des manufacturiers.

L'IVI suggère de regarder s'il serait possible de modifier les déplacements faits par le camion les mercredis. En remplaçant les trajets effectués les mercredis, il est possible de diminuer la capacité nominale requise de la batterie de 140 kWh pour atteindre une taille de 457 kWh. Celle-ci permettrait un plus grand gain monétaire, environnemental et un plus grand choix de camions disponibles sur le marché actuellement.

11. Analyse du camion 443448

Le camion 443448 est majoritairement utilisé pour effectuer des livraisons dans les dépanneurs et les restaurants sur l'île de Montréal, en Montérégie et dans Lanaudière.

La carte suivante permet de visualiser la fréquence des arrêts à différents endroits.



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

Le camion 443448 circule majoritairement dans 5 zones, soit les suivantes : centre-ville de Montréal, Anjou, Ouest-de-l'Île, Montérégie Ouest, Rive-Nord (est). Il est possible de constater que la majorité des arrêts se situe dans un rayon de 50 km de l'entrepôt des Brasseries Sleeman. Le camion a également fait quelques arrêts à Trois-Rivières.

Ce camion ne revient pas à l'entrepôt des Brasseries Sleeman durant la journée.

Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 443448 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt des Brasseries Sleeman

Le dénivelé du territoire parcouru est un critère important dans l'évaluation de la consommation d'énergie. L'indice de côte du camion 443448 indique qu'il parcourt majoritairement des routes plates. Ceci est cohérent puisqu'il se déplace majoritairement sur l'île de Montréal.

Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 1,9 mètre pour chaque kilomètre parcouru.

Camion # 443448

Freightliner M2 112 – 2022 | Tracteur Classe 8– PNB 36 364 kg

Le détail des distances parcourues chaque jour de l'analyse 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 443448

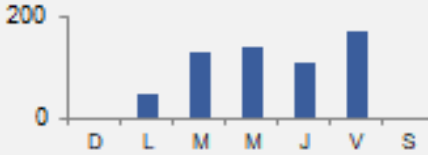
Le 90e percentile est un outil très intéressant pour le gestionnaire de flotte puisqu'il représente 90 % des déplacements quotidiens durant la période d'instrumentation. Cette valeur peut être utilisée comme étant la valeur maximale que le camion parcourt en une journée. Autrement, le camion 443448 parcourt une distance moyenne quotidienne très faible, soit de 120 km.

En regardant le graphique à bandes et le calendrier, il est possible de constater que le camion semble avoir un horaire plutôt constant chaque jour de la semaine. Le lundi le camion semble faire de courte route tandis que les routes plus longues semblent être faites les vendredis.

Les journées surlignées en gris ont été retirées de l'étude, car le camion remplaçait un autre camion de la flotte de Sleeman.

Tout comme le camion 223177, il est important de noter que les routes sont susceptibles de changer toutes les 12 semaines.

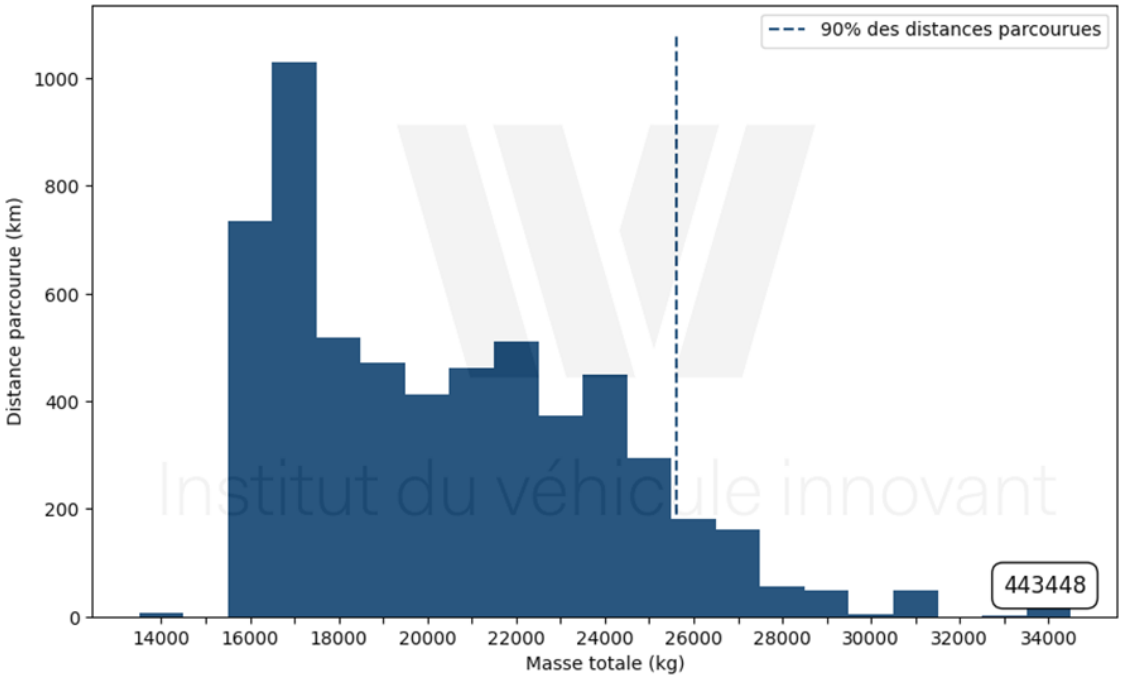
Max	292	km
90%	202	km
Med	110	km
Moy	120	km
σ	67	km
CV	56%	



	D	L	M	M	J	V	S
	-	-	-	-	-	-	-
févr.	-	28	8	-	103	162	-
	-	56	145	-	102	138	-
	-	51	103	19	49	133	-
	-	57	153	292	161	131	-
mars	-	46	204	97	109	146	-
	-	52	127	55	115	200	-
	-	49	136	247	121	222	-
	-	53	116	252	106	181	-
avr.	-	49	147	244	107	161	-
	-	-	42	140	116	64	-
	-	57	157	92	111	132	-
	-	45	89	54	104	163	-
	-	41	174	67	-	-	-
mai	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-

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 suivant résume le chargement typiquement transporté.

Graphique 16: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 443448



Le poids du camion 443448 est de 16 000 kgGraphique 6 lorsqu'il circule à vide. Les données à gauche de la ligne verticale représentent 90 % de la distance parcourue durant la période d'analyse. Donc pour ce véhicule, la masse totale est majoritairement sous les 26 000 kg, ce qui est loin du PNB d'un véhicule de classe 8.

Ceci indique que le surpoids causé par la batterie d'un camion électrique ne devrait pas influencer la

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 443448 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 443448

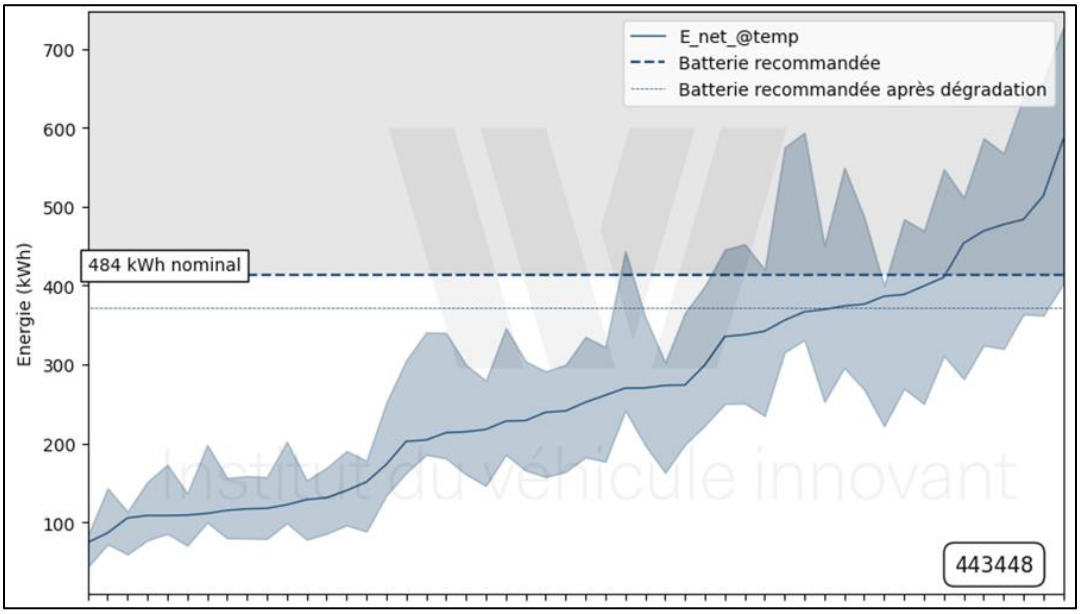
Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	**Courtes**	**+**
Constance	**Constantes**	**+**
Dénivelé	**Faible**	**+**
Recharge en journée	**Non**	**-**
Chargement	**Moyen**	**+/-**
Accessoires	**Non**	**+**

12. Scénario d'électrification pour le camion 443448

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 17 montre la distribution de ces énergies pour chaque journée de l'analyse. Ces journées ont été réordonnées en ordre croissant de besoin énergétique quotidien. Ceci permet de mieux visualiser à quel point la configuration de batterie répondra au besoin.

Graphique 17: Journées de mesure du camion 443448, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



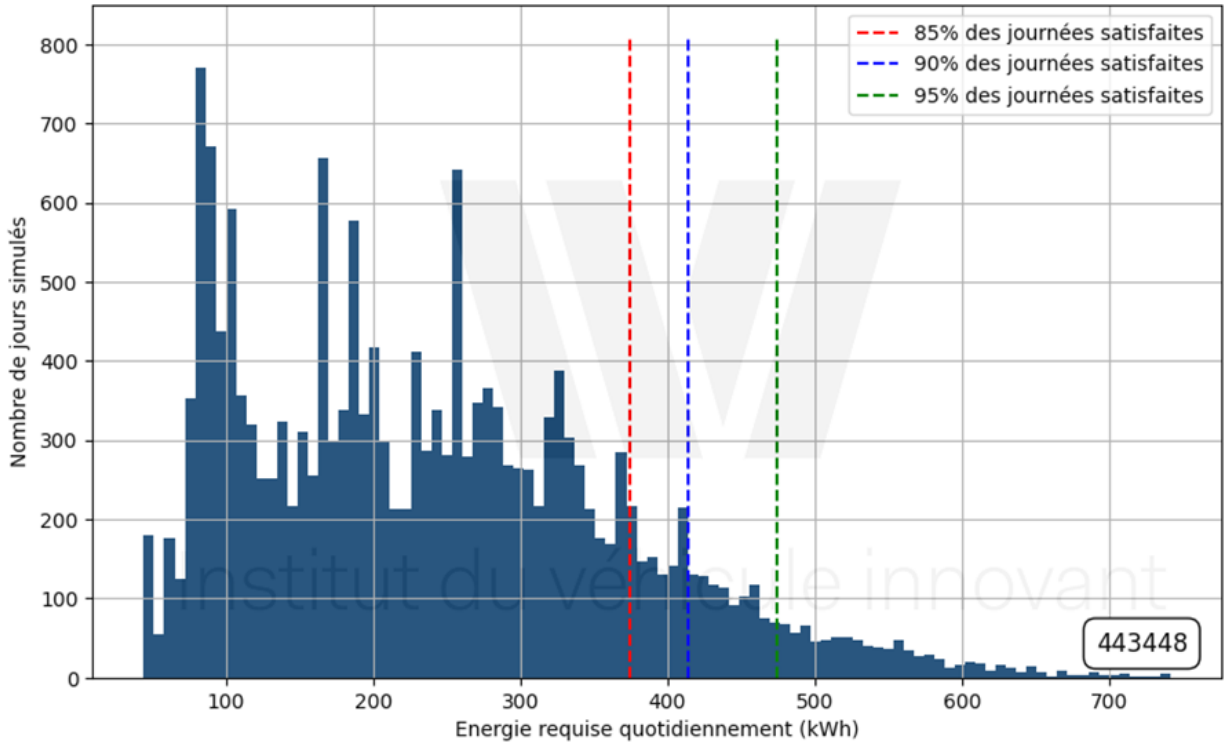
Guide d'interprétation du Graphique 17:

- 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 capacité nominale de 484 kWh disposerait de 414 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 443448 d'effectuer 90 % de ses journées.
- La zone grise représente les journées impossibles à compléter sans recharger
- 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 consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 165 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

Le Graphique 18 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 au-dessus du Graphique 6.

Graphique 18 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 443448



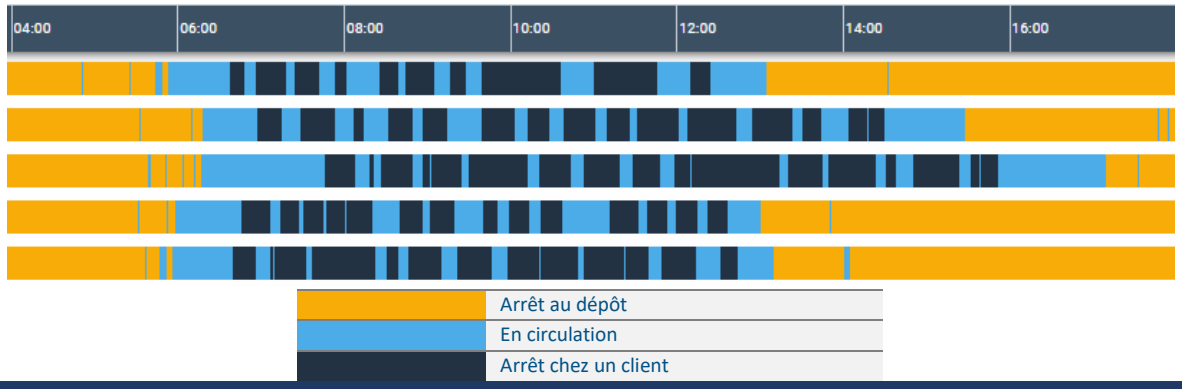
Une batterie de 484 kWh nominale permettrait alors de réaliser 90 % des journées sur une année moyenne en un seul cycle de décharge de la batterie. Pour réaliser 85 % et 95 % des journées sur une année moyenne en un seul cycle de décharge, il faudrait respectivement 438 et 555 kWh de capacité totale.

Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classes 8 vont d'environ 250 à 650 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.

Le Graphique 19Graphique 7 permet de visualiser les arrêts lors d'une journée typique du camion 443448. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, 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. La semaine représentée est celle du 27 février au 3 mars 2023.

Graphique 19 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 443448



Il est possible d'observer que le camion fait plusieurs arrêts de courte durée durant sa journée. Il part le matin vers 5 h 30 – 6 h et il revient entre 15 h 30 et 16 h 30 à l'entrepôt des Brasseries Sleeman. Il est arrêté à l'entrepôt durant la nuit pour une période de 13-15h. Durant cette période, le camion est chargé pour ses livraisons du lendemain.

Une puissance de 50 kW est généralement considérée comme le standard minimal pour un camion lourd. Cette borne fournira une puissance réelle au véhicule d'environ 45 kW. Comme pour les batteries, la stratégie consiste à sélectionner la borne de recharge la moins puissante qui réponde aux besoins.

En multipliant la puissance par le nombre d'heures, on arrive à l'énergie ajoutée quotidiennement. Celle-ci serait donc d'au moins 585 kWh (13 h * 45 kW). Cette valeur est plus que suffisante pour effectuer une charge complète.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 443448 seraient donc les suivants :

Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 443448

Capacité de la batterie embarquée	484 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 50 kW
90 % des opérations remplies ?	Oui

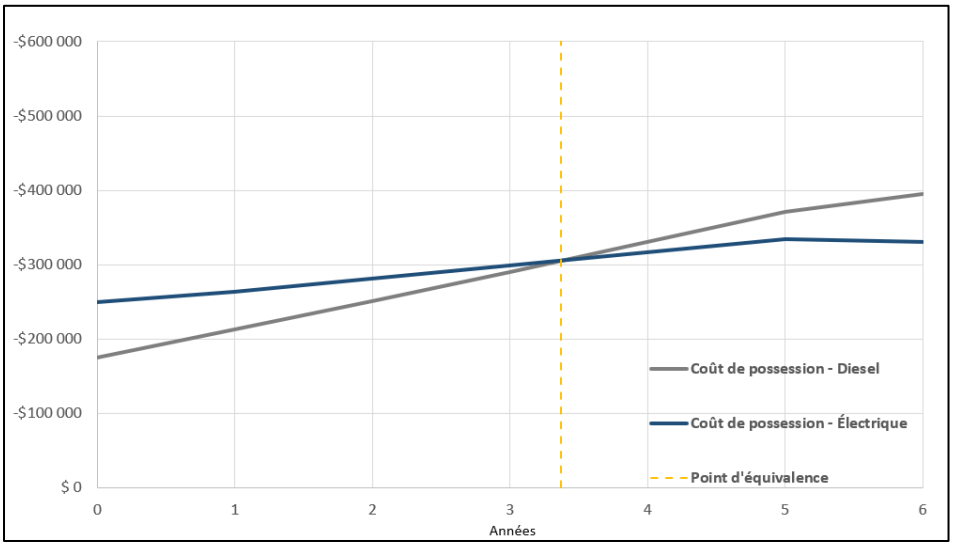
Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 14.Tout comme les deux autres camions, les bénéfices nets sont calculés sur une période de 6 ans, qui correspond à la période où Sleeman garde leur camion.

Tableau 14: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 443448

Coût annuel de carburant avant électrification	26 746 $
Coût annuel d'électricité	5 962 $
Économie annuelle de coûts d'énergie	20 784 $
Surcoût total à l'achat (après subventions)	75 000 $
Période de retour sur investissement	**3,4 années**
Bénéfice net après 6 ans	**63 793 $**

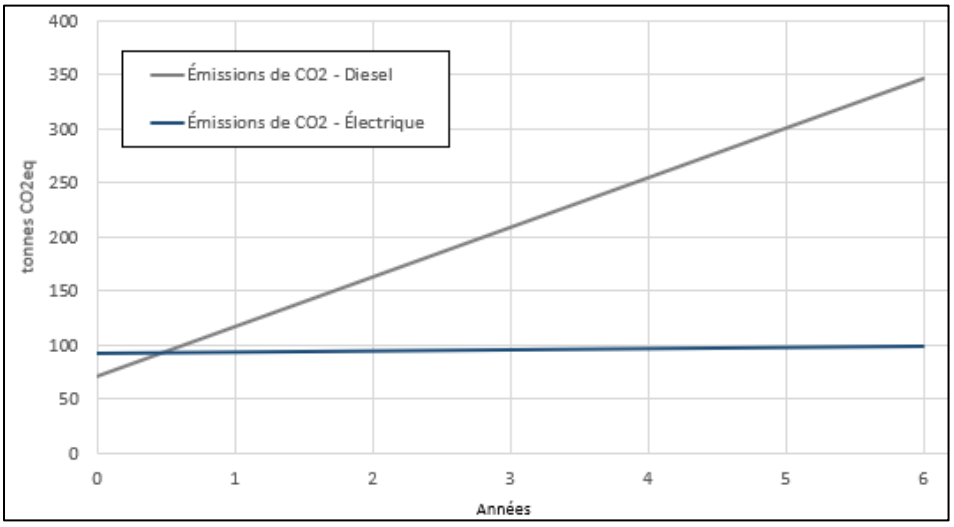
Sur une période de 6 ans, les coûts de possessions du camion électrique égaliseraient ceux du camion diesel après 3,4 années. Ces simulations tiennent compte des incitatifs actuels, de l'inflation, de la maintenance des camions, de l'énergie et de la puissance, du coût de la borne et de son installation et de son entretien. Le coût du diesel considéré est 2.00 $/L et le coût de l'électricité est fixé à 0.12 $/kWh.

Graphique 20 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 443448



Il est possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté au graphique ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 247 tonnes de CO2 équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 0,5 année. 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 21: Émission sur la vie du camion 443448, Diesel vs. Électrique



Camion # 443448

Freightliner M2 112 – 2022 | Tracteur Classe 8– PNB 36 364 kg

Le camion 443448 a un bon potentiel d'électrification. Ses routes sont courtes et constantes. Il est possible de couvrir toutes ses opérations avec une capacité de batterie et une puissance de borne de recharge raisonnables. De plus, la rentabilité et la réduction des émissions de GES sont très intéressantes.

13. Conclusions et recommandations

L'analyse des trois camions diesel instrumentés chez les Brasseries Sleeman 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 des Brasseries Sleeman

Véhicule	Camion 223177	Camion 183215	Camion 443448
Potentiel d'électrification (/10)	9	8	9
Recommandation d'électrification de l'IVI	Oui	Oui	Oui
Capacité totale de batterie requise pour effectuer 85 % des déplacements	451 kWh	536 kWh	438 kWh
Capacité totale de batterie requise pour effectuer 90 % des déplacements	497 kWh	595 kWh	484 kWh
Capacité totale de batterie requise pour effectuer 95 % des déplacements	563 kWh	681 kWh	555 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 environnemental, 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, de la capacité des batteries et de la disponibilité des accessoires, amènera probablement une amélioration de ces scores avec le temps.

Dans le cas des camions 223177 et 443448, leurs caractéristiques globales sont très similaires. C'est-à-dire qu'ils font plusieurs livraisons dans la journée avec un retour à l'entrepôt le soir et ils parcourent majoritairement de courtes routes. Leur électrification est respectivement possible avec une batterie de capacité nominale de 497 et 484 kWh. Non seulement cette capacité est disponible actuellement sur le marché, mais elle permet à Sleeman de réduire considérablement l'impact environnemental de ses deux camions et de réduire ses coûts. L'IVI recommande fortement l'électrification de ces deux camions.

Pour ce qui est du camion 183215, son électrification est possible, mais la batterie nécessaire est à la limite de ce qui existe sur le marché en date de la rédaction de ce rapport. Cependant, en observant le trajet parcouru par ce camion, il est possible de voir que chaque mercredi le camion parcourt des routes beaucoup plus longues que le reste de la semaine. En ajustant les trajets des mercredis, il serait possible de réduire la batterie recommandée de 140 kWh, pour une batterie nominale recommandée de 457 kWh. Celle-ci permettrait de réaliser 90 % des journées de l'année. L'IVI recommande l'électrification de ce camion, mais avec une adaptation des trajets du mercredi afin de réduire la grosseur de la batterie, ce qui apporte de plus grand gain environnemental et monétaire en plus d'avoir un plus grand choix parmi les véhicules disponibles sur le marché.

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 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 des Brasseries Sleeman 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 50 kW devrait être suffisante, 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 des Brasseries Sleeman. 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 des Brasseries Sleeman 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 :