Flotte
rechargeable
Camions lourds

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

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

Date : 28 Août 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 436876 17
8. Scénario d'électrification pour le camion 436876 20
9. Analyse du camion 436352 25
10. Scénario d'électrification pour le camion 436352 28
11. Analyse du camion 436358 33
12. Scénario d'électrification pour le camion 436358 36
13. Conclusions et recommandations 41
14. Sources des données 43
15. Remerciements 44

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 VA Transport..... 14
Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 436876 . 18
Tableau 4 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 436876 19
Tableau 5 : Paramètres d'électrification retenus pour le camion 436876..... 23
Tableau 6 : Bénéfices financiers de l'électrification du camion 436876 23
Tableau 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 436352 . 26
Tableau 8: Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 436352 27
Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 436352..... 30
Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 436352 31
Tableau 11 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 436358 34
Tableau 12 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 436358 35
Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 436358..... 38
Tableau 14: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 436358 39
Tableau 15: Recommandation d'électrification des camions de VA Transport 41

Liste des figures

Figure 1 : Échelle de dénivelé allant du plus petit dénivelé au plus grand 8
Figure 2 : Camions utilisés durant l'essai, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 436876, 436352 et 436358..... 13
Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 436876 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de VA Transport 17
Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 436352 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de VA Transport 25
Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 436358 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de VA Transport 33

Liste des graphiques

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion 14
Graphique 2 : Répartition des vitesses – VA Transport..... 15
Graphique 3 : Heures par jour au dépôt, sans les fins de semaine et les fériés 16
Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 436876. 19
Graphique 5: Journées de mesure du camion 436876, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)..... 20
Graphique 6 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 436876 21
Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 436876..... 22
Graphique 8: Émission sur la vie du camion 436876, Diesel vs. Électrique 24
Graphique 9: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 436352.. 27
Graphique 10: Journées de mesure du camion 436352, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)..... 28
Graphique 11 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 436352 29
Graphique 12 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 436352..... 30
Graphique 13: Émission sur la vie du camion 436352, Diesel vs. Électrique 32
Graphique 14: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 436358 35
Graphique 15: Journées de mesure du camion 436358, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)..... 36
Graphique 16 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 436358 37
Graphique 17 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 436358..... 38
Graphique 18: Émission sur la vie du camion 436358, Diesel vs. Électrique 40

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 VA Transport, à Boucherville.

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 :

Les camions roulent beaucoup : Ils ont parcouru plus de 275 km lors de 58 % des jours observés

83 % des arrêts de nuit au terminal durent 10 heures ou plus, assez pour ajouter 450 kWh avec une borne de 50 kW pour chaque camion

Camion 436876 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	**Valeur**	
Distances	**Longues**	-
Constance	**Varié**	-
Dénivelé	**Moyen**	+/-
Recharge en journée	**Non**	-
Chargement	**Léger**	+
Accessoires	**Aucun**	+

Estimation de consommation électrique en été	165 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	203 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Non
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	2001 kWh
Batterie disponible ?	Non

Camion 436352 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	**Valeur**	
Distances	**Longues**	-
Constance	**Variées**	-
Dénivelé	**Moyen**	+/-
Recharge en journée	**Oui**	+
Chargement	**Léger**	+
Accessoires	**Aucun**	+

Estimation de consommation électrique en été	145 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	171 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Non
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	866 kWh
Batterie disponible ?	Non

Camion 436358 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	**Valeur**	
Distances	**Longues**	-
Constance	**Régulier**	+
Dénivelé	**Faible**	+
Recharge en journée	**Non**	-
Chargement	**Lourd**	-
Accessoires	**Aucun**	+

Estimation de consommation électrique en été	165 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	197 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Oui
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	2054 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 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 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 effectuer la collecte de données, 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 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.

Il serait avisé d'effectuer une analyse approfondie des valeurs présentées. 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

VA Total est une entreprise spécialisée en transport de meubles et électroménagers, et d'appareils électroniques. Œuvrant dans ce domaine depuis 1978, l'entreprise de Boucherville dessert plusieurs provinces et a une présence physique au Québec, en Ontario au Nouveau-Brunswick.

L'entreprise opère deux divisions qui sont spécialisées dans le transport de ces marchandises selon le client. Ainsi, VA Transport assure les transports entre les manufacturiers et les détaillants, alors qu VA Élite effectue les livraisons à domicile pour le compte des détaillants. Ces deux divisions opèrent en charge dédiée (*TL, Truck Load*) et charge divisée (*LTL, Less Than Truckload*) respectivement.

Au total, 100 camions et 450 remorques composent la flotte de camions de VA. Pour les déplacements de marchandises entre les entrepôts éloignés, l'entreprise effectue des échanges de remorques à des entrepôts intermédiaires, permettant aux conducteurs de retourner à leur domicile à la fin de leur quart de travail. Ces transports sont parfois effectués en train routier la nuit, où un tracteur tire deux remorques.

6. Véhicules analysés

Suite aux discussions avec le gestionnaire du parc, les trois camions retenus pour l'analyse sont les unités 436876, 436352 et 436358. Les trois camions sont des tracteurs de classe 8, soit un Freightliner Cascadia et deux International LT 625.

Figure 2 : Camions utilisés durant l'essai, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 436876, 436352 et 436358

Ces camions ont été retenus, car ils répondaient aux critères généraux de sélection quant aux distances approximatives parcourues et au retour au dépôt à la fin de leur quart de travail. En effet, les trois véhicules parcourent des distances relativement courtes aux dires de VA Transport. Aussi, les camions ont des opérations différentes. Le 436876 est utilisé pour des déplacements entre les manufacturiers et détaillants. Le 436352 effectue des livraisons à domicile et des cueillettes en magasins, alors que le 436358 est utilisé de nuit, exclusivement sur une route entre deux entrepôts pour échanger des remorques Ces choix permettront à VA de mieux évaluer l'ensemble des déplacements qu'ils effectuent. Le camion 436876 est venu remplacer le 436865 originalement sélectionné, car celui-ci n'avait pas beaucoup de livraisons à effectuer.

D'autres camions de la flotte de VA Transport peuvent à l'occasion avoir des itinéraires aussi courts, ou même plus courts que les trois camions instrumentés, mais les routes varient beaucoup selon le volume de livraisons que l'entreprise doit effectuer. 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 VA Transport.

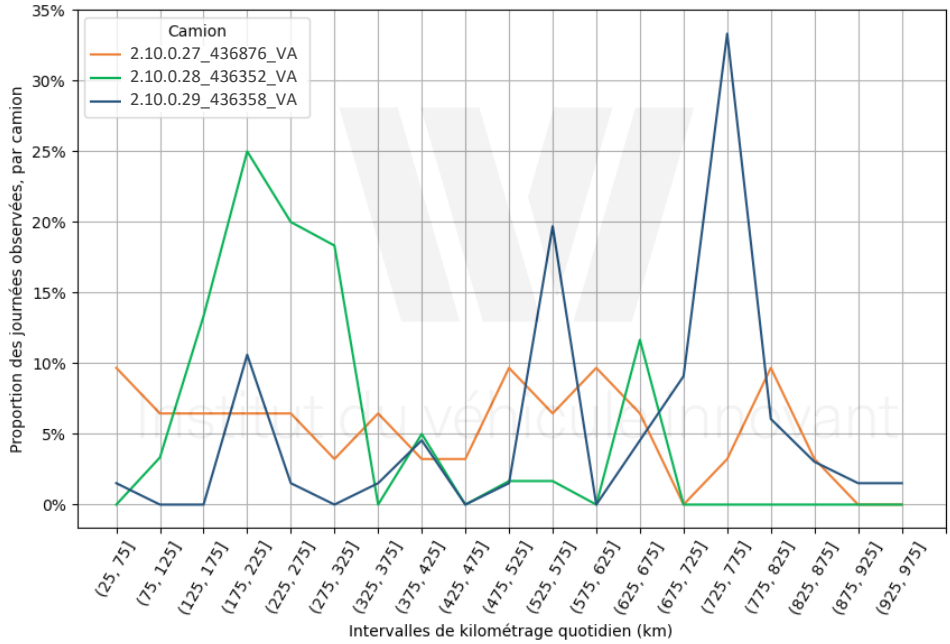
Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation des véhicules de VA Transport

Camion #	436876	436352	436358
Distance parcourue			
Durant le test	10 466 km	17 549 km	41 456 km
Annuellement (estimée)	125 591 km	70 195 km	165 826 km
Carburant			
Consommé durant le test	3 814 L	N/A	15 520 L
Consommé annuellement (estimé)	45 773 L	N/A	62 079 L
Consommation moyenne	34,7 L/100 km	N/A	37,0 L/100 km
Ralenti			
Temps par jour en moyenne	3,4 h	N/A	1,3 h
Carburant consommé au ralenti par jour	8,5 L	N/A	2,7 L
Carburant consommé par année (estimé)	2 232 L	N/A	722 L
Opérations			
Vitesse moyenne en déplacement	62,2 km/h	46,4 km/h	68,9 km/h
Nombre de jours actifs durant l'essai	22 jours	60 jours	67 jours
Masse totale moyenne pondérée	17 106 kg	15 277 kg	25 901 kg

Le Tableau 2 permet d'observer que les trois camions analysés ont roulé beaucoup. Le 436358 et le 436876 roulent tous deux à une vitesse moyenne très élevée. Le camion 436358 roule aussi avec un chargement typiquement plus lourd. Finalement, l'export des données de consommation de diesel du véhicule 436352 n'a pas fonctionné, dû à une faute de communication entre le module de télématique et le camion.

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.

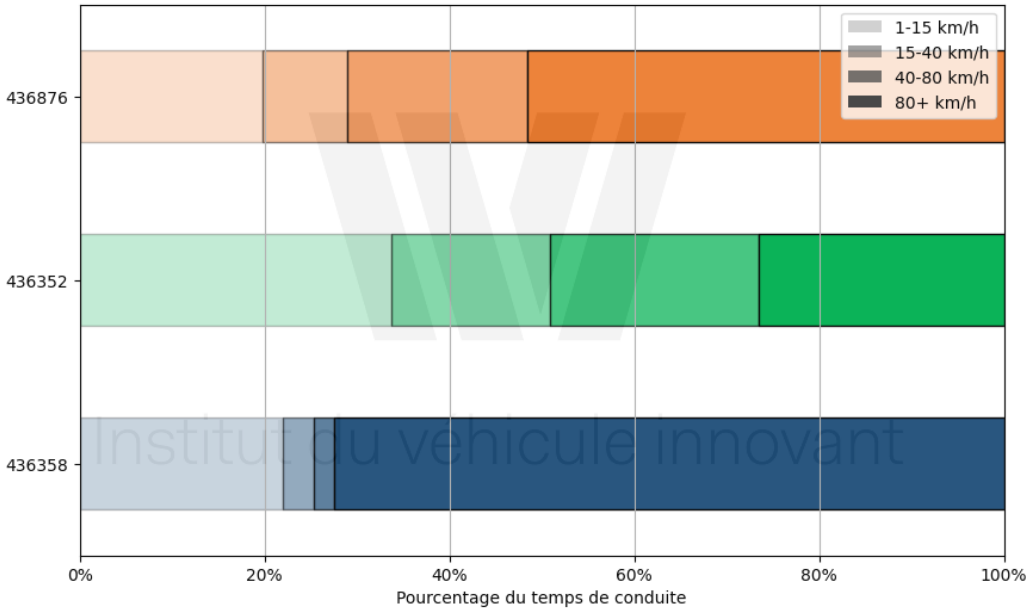
Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion



En observant le Graphique 1, on constate que le camion 436876 a autant de chances de parcourir 100 km que 900 km en une journée. Pour ce qui est du camion 436352, il parcourt généralement moins de 300 km, avec quelques journées exceptionnelles à 650 km. Le camion 436358, pour sa part, parcourt très fréquemment 750 km par jour, et assez souvent 550 km. Ces deux modes correspondent à une journée de 3 ou 2 allers-retours vers Laurier-Station, respectivement.

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.

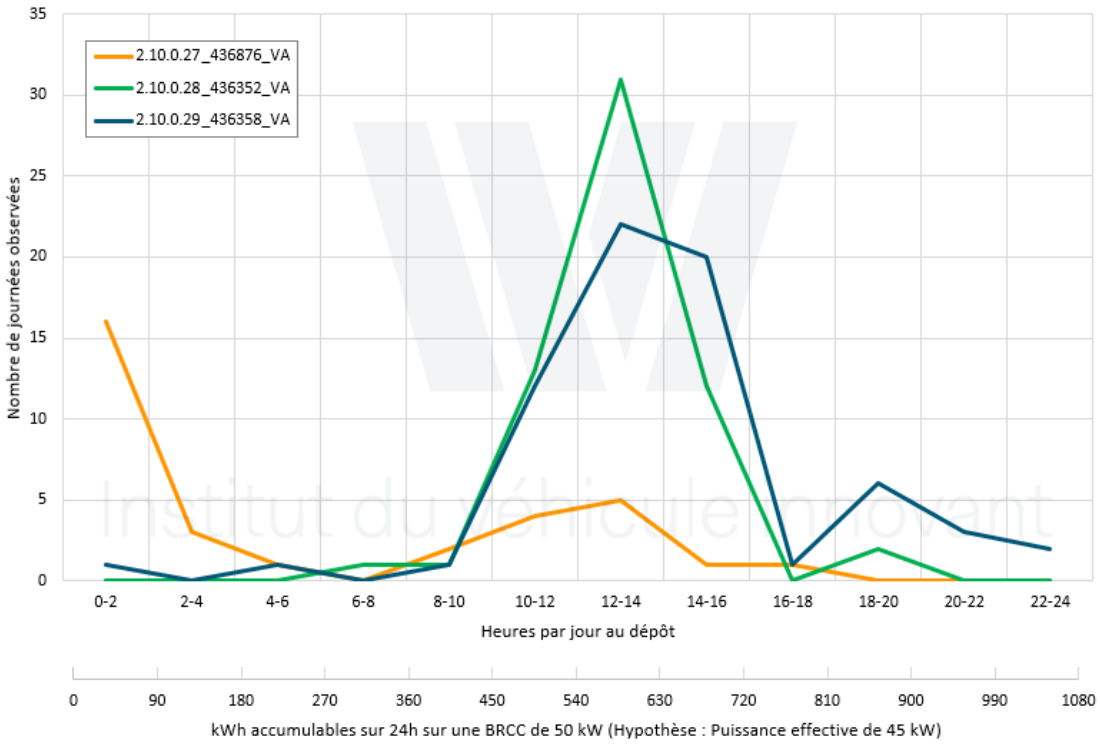
Graphique 2 : Répartition des vitesses – VA Transport



Les trois véhicules suivis ont un profil de vitesse très différents. Alors que le 436352 se déplace moins souvent à vitesse d'autoroute, le 436876 et 436358 y passent environ 51 % et 72 % du temps respectivement. Dans le cas du 436876, on comprend qu'il ne roule que sur l'autoroute, ou dans une cour.

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 camions 436352 et 436358 reviennent au dépôt de VA Transport à la fin de leur quart de travail. Ils pourraient donc disposer de cette longue période pour s'y recharger. Le Graphique 3 montre la répartition des heures passées sur le terrain de VA Transport 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, à l'aide de l'échelle additionnelle placée au 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.

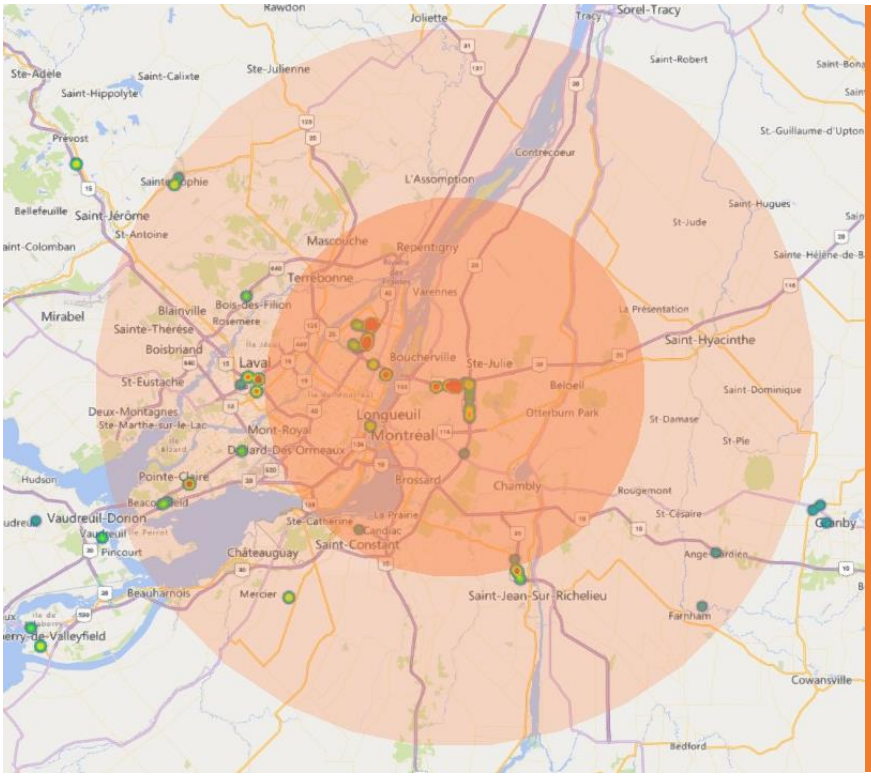
Deux des camions analysés disposent d'une durée d'arrêt au dépôt de plus de 10 heures, 96 % des jours.

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 436876

Le camion au diesel 436876 est utilisé pour livrer ou collecter à des magasins de meubles, principalement dans le Grand-Montréal mais parfois aussi loin qu'en Abitibi. Il part généralement chargé le matin puis s'allège au fil des livraisons, et termine parfois la journée par quelques cueillettes. Ses trajets sont variés d'une journée à l'autre. Il revient à l'entrepôt en fin de journée pour la nuit entière.

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 carte ci-contre montre que le camion s'arrête très souvent à Boucherville et Anjou, puis beaucoup moins fréquemment dans un rayon plus loin, en Montérégie et dans les Laurentides.

Il n'est toutefois pas possible de voir sur cette carte les arrêts fréquents effectués à Louiseville et Val-d'Or.

Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 436876 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de VA Transport

Dénivelé moyen

3,4 m/km

Le dénivelé du territoire parcouru est un critère important dans l'évaluation de la consommation d'énergie. Le camion 436876 évolue dans le grand Montréal, qui est une région peu montagneuse. Cependant, lorsqu'il effectue des voyages vers Val-d'Or cela fait augmenter son indice de côtes.

Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 3,4 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 dans 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 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 436876

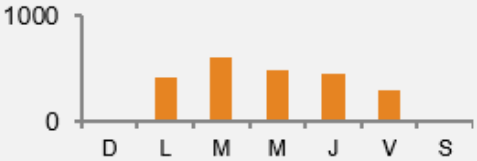
Le camion 436876 a été suivi à partir du 15 mars, en remplacement du camion 436865 qui était à l'arrêt depuis plusieurs jours. Seules ces données ont été comptabilisées. Les cases grises représentent les journées de mesure du camion 436865, de même que les mesures du camion 436876 où les mesures de chargement n'ont pas été obtenues.

Après le changement de camions, plusieurs journées se sont écoulées avant que le remplaçant du camion original se mette à rouler, ce qui réduit le nombre de journées analysées à 18 jours. Ceci est très peu, et certainement peu représentatif des déplacements typiques d'un camion sur une année complète.

Les journées restantes montrent des déplacements très élevés. Les quelques valeurs très basses font baisser la moyenne, sinon plusieurs journées de 500 km et beaucoup plus ont été observées.

Lors de la prise de mesures, le véhicule s'est fréquemment rendu à Val-d'Or et en Ontario. Ces déplacements sont donc de longues routes de conduite en continu, sans arrêts et possibilités de recharge. À certaines occasions, il a même passé la nuit à destination, rendant impossible ou difficile la recharge durant ses temps d'arrêt pendant plusieurs jours.

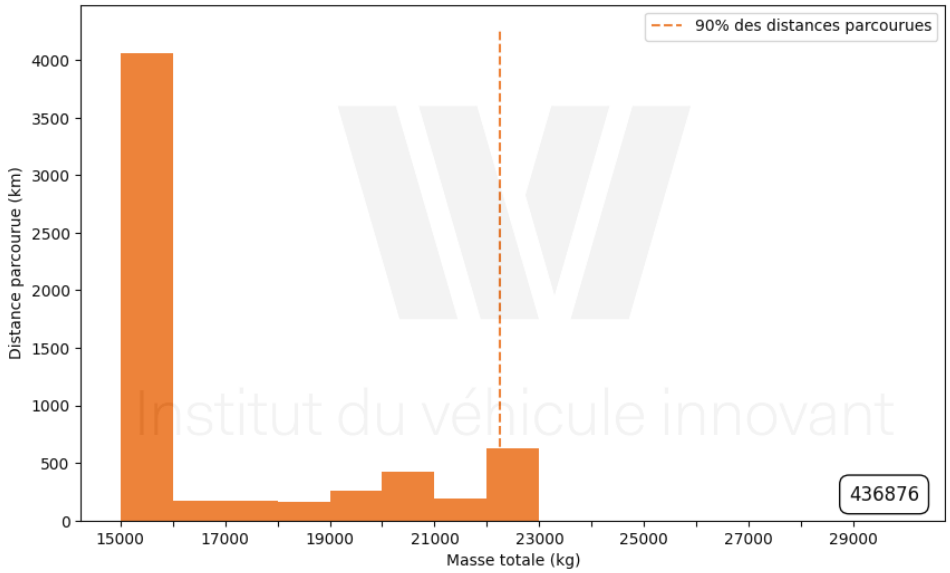
Max	1036	km
90%	804	km
Med	475	km
Moy	445	km
σ	283	km
CV	63%	



	D	L	M	M	J	V	S
	-	-	-	-	-	-	-
févr.	-	553	620	1036	489	647	-
	-	501	-	-	-	-	-
	-	160	-	-	38	202	-
	-	357	-	-	-	-	-
mars	-	-	62	-	-	-	-
	-	-	-	64	349	230	-
	-	5	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
avr.	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	731	450	517	584	-
	-	461	806	388	245	204	-
	-	727	628	819	576	99	-
	-	548	800	119	976	144	-
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 le chargement typiquement transporté.

Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 436876



Le camion 436876 a roulé près de la moitié de la distance avec un chargement très faible, de l'ordre de 1000 – 2000 kg. Les autres routes avaient un chargement variable, la masse totale du véhicule ne dépassant jamais 23 000 kg.

En considérant le poids additionnel d'un camion électrique dû à sa batterie, le véhicule serait toujours loin du poids maximal autorisé de 36 000 kg. Il n'y aurait donc aucune diminution du chargement à prévoir pour ce camion.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 436876 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 436876

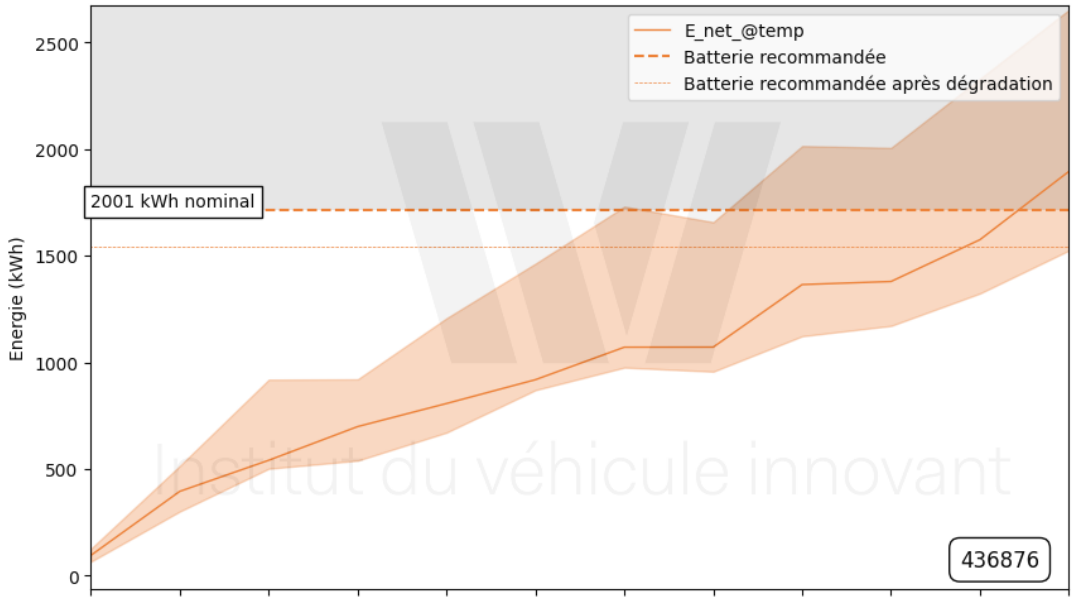
Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	**Longues**	**-**
Constance	**Varié**	**-**
Dénivelé	**Moyen**	**+/-**
Recharge en journée	**Non**	**-**
Chargement	**Léger**	**+**
Accessoires	**Aucun**	**+**

8. Scénario d'électrification pour le camion 436876

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 de l'essai. 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 436876, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



Guide d'interprétation du Graphique 5:

- La courbe orange 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 2001 kWh total disposerait de 1711 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 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.

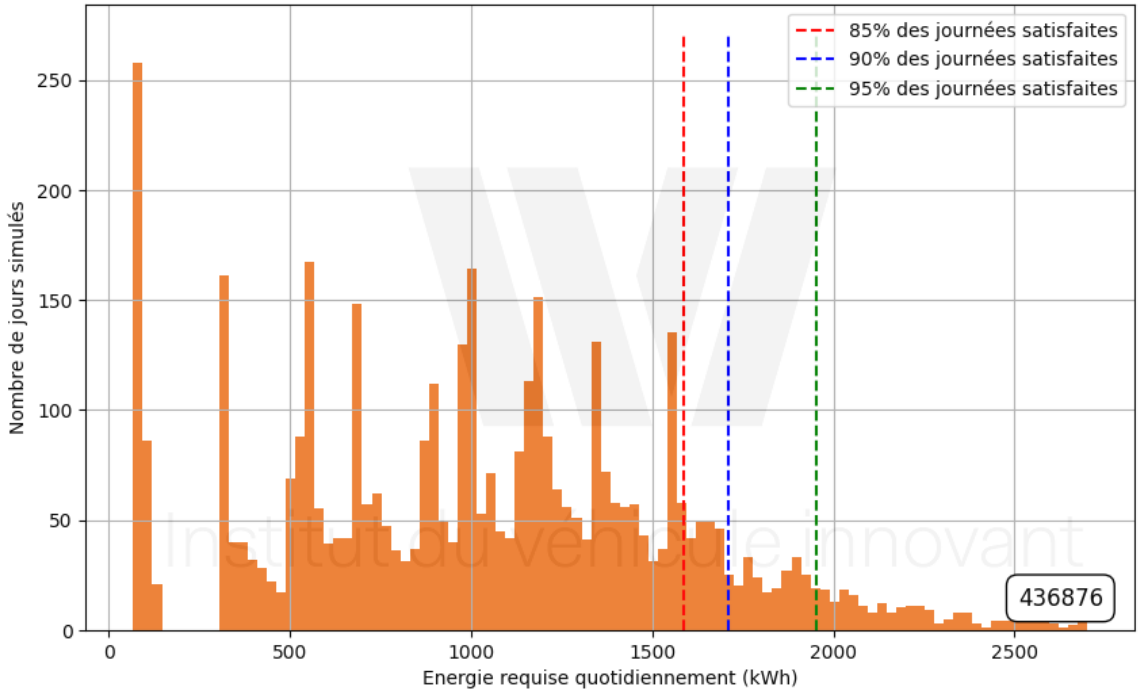
La consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 165 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

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 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 436876



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 1711 kWh, ce qui équivaut à une batterie dotée d'une énergie nominale 2001 kWh.

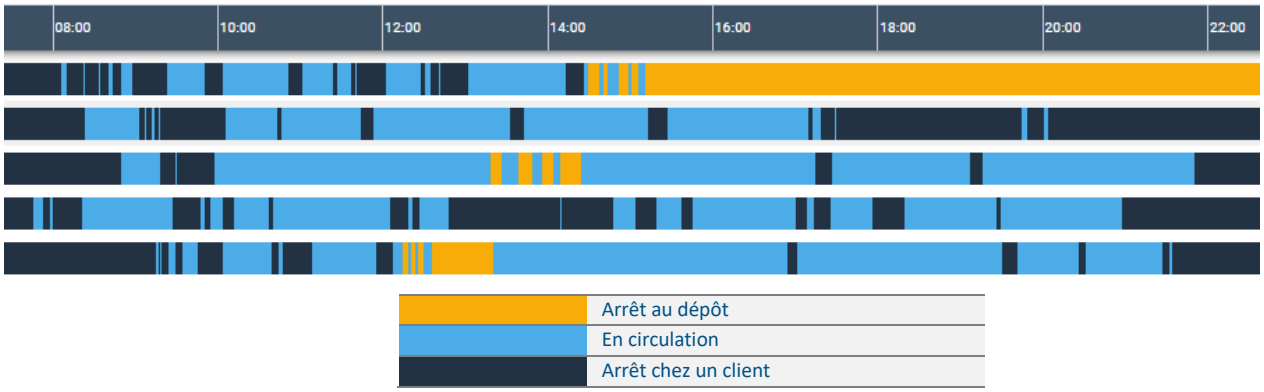
Pour compléter 95 % des journées, la capacité nominale est de 1855 kWh.

Pour compléter 85 % des journées, la capacité nominale est de 2283 kWh.

Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classe 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 436876. 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.

Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 436876



Le camion 436876 est généralement en déplacement entre 8h et 22h. Cependant il arrête très peu fréquemment au terminal de Boucherville de VA Transport, et les arrêts de nuit lors de l'analyse n'étaient pas toujours au même endroit. Il n'est donc pas possible de conclure que ces endroits seraient propices à la recharge.

La sélection d'une borne de recharge se fait en divisant le nombre de kilowattheures (kWh) utilisés par le nombre d'heures quotidiennement qui se prêtent à la recharge. Ici, le camion n'a pas d'horaire stable permettant une telle recharge. Il serait nécessaire d'ajouter des arrêts au terminal de VA Transport ou à des bornes publiques en chemin.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 436876 seraient donc les suivants :

Tableau 5 : Paramètres d'électrification retenus pour le camion 436876

Capacité de la batterie embarquée	2001 kWh
90 % des opérations remplies ?	Non

En date de la rédaction de ce rapport, aucun produit existant ne propose une batterie ayant la capacité nominale requise pour électrifier le camion 436876. La plus grosse batterie disponible sur le marché est d'environ 650 kWh, ce qui limiterait le nombre de journées possibles à compléter.

Les bénéfices financiers ne peuvent pas être calculés pour un camion inexistant. Cependant, une hypothèse sur l'économie possible du coût énergétique d'un camion avec une batterie de 2001 kWh peut être posée. Le coût du diesel considéré est 2,00 $/L et le coût de l'électricité est estimé à 0,16 $/kWh (plus élevé pour ce camion, car il nécessiterait une borne à très haute puissance) dû à l'utilisation d'une borne de haute puissance. Une économie de 301 296 $ pourrait être envisagée sur 6 ans. Il faudrait alors s'assurer que le surcoût dû à l'achat du véhicule et de l'infrastructure de recharge soit inférieur à cette économie.

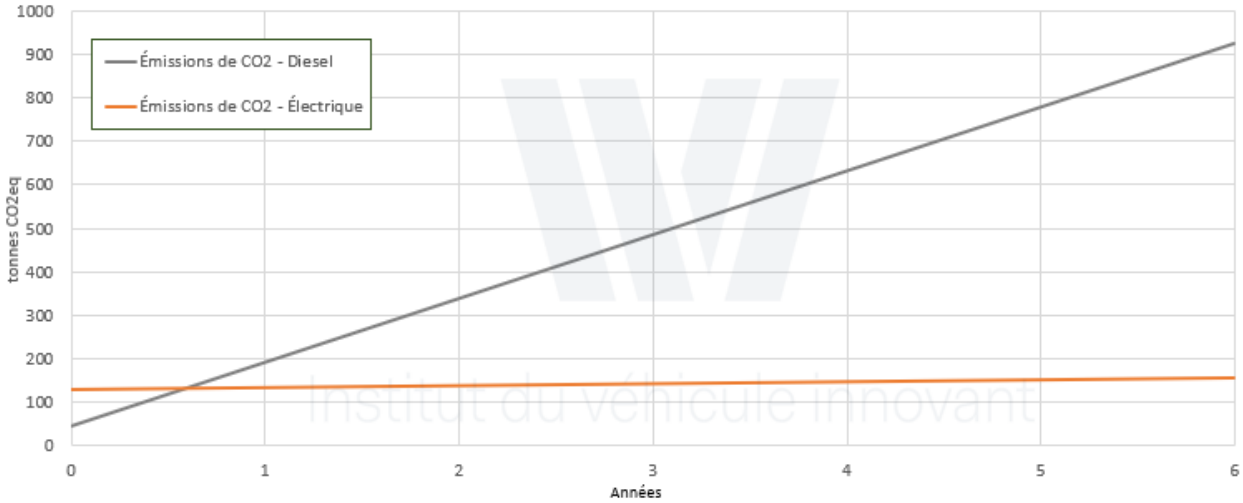
Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les économies potentielles indiquées au Tableau 6. Celles-ci sont calculées sur 6 ans, la durée sur laquelle VA Transport conservent actuellement leurs camions. Il est à noter que ces bénéfices seraient encore plus élevés sur une période de 10 ans.

Tableau 6 : Bénéfices financiers de l'électrification du camion 436876

Coût annuel de carburant avant électrification	89 346 $
Coût annuel d'électricité	39 130 $
Économie annuelle de coûts d'énergie	50 216 $
Économies possibles après 6 ans	**301 296 $**

Il est possible de calculer le bénéfice environnemental approximatif de l'électrification de cette route, même si un camion électrique répondant au besoin n'existe pas encore. Celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 766 tonnes de CO2 équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 73 527 km. Ces valeurs viennent des analyses indépendantes de l'IVI, basées sur des études de *l'International Council on Clean Transportation* (ICCT), et tiennent compte des émissions de GES de la production d'électricité par barrages hydro-électriques.

Graphique 8: Émission sur la vie du camion 436876, Diesel vs. Électrique



L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification du camion 436876 pour l'instant, puisque la taille de batterie requise n'est pas encore offerte sur le marché. De plus, celui-ci ne dispose pas de temps d'arrêts fréquents et réguliers permettant la recharge. Il serait donc nécessaire, pour électrifier ce camion, d'arrêter à des bornes publiques puissantes durant les trajets, ce qui coûterait assurément plus cher que l'installation d'une borne au dépôt de VA Transport.

9. Analyse du camion 436352

Le camion au diesel #436352 est utilisé pour faire des livraisons et cueillettes à des centres de distribution et magasins de meuble à Laval et dans les Laurentides.

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 fréquents :

Le camion 436352 fait très peu de livraisons dans un rayon de 25 km de son port d'attache. Il s'arrête plus fréquemment dans un rayon de 50 km ou juste au-delà, dans la région de Saint-Jérôme.

Il continue fréquemment sa route vers les hautes-Laurentides, jusqu'à Sainte-Agathe, Mont-Tremblant, puis Mont-Laurier et même Maniwaki (non montré sur la carte).

Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 436352 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de VA Transport

Dénivelé moyen

3,4 m/km

Les Trajets dans le grand-Montréal ne sont pas très montagneux. Cependant lorsque le camion dépasse Saint-Jérôme, ces routes ont plus de dénivelé ce qui explique que l'indice de côtes soit qualifié de « moyen ».

Il est donc à prévoir que ces dernières fassent augmenter la consommation moyenne.

Camion # 436352

International LT 625 2022 | Tracteur Classe 8– PNB 36 364 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 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 436352

Le camion 436352 présente une grande différence entre la distance moyenne parcourue en une journée, et la journée au 90e percentile. Cette dernière donnée est souvent utilisée pour estimer le potentiel d'électrification. Cependant, dans ce cas le camion semble avoir un horaire plutôt stable mais changeant de jour en jour, tel qu'illustré par le dégradé de couleurs du calendrier à droite.

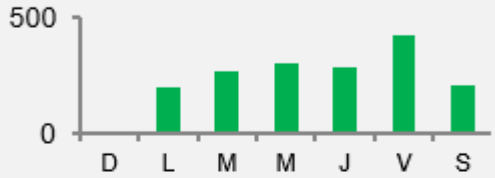
Les lundis sont ses plus courtes journées, d'une moyenne de 198 km.

Les mardis, mercredis et jeudis sont souvent semblables au lundi, mais de plus en plus ponctuées de journées particulières, celles-ci étant graduellement plus fréquentes ou plus longues.

Les vendredis sont souvent utilisés pour se rendre jusqu'à Maniwaki, ce qui explique pourquoi la moyenne de distance de ces journées est beaucoup plus élevée que les autres.

Ce véhicule semble donc avoir deux modes d'opérations possibles, soit les jours où il circule dans le Grand-Montréal et jusqu'à Saint-Jérôme, avec des journées de 150 – 300 km. Puis il y a les jours où il dépasse ce point, qui sont beaucoup plus longue. Il est possible qu'il soit avantageux de considérer de séparer ces deux modes pour créer un scénario d'électrification plus clément.

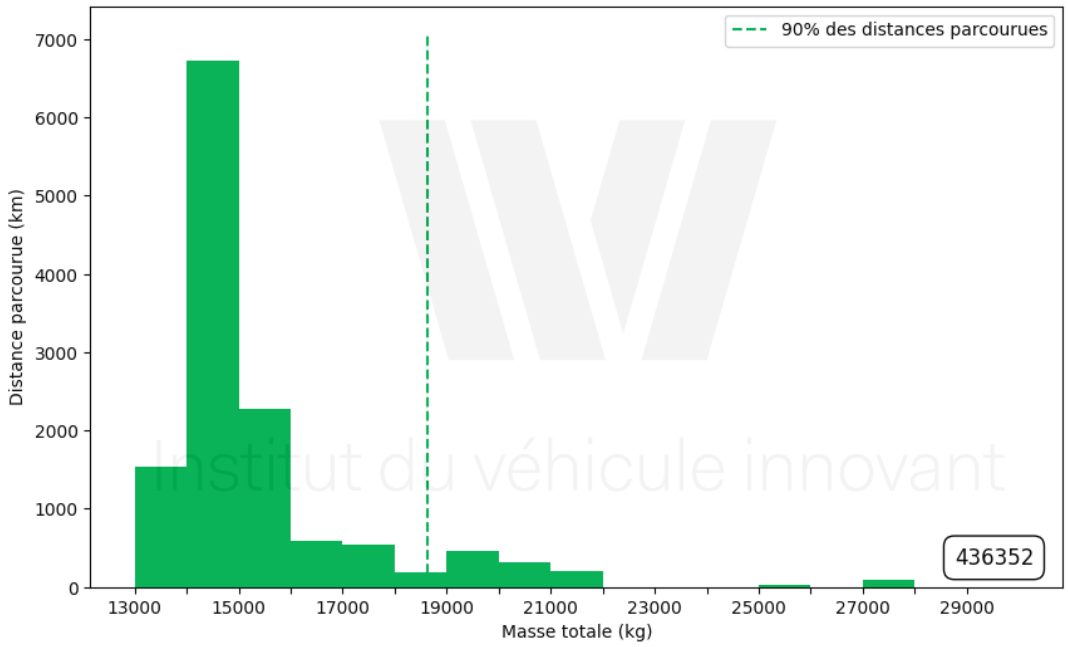
Max	675	km
90%	643	km
Med	240	km
Moy	292	km
σ	159	km
CV	54%	



	D	L	M	M	J	V	S
	-	-	-	-	-	-	-
févr.	-	154	313	154	226	642	-
	-	193	189	301	164	245	-
	-	215	296	255	226	-	-
	-	201	-	290	204	652	-
mars	-	234	405	675	303	667	-
	-	211	287	-	216	670	-
	-	203	139	227	542	195	-
	-	205	257	320	300	278	210
avr.	-	155	400	208	245	667	-
	-	-	181	176	524	164	-
	-	-	288	651	230	252	-
	-	311	275	136	418	175	-
	-	100	156	257	115	-	-
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 9: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 436352



De façon similaire au camion précédent, le poids du 436352 est souvent très bas, restant 90 % du temps à moins de 18 500 kg. Le maximum enregistré était à 28 000 kg, encore loin du PNBV permis avec une remorque deux essieux.

Le poids de ce camion contribue à une consommation peu élevée, et ne causerait aucun enjeu de limitation de chargement advenant le cas où il était remplacé par un tracteur électrique plus lourd.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 436352 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 436352

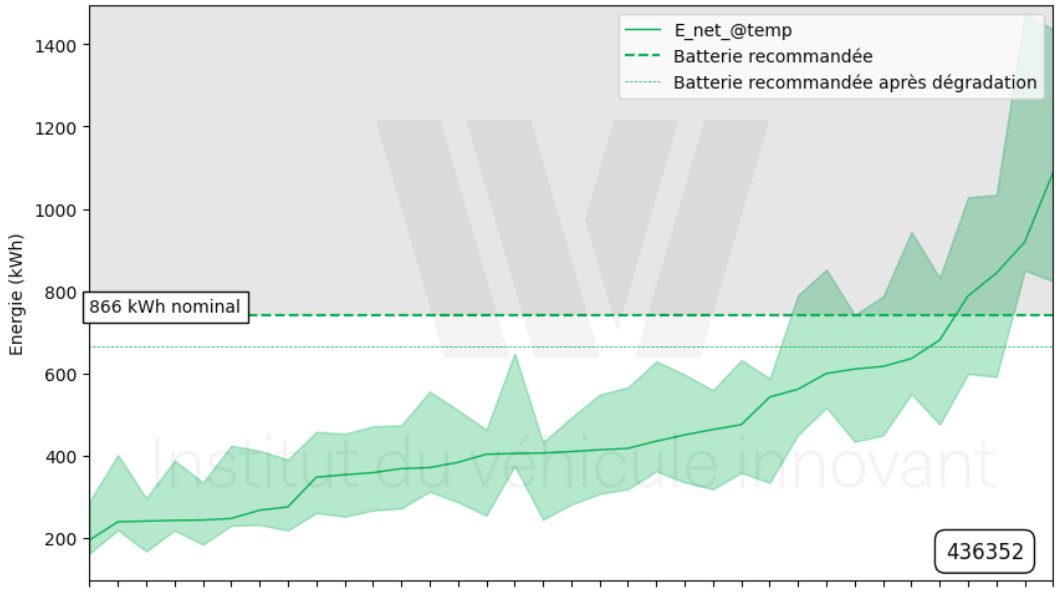
Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	**Longues**	**-**
Constance	**Variées**	**-**
Dénivelé	**Moyen**	**+/-**
Recharge en journée	**Oui**	**+**
Chargement	**Léger**	**+**
Accessoires	**Aucun**	**+**

10. Scénario d'électrification pour le camion 436352

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 10 montre la distribution des énergies pour chaque journée de l'essai. Celles-ci ont été replacées en ordre croissant, et les journées où le camion s'est rendu jusqu'à Maniwaki ont été retirées. Ceci permet de visualiser à quel point la configuration de batterie répondra au besoin.

Graphique 10: Journées de mesure du camion 436352, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



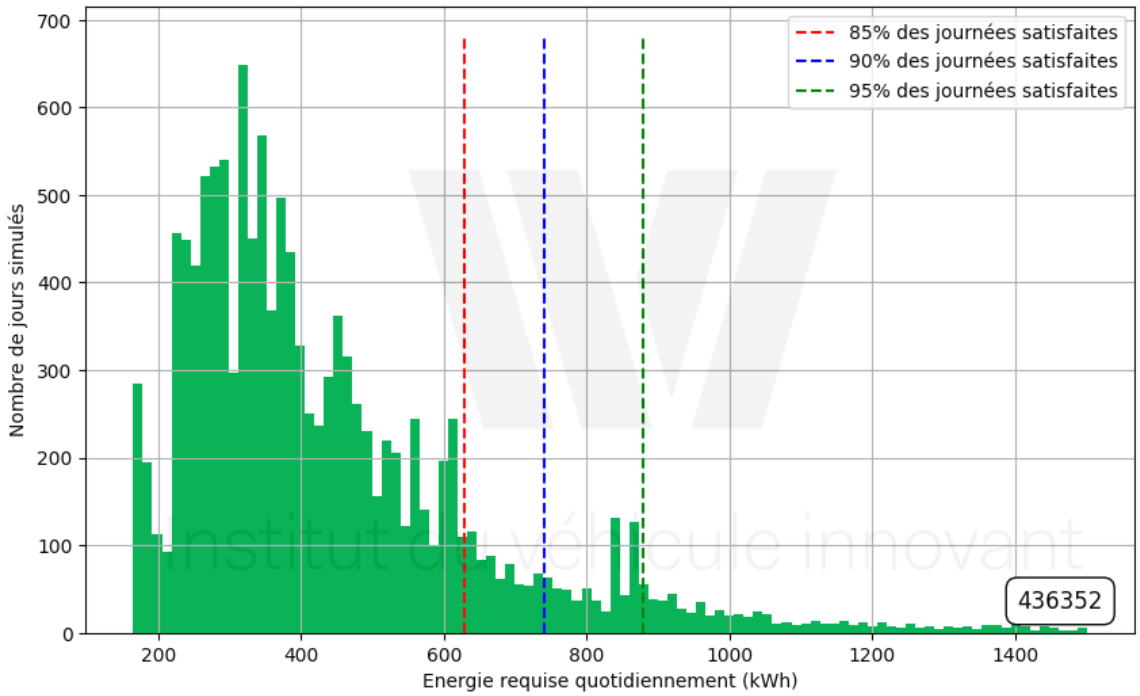
Guide d'interprétation du Graphique 10:

- La courbe verte 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 866 kWh disposerait de 740 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 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 145 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 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 11 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 436352



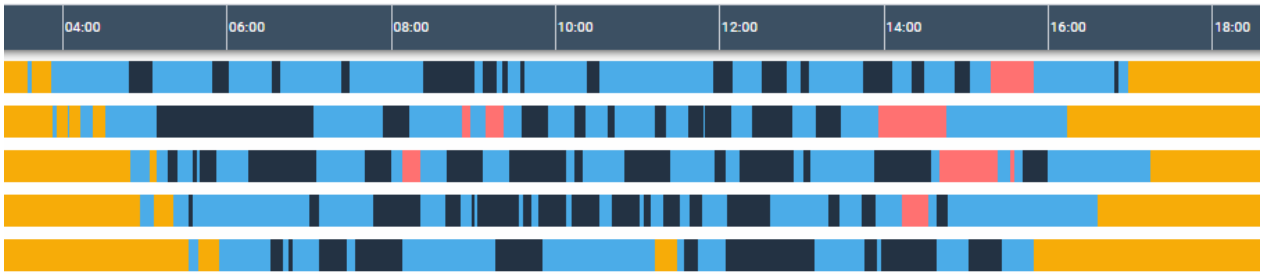
Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classe 8 vont d'environ 250 à 650 kWh. Puisque celle-ci constitue une importante partie du prix du véhicule, il est important de sélectionner la plus petite batterie qui répondra aux besoins énergétiques à long terme. À 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 12 permet de visualiser les arrêts lors d'une journée typique du camion 436352. 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.

Camion # 436352

International LT 625 2022 | Tracteur Classe 8– PNB 36 364 kg

Graphique 12 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 436352



	Arrêt au dépôt
	En circulation
	Arrêt chez un client
	Arrêt près de la borne publique pour camions lourds du Circuit Électrique sur la rue Cunard, Laval

Le camion 436352 a un horaire régulier, il roule habituellement entre 5h et 17h et il revient tous les soirs au dépôt de VA Transport.

Au début de la période d'instrumentation, il était stationné la nuit et repassait parfois durant le jour à un entrepôt de Globco à Laval, tout près d'une borne rapide publique pour camions située sur la rue Cunard, à 1,1 km de l'entrepôt. Ce lieu pourrait être utilisé pour tester la viabilité de l'électrification d'une route avant d'investir dans une infrastructure de recharge. **Il permettrait également de recharger à une puissance très élevée (jusqu'à 350 kW si le camion peut l'accepter) lors des arrêts de jour et diminuer la puissance de l'infrastructure au dépôt, minimisant ainsi le coût d'achat de la borne et de l'électricité.**

Pour mettre cette stratégie en place, il faudrait laisser la remorque à l'entrepôt pour amener le tracteur à la borne. Il faudrait également optimiser les arrêts de jour en les allongeant, en planifiant un arrêt systématique si la journée est longue ou s'il fait froid. Finalement, le moment de cet arrêt est tout aussi important car il n'est pas utile de recharger trop tôt si le camion n'a pas été suffisamment déchargé, ni trop tard s'il reste une seule livraison ou si le camion est déjà tombé en panne. Les arrêts en milieu de journée seraient donc à privilégier.

En divisant l'énergie consommée par la durée de recharge disponible, on obtient la puissance de recharge requise. Celle-ci serait donc d'au moins 740 kWh / 10 h = 74 kW. Une borne de 100 kW pourrait répondre de façon fiable à ce besoin. Cette puissance est plus élevée que le minimum généralement utilisé pour les camions lourds, et il en va de même pour les coûts associés.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 436352 seraient donc les suivants :

Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 436352

Capacité de la batterie embarquée	866 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 100 kW
90 % des opérations remplies ?	Non

Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 10, si une batterie d'une taille suffisante était disponible. Ces économies potentielles sont estimées sur une période de location de 6 ans.

Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 436352

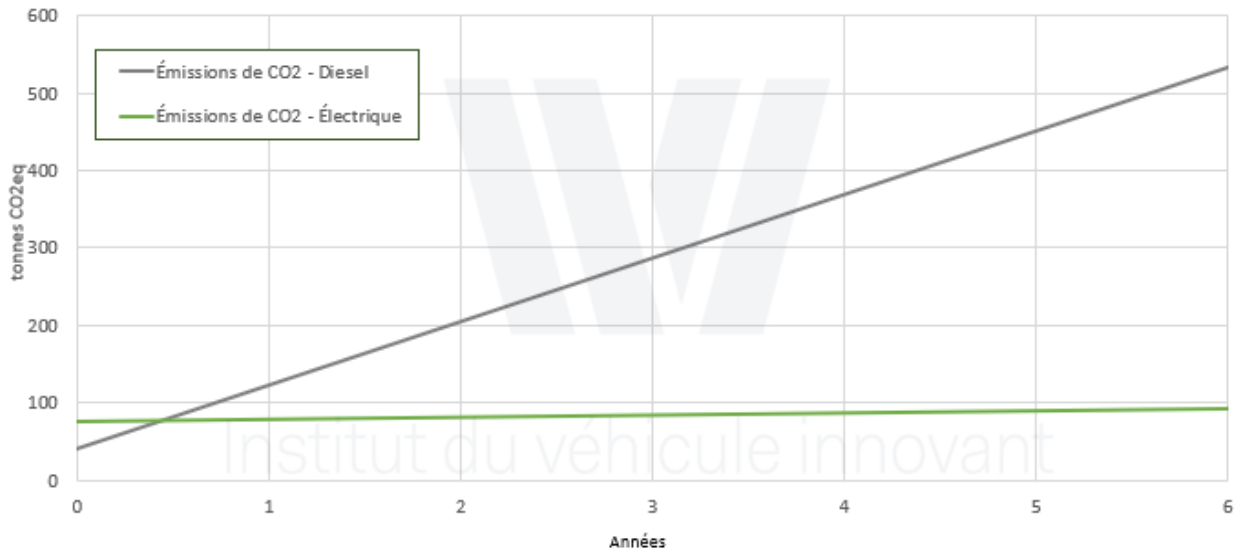
Coût annuel de carburant avant électrification	50 369 $
Coût annuel d'électricité	19 431 $
Économie annuelle de coûts d'énergie	30 938 $
Économies possibles après 6 ans	**185 628 $**

En date de la rédaction de ce rapport, aucun produit existant ne propose une batterie ayant la capacité nominale requise pour électrifier le camion 436352. La plus grosse batterie disponible sur le marché est d'environ 650 kWh, ce qui limiterait le nombre de journées possibles à compléter.

Les bénéfices financiers ne peuvent pas être calculés pour un camion inexistant. Cependant, une hypothèse sur l'économie possible du coût énergétique d'un camion avec une batterie de 866 kWh peut être posée. Le coût du diesel considéré est 2,00 $/L et le coût de l'électricité est estimé à 0,16 $/kWh (plus élevé pour ce camion, car la recharge s'effectuerait à 100 kW) dû à l'utilisation d'une borne de haute puissance. Une économie de 185 628 $ pourrait être envisagée sur 6 ans. Il faudrait alors s'assurer que le surcoût dû à l'achat du véhicule et de l'infrastructure de recharge soit inférieur à cette économie.

Il est quand même possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 442 tonnes de CO2 équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 32 221 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 13: Émission sur la vie du camion 436352, Diesel vs. Électrique



L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification du camion 436352 en considérant l'entièreté des déplacements mesurés lors de la phase d'instrumentation car ce scénario requiert trop d'énergie pour compléter les plus longues journées.

Plusieurs journées du camion se terminent après avoir parcouru moins de 200 km et son itinéraire est régulier, sauf pour ce qui est de la destination finale.

En considérant ceci, **une simulation a été réalisée pour déterminer s'il serait possible de recommander une batterie présentement offerte en limitant la route du camion** à un certain seuil, avec comme effet de devoir attitrer les longues journées à un camion diesel.

La première itération de cette simulation a consisté à **éliminer tout déplacement dont la destination est au nord de Prévost**, pour être certain de conserver une masse critique de livraisons à Saint-Jérôme qui est visité fréquemment.

Cette simulation ramène la moyenne des distances quotidiennes et le 90e percentile à 209 et 259 km respectivement, des valeurs significativement moins élevées que précédemment. À titre indicatif, la journée 90e percentile durant toute l'instrumentation était de 643 km, soit plus du double.

Le résultat de cette simulation est très encourageant, car **la capacité nominale de batterie requise pour compléter 90 % de ces trajets annuellement vers Saint-Jérôme serait de 565 kWh, soit dans la fourchette des capacités de batteries offertes en ce moment.** Ce scénario conserve 67 % des déplacements mesurés durant la période d'instrumentation, soit environ 46 000 km par année.

Dans l'éventualité où le gestionnaire de flotte était en mesure d'utiliser son camion sur cette route autant qu'actuellement, la recommandation de l'IVI deviendrait positive et ce scénario offrirait fort probablement une rentabilité intéressante.

11. Analyse du camion 436358

Le camion 436358 est utilisé pour faire des échanges de remorques pleines entre des centres de distribution. Il parcourt une seule route à répétition entre deux entrepôts à Boucherville et Laurier-Station, de nuit. Les seuls autres arrêts montrés sur la carte sont des arrêts pour le chauffeur ou pour ravitailler le camion.

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 fréquents :

Le camion 436358 s'arrête très rarement dans les rayons de 25 et 50 km de son point d'attache. Il se rend directement à un dépôt situé à Laurier-Station.

Seuls trois points rouges apparaissent sur cette carte, soit Boucherville, Laurier-Station et Sainte-Eulalie. Les autres arrêts sont probablement dus à des arrêts à une pesée, un dépanneur ou un restaurant.

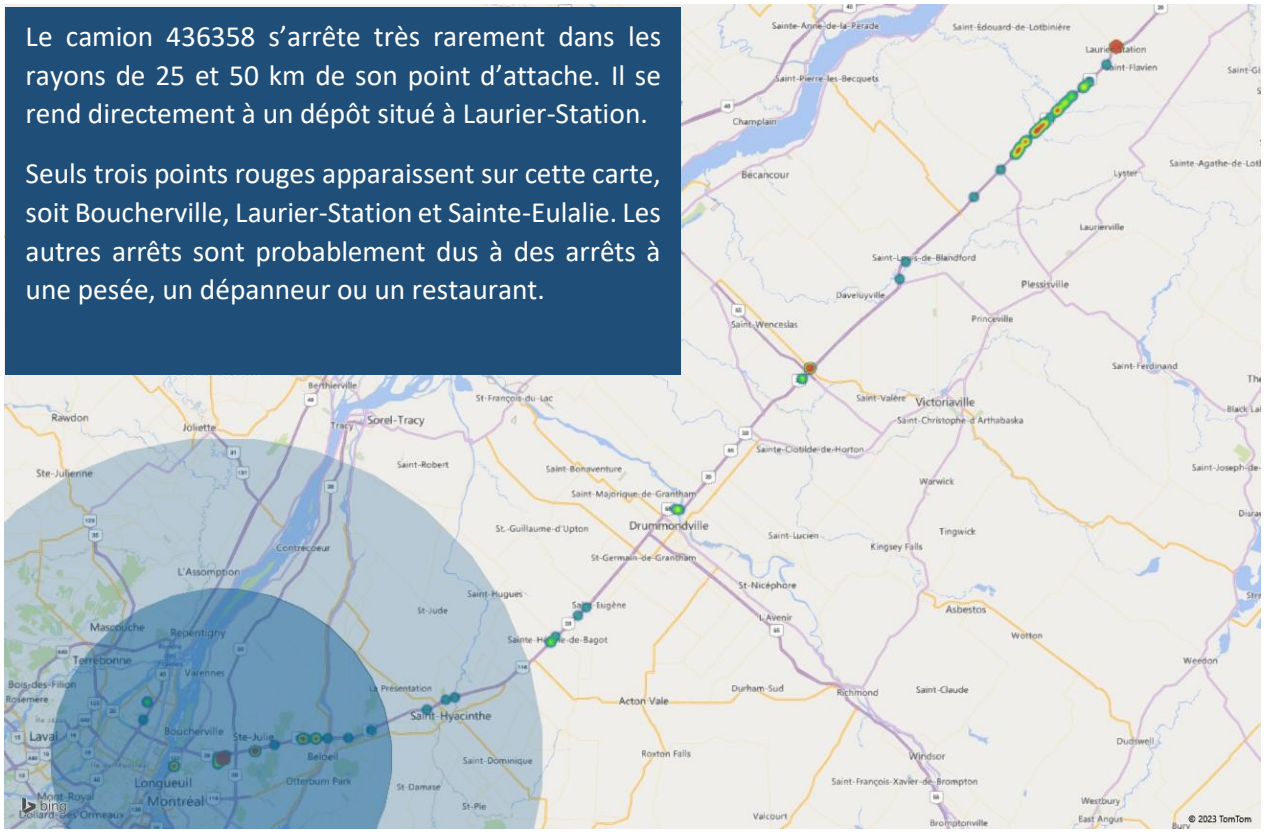


Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 436358 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de VA Transport

Dénivelé faible

1,2 m/km

L'autoroute 20 entre Boucherville et Laurier-Station est une région très peu montagneuse de la province de Québec. Ainsi le camion 436358 parcourt un dénivelé très faible et dépense peu d'énergie à monter des côtes.

Camion # 436358

International LT 625 | Tracteur Classe 8– PNB 36 364 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 436358

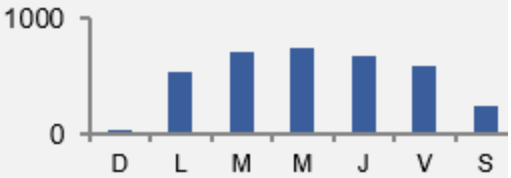
Les déplacements quotidiens du camion 436358 pourraient paraître variés au premier coup d'œil, si l'on se fie exclusivement au dégradé des couleurs bleues du calendrier ou de la différence entre la moyenne et le 90e percentile.

Cependant, en considérant que le véhicule effectue le pendule entre deux entrepôts, il devient vite évident que le nombre de kilomètres parcourus en une journée est toujours un multiple d'environ 185 km, soit la distance d'un aller simple entre les deux entrepôts visités.

Les mardis et mercredis semblent plus occupées pour ce véhicule. Ce sont les deux seules journées où le camion a parcouru 5 fois sa route, pour un total de 930 km. Les autres journées sont moins longues, particulièrement les samedis où un seul trajet a été enregistré dans bien des cas.

Contrairement à beaucoup d'autres véhicules où l'analyse du scénario d'électrification porte exclusivement sur la capacité à réaliser la distance parcourue par jour, il pourrait être plus propice dans ce cas-ci de considérer chaque aller de 185 km séparément, ou chaque aller-retour de 370 km.

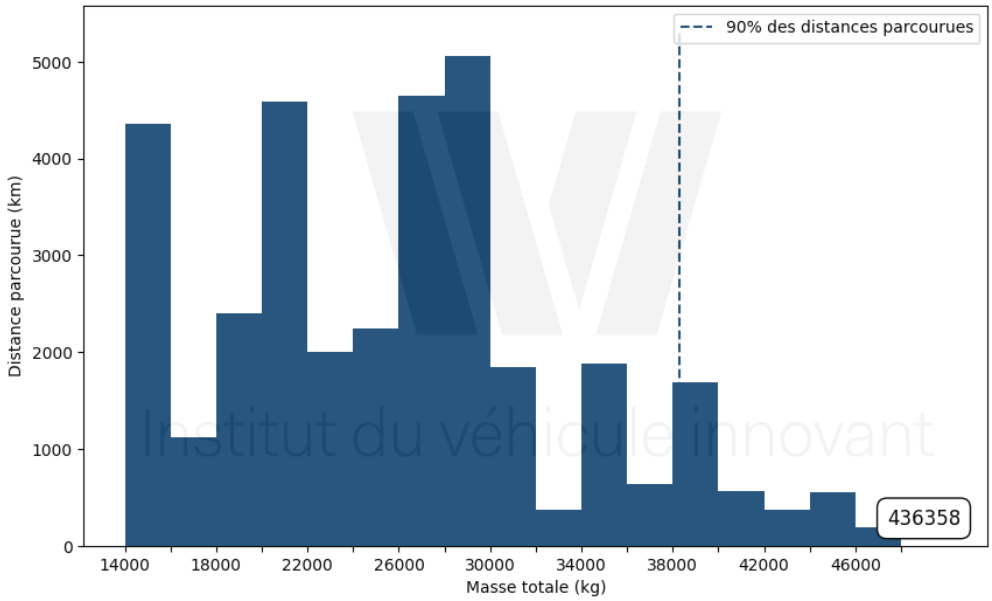
Max	1269	km
90%	814	km
Med	562	km
Moy	584	km
σ	239	km
CV	41%	



	D	L	M	M	J	V	S
	-	-	-	-	-	-	-
févr.	-	-	-	-	-	735	11
	-	1269	562	748	560	186	375
	-	561	559	749	558	745	188
	-	560	745	563	558	561	-
mars	-	373	932	562	746	376	374
	-	557	562	930	746	744	189
	-	374	749	931	745	754	189
	-	374	747	931	747	814	117
avr.	-	375	933	747	563	374	-
	-	-	558	745	562	494	258
	-	374	933	563	749	748	373
	43	554	736	569	747	764	356
	-	558	564	786	783	315	-
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 14: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 436358



Le camion 436358 a trois modes de chargement principaux : remorque vide (14 000 kg), environ 20 000 kg, et le plus important autour de 30 000 kg de masse totale. Pour ces trois modes, un tracteur électrique affichant un surpoids dû à la batterie n'occasionnerait pas de diminution de la charge qu'il est possible de transporter.

Cependant, plusieurs milliers de kilomètres ont été effectués en train routier, avec jusqu'à environ 50 000 kg de masse totale. La distance parcourue à plus de 35 000 kg durant la collecte de données représente 14 % de toute la distance mesurée. Ces déplacements ne pourraient pas être effectués avec un véhicule électrique actuel, en suivant les recommandations des manufacturiers.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 436358 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 436358

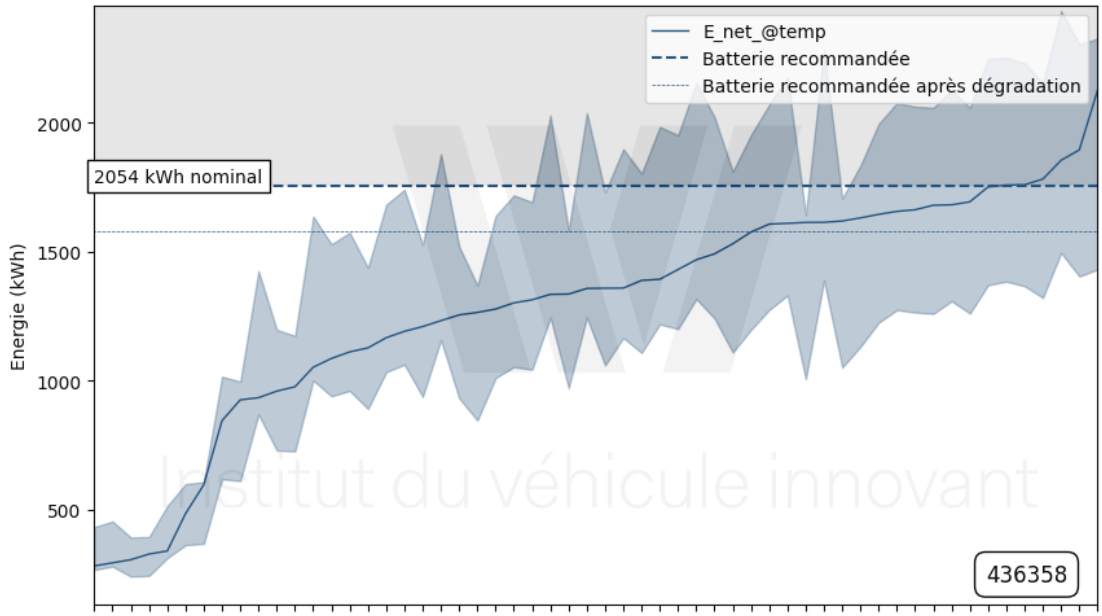
Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	**Longues**	**-**
Constance	**Régulier**	**+**
Dénivelé	**Faible**	**+**
Recharge en journée	**Non**	**-**
Chargement	**Lourd**	**-**
Accessoires	**Aucun**	**+**

12. Scénario d'électrification pour le camion 436358

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 15 montre la distribution de ces énergies pour chaque journée de l'essai. 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 15: Journées de mesure du camion 436358, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



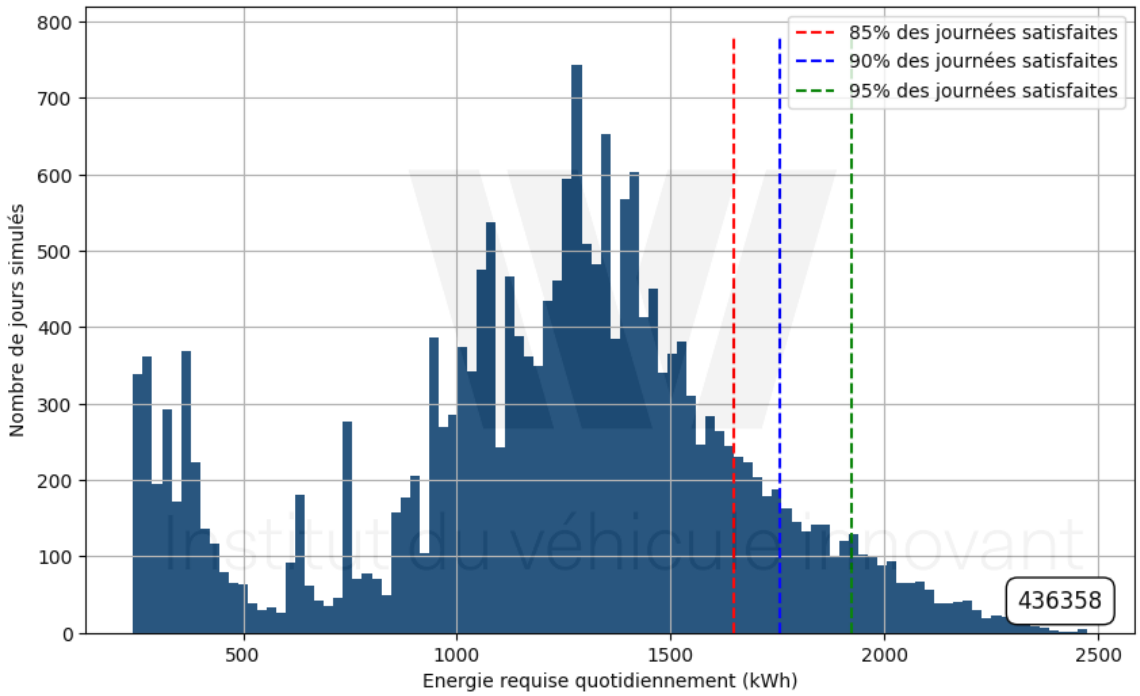
Guide d'interprétation du Graphique 15:

- La courbe bleue 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 2054 kWh disposerait de 1756 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 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 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 au-dessus du Graphique 6.

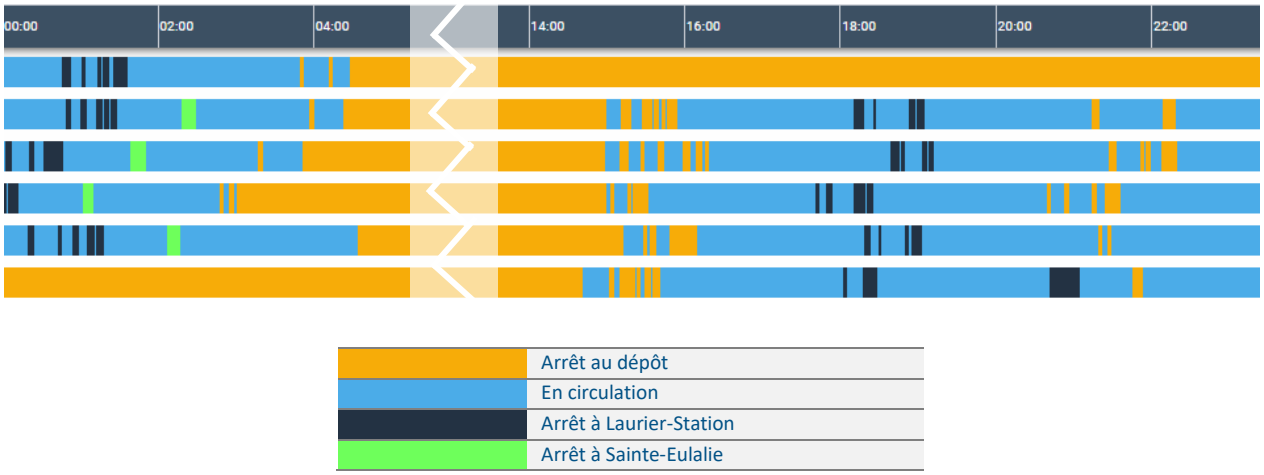
Graphique 16 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 436358



Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classe 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 17 permet de visualiser les arrêts lors d'une journée typique du camion 436358. 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.

Graphique 17 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 436358



Contrairement à beaucoup d'autres camions, le 436358 roule exclusivement de nuit, du lundi soir au samedi matin. Il dispose de beaucoup de temps au dépôt de VA Transport pour recharger lentement durant le jour.

Lorsqu'il est en opération, il pourrait utiliser le temps d'arrêt à Laurier-Station et à Boucherville pour recharger. Ces arrêts durent généralement entre 45 minutes et 1h30. Recharger l'énergie d'un trajet durant ce temps nécessiterait une borne de recharge très puissante.

En divisant l'énergie consommée par la durée de recharge disponible, on obtient la puissance de recharge requise. Celle-ci serait donc d'au moins 2054 kWh / 10 h = 205 kW. La puissance disponible répondant de façon fiable à ce besoin est de 250 kW. Cette puissance est plus élevée que le minimum généralement utilisé pour les camions lourds (50 kW), et il en va de même pour les coûts associés. Il serait aussi nécessaire de vérifier que le camion sélectionné peut charger à cette vitesse.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 436358 seraient donc les suivants :

Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 436358

Capacité de la batterie embarquée	2054 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 250 kW
90 % des opérations remplies ?	Non

Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les économies indiquées au Tableau 14, si une batterie de taille suffisante devenait disponible. Ces économies tiennent compte du temps que VA conservent actuellement leurs camions, soit 6 ans.

En date de la rédaction de ce rapport, aucun produit existant ne propose une batterie ayant la capacité nominale requise pour électrifier le camion 436358. La plus grosse batterie disponible sur le marché est d'environ 650 kWh, ce qui limiterait le nombre de journées possibles à compléter.

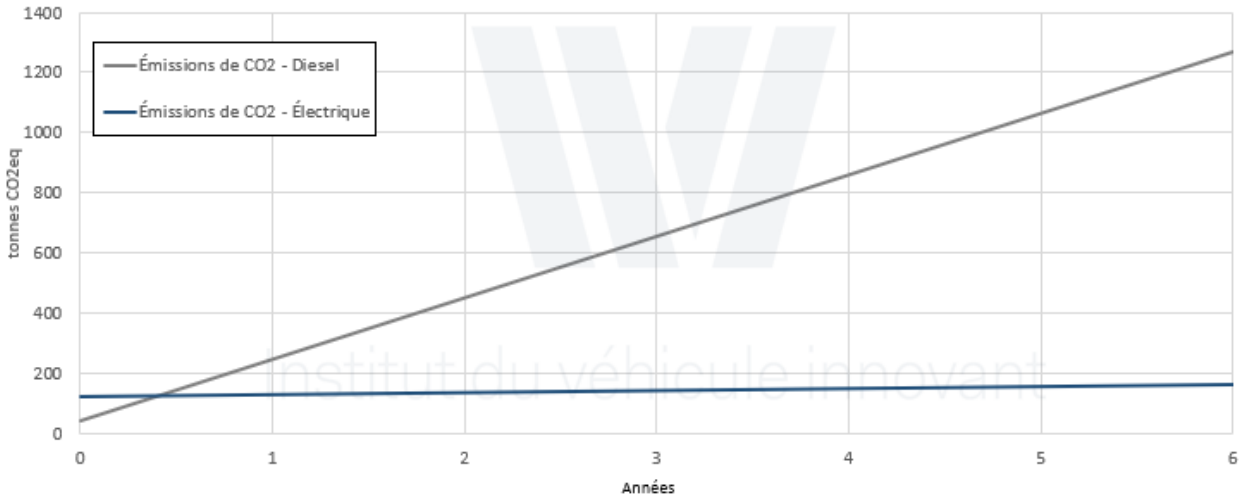
Les bénéfices financiers ne peuvent pas être calculés pour un camion inexistant. Cependant, une hypothèse sur l'économie possible du coût énergétique d'un camion avec une batterie de 2054 kWh peut être posée. Le coût du diesel considéré est 2,00 $/L et le coût de l'électricité est estimé à 0,16 $/kWh (plus élevé pour ce camion, car la recharge s'effectuerait à 250 kW) dû à l'utilisation d'une borne de haute puissance. Une économie de 434 000 $ pourrait être envisagée sur 6 ans. Il faudrait alors s'assurer que le surcoût dû à l'achat du véhicule et de l'infrastructure de recharge soit inférieur à cette économie.

Tableau 14: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 436358

Coût annuel de carburant avant électrification	125 153 $
Coût annuel d'électricité	52 693 $
Économie annuelle de coûts d'énergie	72 459 $
Économies possibles après 6 ans	**434 754 $**

Il est toutefois possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 1107 tonnes de CO2 équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 70 413 km. Ces valeurs viennent des analyses indépendantes de l'IVI, basées sur des études de *l'International Council on Clean Transportation (ICCT),* et tiennent compte des émissions de GES de la production d'électricité par barrages hydro-électriques.

Graphique 18: Émission sur la vie du camion 436358, Diesel vs. Électrique



L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification du camion 436358 en considérant l'entièreté des déplacements mesurés lors de la phase d'instrumentation car ce scénario requiert trop d'énergie pour compléter les plus longues journées.

Cependant, puisqu'il ne visite que deux endroits, il pourrait être intéressant de considérer d'adapter les opérations aux possibilités offertes par les camions électriques actuels, plutôt qu'essayer d'adapter les camions électriques aux opérations actuelles des camions au diesel.

Les déplacements du camion 436358 ont été décortiqués en allers et retours individuels entre Boucherville et Laurier-Station et la demande énergétique pour ce trajet unique a été estimée.

Puisque les manufacturiers de camions électriques ne recommandent pas actuellement de transporter des charges de plus de 36 000 kg, les trajets effectués en train routier ont été retirés de l'analyse. Ceux-ci représentaient 14 % des déplacements durant la période d'instrumentation.

L'énergie nominale requise pour chaque aller de 185 km est présentée dans le tableau ci-dessous :

Conditions	En été, moyen	En hiver, 90e percentile
Énergie requise	352 kWh	515 kWh

Cette quantité d'énergie correspond à l'offre actuelle des camions électriques de classe 8 et permettrait de se rendre d'un entrepôt à l'autre. **Pour revenir, il serait donc nécessaire de recharger sur une borne de recharge de 150 kW pendant 3 heures (ou 200 kW pendant environ 2 heures si le camion peut accepter cette puissance).** Cela est plus long que les arrêts mesurés lors de la période d'analyse. Ceux-ci duraient généralement entre 45 minutes et 1h30 avant de repartir. Pour réduire les temps d'attente à un des deux terminaux, un deuxième camion électrique pourrait être ajouté aux opérations, tout en générant des bénéfices intéressants vu les économies potentielles.

13. Conclusions et recommandations

L'analyse des trois camions diesel instrumentés chez VA Transport 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 VA Transport

Véhicule		**Camion 436876**	**Camion 436352**	**Camion 436358**
Potentiel d'électrification (/10)		**4**	**4**	**3**
Recommandation d'électrification de l'IVI		Non	Non	Non
Capacité totale de la batterie nécessaire pour effectuer un certain pourcentage des déplacements annuels, sans adaptation des opérations	85 %	1855 kWh	735 kWh	1926 kWh
	90 %	**2001 kWh**	**866 kWh**	**2054 kWh**
	95 %	2283 kWh	1028 kWh	2251 kWh
Puissance de la borne de recharge afin d'effectuer 90 % des déplacements annuels		N/A	100 kW	250 kW

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.

Les trois camions analysés lors de cette phase nécessitent des capacités de batteries supérieures à celles offertes pour le moment, donc il n'est pas possible de les électrifier tel quel. Cependant, et selon l'ouverture des gestionnaires de VA Transport à adapter leurs opérations, **certaines solutions pourraient être appliquées avec de bons résultats**.

Par exemple, le camion 436352 pourrait effectuer ses livraisons plus près, sans dépasser Saint-Jérôme, en limitant ses déplacements quotidiens à un peu plus de 200 km par jour. Dans un horizon semblable à celui requis pour installer une infrastructure de recharge au dépôt de VA Transport, il pourrait déjà être possible de recharger à une borne publique pour camions le long des axes routiers empruntés et ainsi compléter les journées plus longues.

En ce qui a trait au camion 436358, le fait qu'il effectue des mouvements pendulaires d'un entrepôt à un autre permettrait un scénario avec recharge aux deux bouts de la route, ou encore à deux camions, ou même avec ces deux options combinées. Cela pourrait amener des bénéfices importants, mais représente une adaptation majeure des opérations actuelles.

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 à chaque jour, ce qui leur permettrait d'utiliser ce temps pour recharger. Cependant dans son analyse, l'IVI a considéré chaque minute passée au dépôt de VA Transport comme étant propice à la recharge, alors que ceci pourrait être moindre si le chargement de la cargaison prend beaucoup de temps, par exemple. Dû à la taille de batterie requise, une borne de plus de 100 kW par camion serait requise. 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 VA Transport. 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 VA Transport, 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://climat.meteo.gc.ca/historical_data/

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

Automotive Li-Ion Batteries: Current Status and Future Perspectives, Argonne National Lab

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 :

Études antérieures de l'IVI

https://x-engineer.org/drivetrain-losses-efficiency/

https://www.researchgate.net/figure/Drag-coefficient-of-different-vehicles-type-1_fig1_331695168

Également, 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/

15. 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 :