



# Flotte rechargeable Camions lourds

Étude sur le potentiel d'électrification de camions lourds à moteur diesel

Rapport phase 2 – LogiQ Transport

Par : Philippe Louiseize, ing.

Révisé par : Mathieu Chevigny et Charles Trudel, ing.

Date : 20 février 2024



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 40.....	18
8. Scénario d'électrification pour le camion 40.....	21
9. Analyse du camion 2007 .....	26
10. Scénario d'électrification pour le camion 2007 .....	29
11. Analyse du camion 2009 .....	34
12. Scénario d'électrification pour le camion 2009 .....	37
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](https://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 LogiQ Transport .....	14
Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 40 .....	19
Tableau 4 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 40 .....	20
Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 40.....	24
Tableau 6: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 40 .....	24
Tableau 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 2007 .....	27
Tableau 8: Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 2007 .....	28
Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 2007.....	31
Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 2007 .....	32
Tableau 11 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 2009 ...	35
Tableau 12 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 2012 .....	36
Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 2009, activités de jour seulement .....	40
Tableau 14: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 2009 .....	41
Tableau 15: Recommandation d'électrification des camions de LogiQ Transport .....	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 40, 2007, 2009 .....	13
Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 40 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de LogiQ Transport .....	18
Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 2007 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de LogiQ Transport .....	26
Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 2009 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de LogiQ Transport .....	34

## Liste des graphiques

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion .....	15
Graphique 2 : Répartition des vitesses – LogiQ Transport .....	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 40 .....	20
Graphique 5: Journées de mesure du camion 40, 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 40 .....	22
Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 40.....	23
Graphique 8: Émission sur la vie du camion 40, Diesel vs. Électrique .....	25
Graphique 9: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 2007.....	28
Graphique 10: Journées de mesure du camion 2007, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh).....	29
Graphique 11 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 2007 .....	30
Graphique 12 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 2007 .....	31
Graphique 13: Émission sur la vie du camion 2007, Diesel vs. Électrique .....	32
Graphique 14: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 2009....	36
Graphique 15: Mesure des opérations de jour du camion 2009, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh).....	37
Graphique 16 : Mesure des opérations de nuit du camion 2009, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh).....	38
Graphique 17 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 2009 .....	39
Graphique 18 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 2009.....	40
Graphique 19 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 2009.....	41
Graphique 20: Émission sur la vie du camion 2009, Diesel vs. Électrique .....	42

## 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.

Québec 

 Hydro Québec

# 1. Faits saillants

Le présent rapport a pour but de mesurer la pertinence d'électrifier trois camions de la compagnie LogiQ Transport, à Granby.

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 :

**81 % des journées ou quarts de travail se terminent en ayant parcouru moins de 425 km**

**84 % des arrêts de nuit au terminal durent 8 heures ou plus**

Camion 40 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification		
Critère	Valeur			
Distances	Longues	-	Estimation de consommation électrique en été	129 kWh / 100 km
Constance	Constant	+	Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	158 kWh / 100 km
Dénivelé	Faible	+	Pénalité de chargement ?	Non
Recharge en journée	Non	-	Capacité nominale requise pour 90 % des journées	773 kWh
Chargement	Faible	+	Batterie disponible ?	Non
Accessoires	Aucun	+		

Camion 2007 – Porteur Classe 6		Effet sur le potentiel d'électrification		
Critère	Valeur			
Distances	Courtes	+	Estimation de consommation électrique en été	97 kWh / 100 km
Constance	Constant	+	Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	119 kWh / 100 km
Dénivelé	Moyen	+/-	Pénalité de chargement ?	Non
Recharge en journée	Non	-	Capacité nominale requise pour 90 % des journées	442 kWh
Chargement	Faible	+	Batterie disponible ?	Non
Accessoires	Aucun	+		

Camion 2009 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification		
Critère	Valeur			
Distances	Longues	-	Estimation de consommation électrique en été	150 kWh / 100 km
Constance	Varié	-	Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	183 kWh / 100 km
Dénivelé	Moyen	+/-	Pénalité de chargement ?	Non
Recharge en journée	Possible	+	Capacité nominale requise pour 90 % des journées	527 kWh
Chargement	Faible	+	Batterie disponible ?	Oui*
Accessoires	Aucun	+		*: de jour

## 2. Méthodologie

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

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

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

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

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

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

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

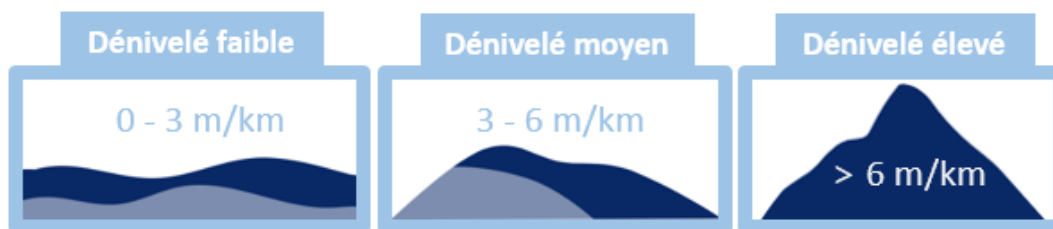


Figure 1 : Échelle de dénivelé allant du plus petit dénivelé au plus grand

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

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



### 3. Méthodologie : Scénarios d'électrification

À partir des informations recueillies et présentées à la section précédente, un scénario d'électrification a été élaboré pour chaque camion. Ceci consiste à estimer la quantité d'énergie requise pour effectuer l'entièreté des opérations quotidiennes normales de chaque camion durant la période 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 la spécification qui est le plus souvent annoncée par les fabricants de camions.

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

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

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

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

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

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

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

## 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



LogiQ Transport est une entreprise de transport de marchandises sèches générales pouvant fournir un service complet au Canada et aux États-Unis. Ils offrent du transport en chargement partiel (*Less Than Load, LTL*) et dédié (*Total Load, TL*). Ils ont aussi plusieurs contrats dédiés, pour lesquels des camions sont presque exclusivement réservés à un seul client. L'entreprise offre aussi des services d'entreposage.

La flotte est composée de plus de 25 camions porteurs et tracteurs.

Depuis mai 2023, Transport Bourassa a fait l'acquisition de LogiQ Transport. Les routes effectuées lors de la phase d'analyse ont été conservées en activité.

LogiQ Transport conservait les camions de sa flotte 7 ans. Cependant, Transport Bourassa a indiqué conserver ses véhicules beaucoup plus longtemps, soit plus de 15 ans. Pour représenter leur cycle de vie à partir de maintenant et pour conserver une uniformité entre les rapports, les bénéfices présentés dans les sections suivantes seront présentés sur 10 ans. Pour connaître les bénéfices approximatifs sur 15 ans, il est possible d'ajouter cinq fois l'économie d'énergie annuelle au bénéfice net après 10 ans.

## 6. Véhicules analysés

Pour donner suite aux discussions avec le gestionnaire du parc, les trois camions retenus pour l'analyse sont les unités 40, 2007 et 2009. Le 40 et le 2009 sont des tracteurs Freightliner. Le camion 2007 est un porteur de marque Hino.



Figure 2 : Camions utilisés durant la période d'instrumentation, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 40, 2007, 2009

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. Les trois camions font des livraisons dans un rayon raisonnable et ils reviennent à leur port d'attache le soir. De plus, l'unité 2009 est utilisée sur deux quarts de travail. Il était donc intéressant de savoir si ces opérations pourraient être compatibles avec les véhicules électriques actuels. LogiQ opère environ 15 camions sur des routes similaires.

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 Transport LogiQ.

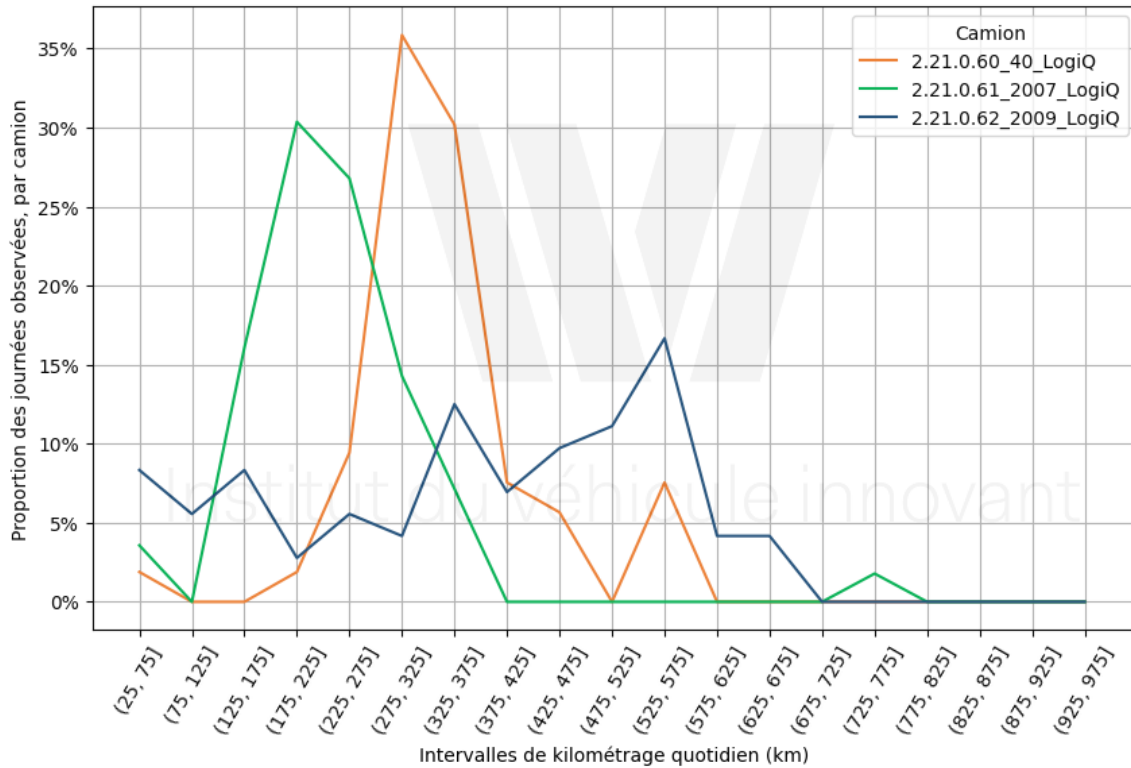
Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation des véhicules de LogiQ Transport

Camion #	40	2007	2009
<b>Distance parcourue</b>			
Durant le test	18 112 km	13 483 km	26 547 km
Annuellement (estimée)	72 446 km	53 932 km	106 188 km
<b>Carburant</b>			
Consommé durant le test	6 291 L	2 896 L	8 528 L
Consommé annuellement (estimé)	21 569 L	9 929 L	29 240 L
Consommation moyenne	34,7 L/100 km	21,5 L/100 km	32,1 L/100 km
<b>Ralenti</b>			
Temps par jour en moyenne	1,2 h	0,9 h	1,6 h
Carburant consommé au ralenti par jour	8,5 L	4,2 L	7,8 L
Carburant consommé par année (estimé)	1 612 L	825 L	1 955 L
<b>Opérations</b>			
Vitesse moyenne en déplacement	49,2 km/h	45,1 km/h	46,4 km/h
Nombre de jours actifs durant l'analyse	55 jours	57 jours	73 jours
Masse totale moyenne	17 789 kg	8 846 kg	17 760 kg

Certaines des données observées et présentées ci-haut sont très similaires d'un camion à l'autre. En effet, les trois camions roulent à une vitesse moyenne très semblable, ils passent peu de temps au ralenti et ils sont tous très peu chargés. Ceci se reflète sur leur consommation, qui est peu élevée. Le camion 2009 parcourt beaucoup plus de distance que les deux autres, puisqu'il est opéré de jour et de nuit.

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

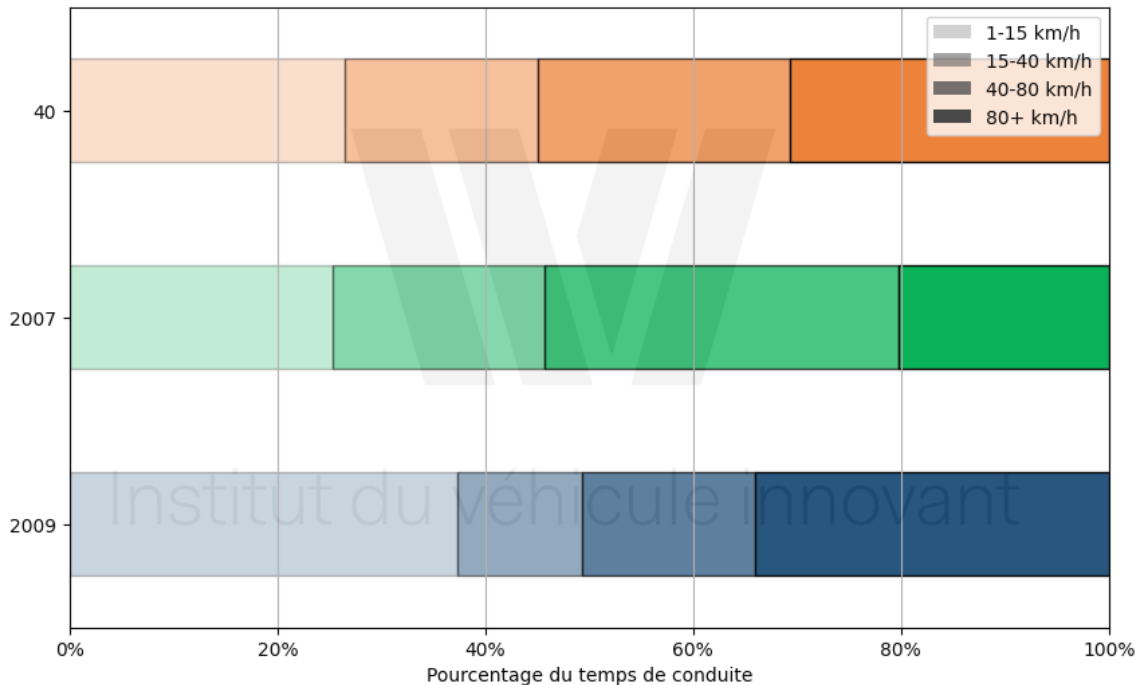


En observant le Graphique 1, il est possible de remarquer que les camions 40 et 2007 parcourent souvent des distances assez courtes, inférieures à 325 km. Les journées du camion 2009 sont plus variées et plus longues. Ceci reflète son opération double, de jour et de nuit.

Lors d'environ 90 % des journées de mesures, les camions 40, 2007 et 2009 ont parcouru respectivement moins de 425, 325 et 575 km par jour.

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 – LogiQ Transport

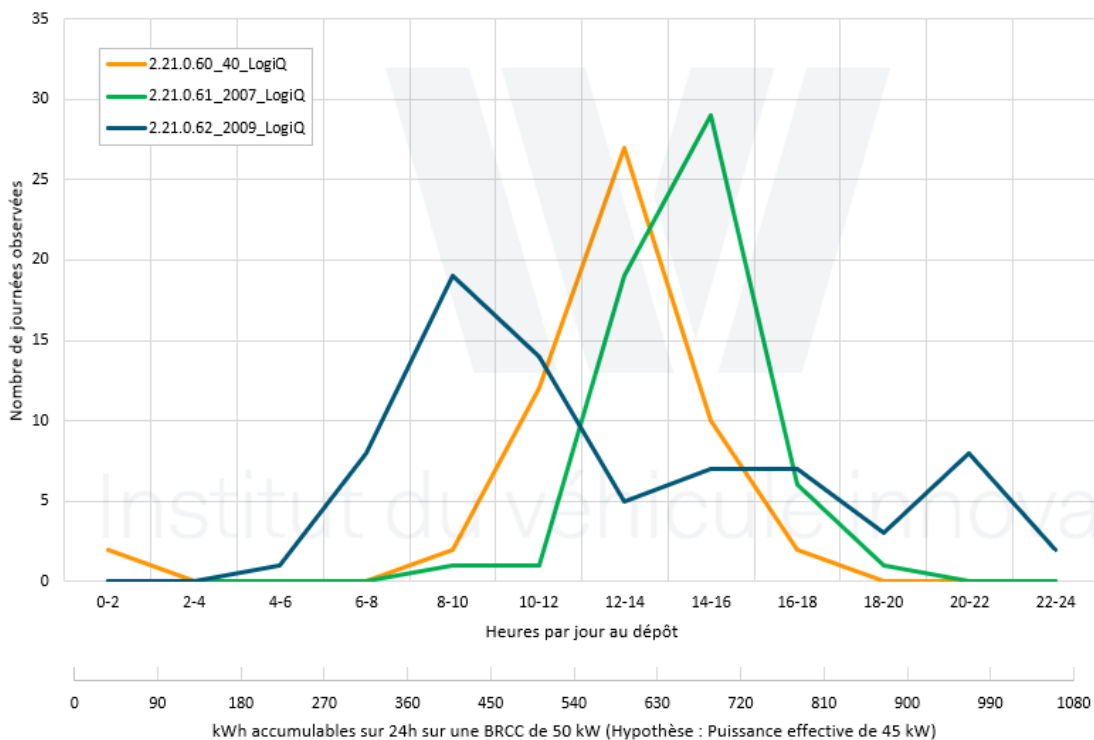


Le temps passé à haute vitesse affectera vers la hausse la consommation des camions. À ce sujet, les deux tracteurs de cette analyse y passent un peu plus de 30 % du temps de conduite. Le 2007, un porteur, circule un peu plus en ville, à moins de 80 km/h.



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 véhicules suivis reviennent au dépôt de LogiQ la nuit et y passent plusieurs heures. Ils disposent donc de cette longue période pour s’y recharger. Le Graphique 3 montre la répartition des heures passées sur le terrain de LogiQ Transport à l’arrêt.

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



Ce graphique montre une échelle de l’énergie pouvant potentiellement être restituée à la batterie durant les heures d’arrêt au dépôt. Par exemple, un camion arrêté 10 heures et branché sur une borne de 50 kW, soit de puissance effective de 45 kW, pourrait 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 ont des habitudes d’arrêt au dépôt assez différentes. Ensemble, les trois camions ont passé plus de 8 heures au dépôt, 84 % des jours. Alors que cette statistique aide à l’analyse du camion 40, elle renseigne moins bien sur les deux autres. Pour plus de 90 % des jours de l’analyse, les camions 2007 et 2009 ont passé respectivement plus de 10 et 6 heures au dépôt.

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 40

Le camion au diesel 40 est principalement utilisé pour un contrat dédié à un client. Il effectue la distribution de pneus sur la rive-sud et à Montréal, et quelquefois sur la rive-nord. En fin de journée au retour vers le dépôt, il effectue des cueillettes diverses. Il est chargé en début de journée, puis il effectue des transferts, c'est-à-dire qu'à chaque endroit visité, il peut livrer une partie de son chargement et en ajouter en même temps.

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



Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 40 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de LogiQ Transport



Le dénivelé du territoire parcouru est un critère important dans l'évaluation de la consommation d'énergie. Comme le camion 40 demeure dans la vallée du Saint-Laurent, il a peu de côtes à gravir.

Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 2,4 mètres pour chaque kilomètre parcouru.



## Camion # 40

Freightliner Coronado 2011 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

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 90<sup>e</sup> percentile, médiane et moyenne sont présentées, ainsi que l'écart-type ( $\sigma$ ) 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 5 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 40

Le camion 40 est en fonction 5 jours par semaine, du lundi au vendredi. La constance des couleurs observées sur le calendrier montre que la distance parcourue d'un jour à l'autre est assez stable, excepté quelques journées exceptionnellement longues.

Le graphique du milieu permet d'observer que les journées de la semaine sont constantes.

Lors d'une journée typique pour son client dédié, le camion 40 parcourt environ 320 km. Certaines journées peuvent être un peu plus longues ou courtes. Lors des journées beaucoup plus longues, près du 90<sup>e</sup> percentile observé et au-delà de celui-ci, le camion n'a pas exclusivement effectué des livraisons pour son client dédié. En effet, des voyages beaucoup plus longs ont été observés lors de ces journées, principalement vers Ottawa ou Québec.

Puisque ces journées ne représentent pas les activités typiques du camion, elles ont été retirées de l'analyse. Elles sont représentées en gris sur le calendrier ci-contre.

Le 90<sup>e</sup> percentile pourrait donc être considéré la distance maximale que le camion 40 parcourt typiquement.

Max	571	km
90%	444	km
Med	323	km
Moy	317	km
$\sigma$	117	km
CV	37%	



	D	L	M	M	J	V	S
mai	-	-	-	-	-	-	-
	-	52	253	293	321	276	-
	-	-	324	283	330	324	-
	-	374	360	323	265	345	-
juin	-	313	260	307	405	316	-
	-	293	455	317	357	243	-
	-	262	241	423	331	-	-
	-	319	571	383	356	-	-
juil.	-	277	471	337	559	283	-
	-	297	-	334	558	313	-
	-	336	567	354	297	358	-
	-	328	-	359	441	398	-
	-	326	292	341	211	290	-
août	-	-	-	65	-	22	-
	-	-	9	-	22	-	-

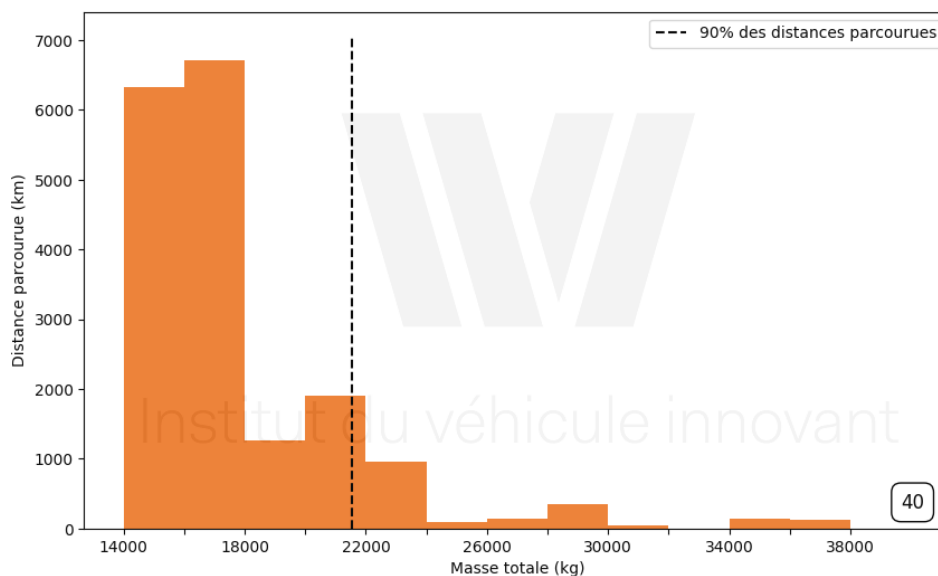


## Camion # 40

Freightliner Coronado 2011 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

L'énergie requise pour chaque accélération et chaque montée est directement proportionnelle à la masse totale du véhicule, incluant son chargement. Puisque le camion 40 effectue plusieurs livraisons par jour, le poids de la cargaison a été noté pour chaque trajet. Le graphique suivant montre la distance parcourue selon les différents niveaux de masse totale du camion.

Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 40



Le camion a parcouru 90 % de l'essai à moins de 21 500 kg. Plus de 12 000 km ont été parcourus avec moins de 4 000 kg de chargement.

Un camion électrique, pesant environ 2000 kg de plus à cause de la batterie de propulsion, ne causerait pas de pénalité pour cette route.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 40 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 40

Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	<b>Longues</b>	-
Constance	<b>Constant</b>	+
Dénivelé	<b>Faible</b>	+
Recharge en journée	<b>Non</b>	-
Chargement	<b>Faible</b>	+
Accessoires	<b>Aucun</b>	+

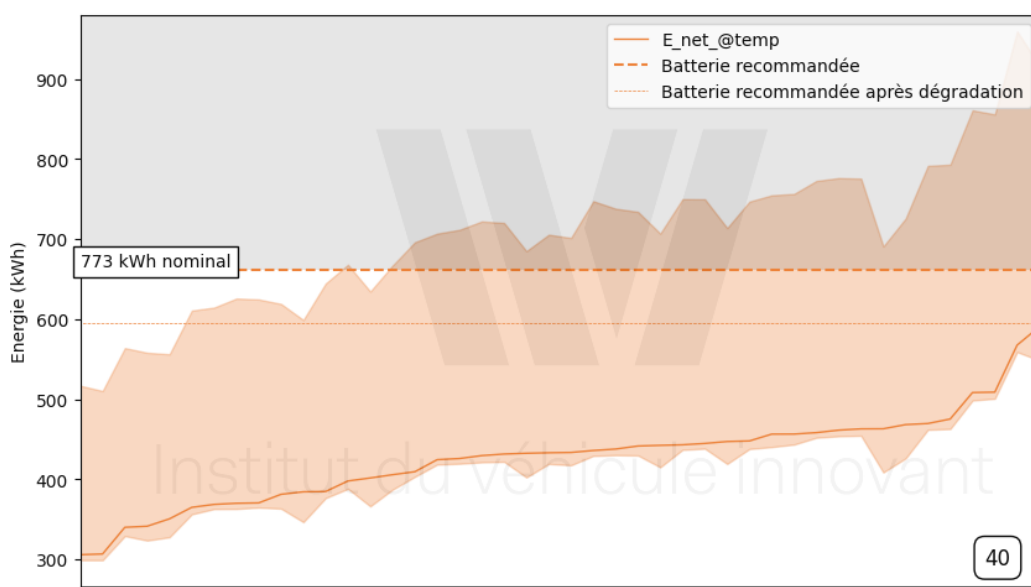


## 8. Scénario d'électrification pour le camion 40

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 40, 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 661 kWh total disposerait de 773 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 40 d'effectuer 90 % de ses journées.
- La zone grise représente les journées impossibles à compléter sans recharger en cours de journée
- La fine ligne horizontale représente l'énergie après une dégradation de 10 %. Elle permet de comparer les journées qu'il sera possible de compléter à long terme.



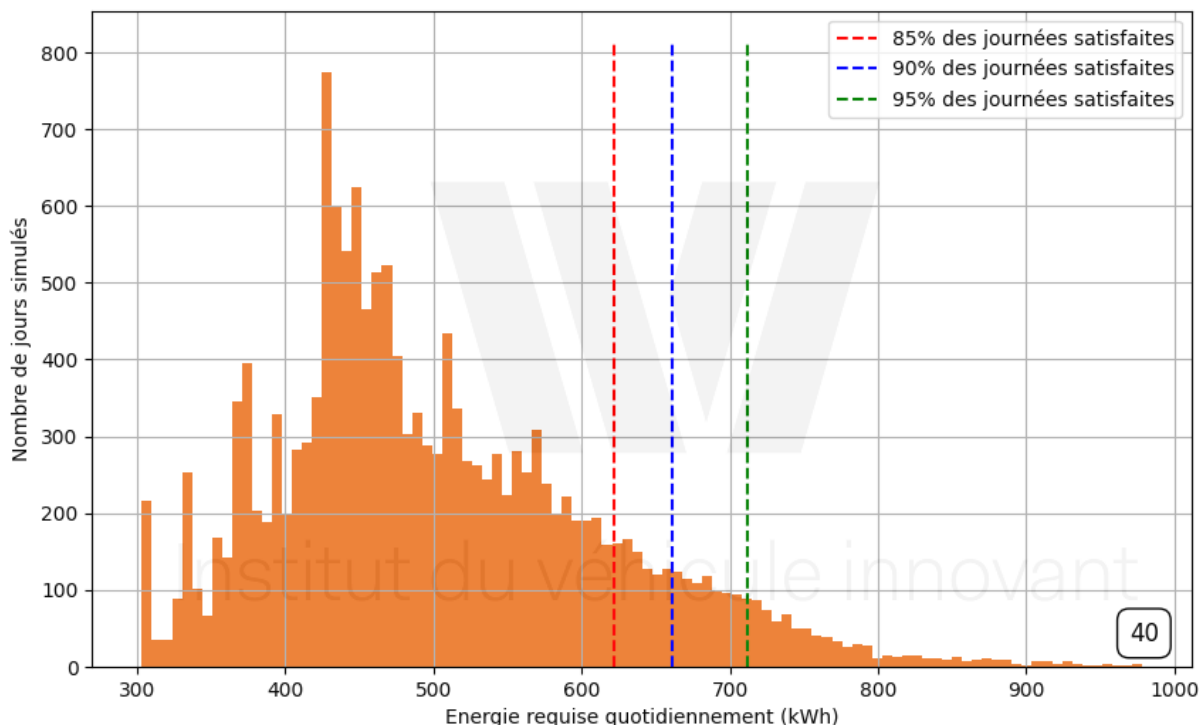
La consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 130 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

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'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 leur besoins énergétiques normalisés à 20°C ont été retirées. 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 40





## Camion # 40

Freightliner Coronado 2011 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Pour compléter l'entièreté des trajets d'une journée 90 % du temps sur une année complète, l'IVI estime que la batterie requise devrait avoir une capacité utilisable avec marge de 661 kWh, ce qui équivaut à une batterie dotée d'une énergie nominale 773 kWh.

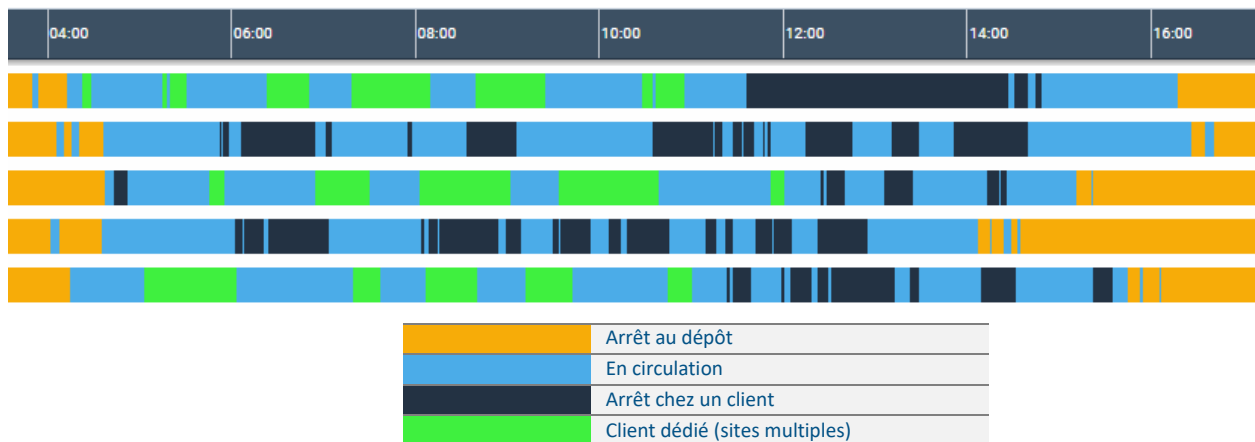
Pour compléter 95 % des journées, la capacité nominale est de 833 kWh.

Pour compléter 85 % des journées, la capacité nominale est de 727 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 semaine typique du camion 40. 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 40



L'horaire régulier du camion 40 est entre 4h le matin et 16h. Le graphique ci-chaut permet de facilement observer qu'il effectue des livraisons pour son contrat dédié les lundis, mercredis et vendredis seulement.

Il ne revient pas au dépôt en journée, cependant lors des journées dédiées il s'arrête toujours aux mêmes endroits, et ces arrêts sont d'une durée suffisante pour ajouter une recharge rapide. Ces arrêts sont de 30 à 60 minutes par site, pour un total d'environ 1h30 par jour. Cependant ce scénario demanderait une importante coopération entre LogiQ et son client.

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.



## Camion # 40

Freightliner Coronado 2011 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

La puissance de l'infrastructure requise est obtenue en divisant l'énergie requise quotidiennement par le nombre d'heures disponibles. Celle-ci serait donc d'au moins 83 kW (661 kWh / 8 h). Ceci signifie qu'une borne de 100 kW pourrait répondre à ce besoin

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 40 seraient donc les suivants :

Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 40

<b>Capacité de la batterie embarquée</b>	773 kWh
<b>Puissance de la borne de recharge</b>	BRCC 100 kW
<b>90 % des opérations remplies ?</b>	<b>Non</b>

En date de la rédaction de ce rapport, aucun produit existant ne propose une batterie ayant la capacité nominale requise pour électrifier le camion 40. La plus grosse batterie disponible sur le marché est d'environ 650 kWh, ce qui limiterait le nombre de journées possibles à compléter en hiver.

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 773 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). Une économie de 328 540 \$ pourrait être envisagée sur 10 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 indiqués au Tableau 6. Celles-ci sont calculées sur 10 ans.

Tableau 6: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 40

Coût annuel de carburant avant électrification	51 534 \$
Coût annuel d'électricité	18 681 \$
Économie annuelle de coûts d'énergie	32 854 \$
<b>Économie d'énergie potentielle après 10 ans</b>	<b>328 540 \$</b>

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 829 tonnes de CO2 équivalent. Un camion électrique est plus polluant à produire, mais définitivement moins polluant à utiliser que son équivalent au diesel. Le point d'équivalence d'émission cumulées de GES arriverait après seulement 27 697 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.

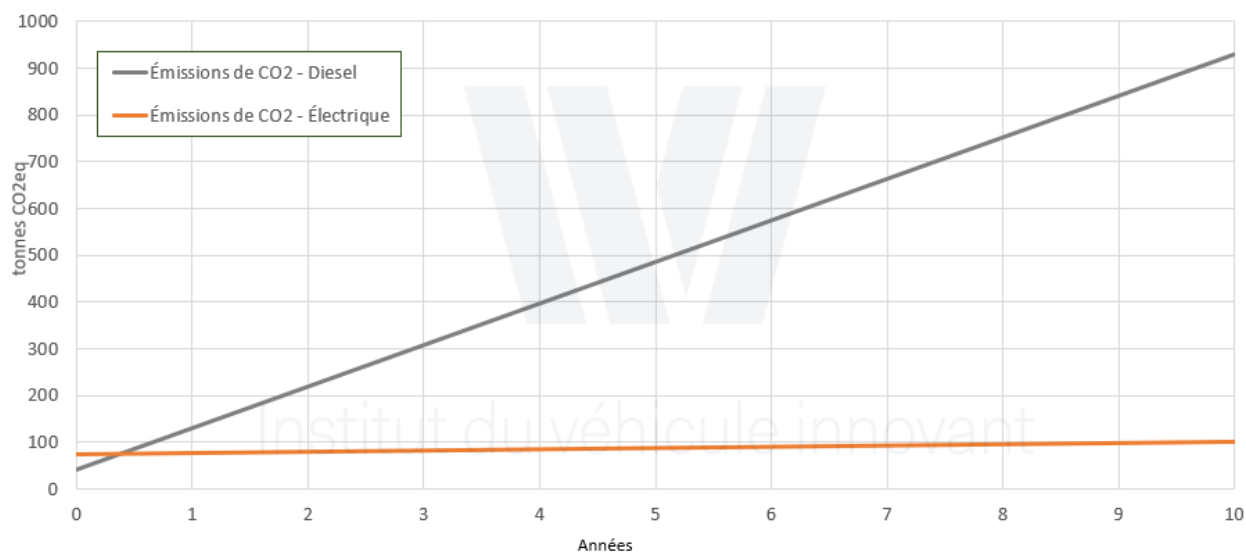




## Camion # 40

Freightliner Coronado 2011 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Graphique 8: Émission sur la vie du camion 40, Diesel vs. Électrique



L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification du camion 40 pour le moment, car la batterie requise n'est pas encore offerte sur le marché. Cependant, quelques-uns des véhicules présentement sur le marché ont des capacités de batterie très près de celle requise. L'IVI estime que des camions aux batteries de plus hautes capacités, pouvant répondre au besoin de la route 40, ne tarderont pas à arriver sur le marché.

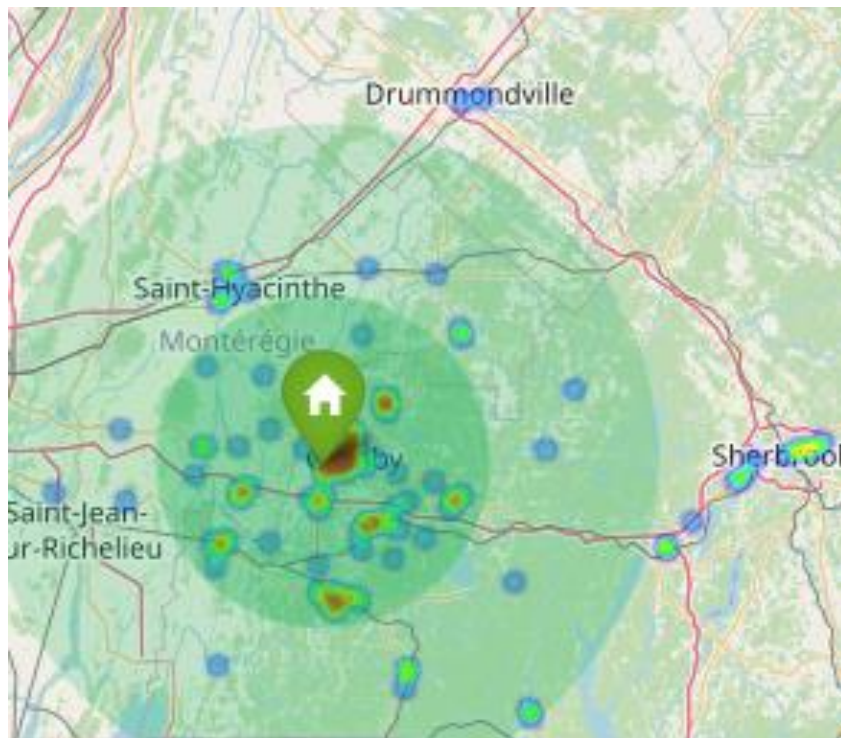
Autrement, pour réduire la taille de batterie requise, il pourrait être envisagé d'installer une infrastructure de recharge chez le client dédié. La succursale de Montréal serait la plus propice, car les arrêts y sont plus longs. Ceci ajouterait toutefois une complexité au niveau de la logistique, car le partage des coûts d'installation et d'opération devront être négociés avec le client. L'installation d'une borne de recharge à chacune des succursales du client n'a pas été étudiée, car les arrêts aux deux autres sont plus courts et les coûts rendraient certainement ce projet non-rentable.



## 9. Analyse du camion 2007

Le camion au diesel #2007 est principalement utilisé pour un contrat dédié à un client. Il effectue la livraison pour un distributeur de produits de plomberie à Granby. Il commence sa journée chez ce client, où il est pleinement chargé de marchandises. Il part ensuite livrer son chargement, et revient habituellement chez le client pour faire d'autres livraisons.

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 :



Plusieurs points sont visités fréquemment à l'intérieur d'un rayon de 25 km du dépôt de Transport LogiQ.

Quelques arrêts ont lieu dans un rayon de 50 km, et même jusqu'à Sherbrooke et Drummondville, mais ceux-ci sont moins fréquents.

Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 2007 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de LogiQ Transport



Le camion 2007 circule principalement en Montérégie et en Estrie, des régions assez montagneuses. Il doit gravir 4,7 mètres de dénivelé positif pour chaque kilomètre parcouru, ce qui est dans la catégorie « moyen ». La consommation sera donc légèrement affectée à la hausse par rapport à un camion évoluant en terrain plat.



## Camion # 2007

Hino 338 2020 | Porteur Classe 7 – PNB 15 000 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 5 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 2007

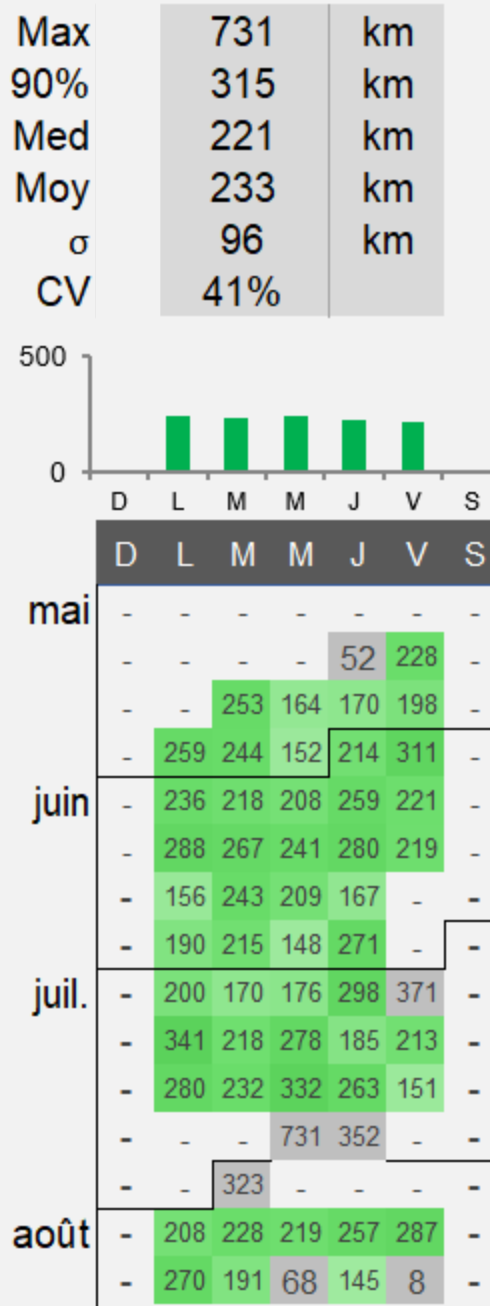
Le camion 2007 est utilisé cinq jours par semaine, du lundi au vendredi. Le graphique du centre montre que ses journées sont assez constantes. Il n'a donc pas de route établie pour chaque jour de la semaine.

Il parcourt en moyenne 233 km par jour, ce qui n'est pas très élevé. Cependant, pour un gestionnaire de flotte désirant s'assurer que le véhicule électrique choisi puisse répondre à la majeure partie de ses activités, le 90<sup>e</sup> percentile serait plus pertinent à utiliser. Cette valeur est de 315 km parcourus en une journée.

Les tons de vert sur le calendrier ci-contre sont tous très semblables, ce qui indique que les distances parcourues sont régulières d'un jour à l'autre et varient peu.

Quelques journées dépassent le 90<sup>e</sup> percentile. Celles-ci sont considérées exceptionnelles. Non seulement elles dépassent grandement les distances régulières, mais surtout lors de ces journées aucune cueillette ou livraison n'a été faite pour le client dédié. De plus, la presque absence de déplacements à la fin juillet, durant les vacances de la construction, porte à croire que le chauffeur habituel était en vacances et que le camion fut utilisé pour en remplacer un autre.

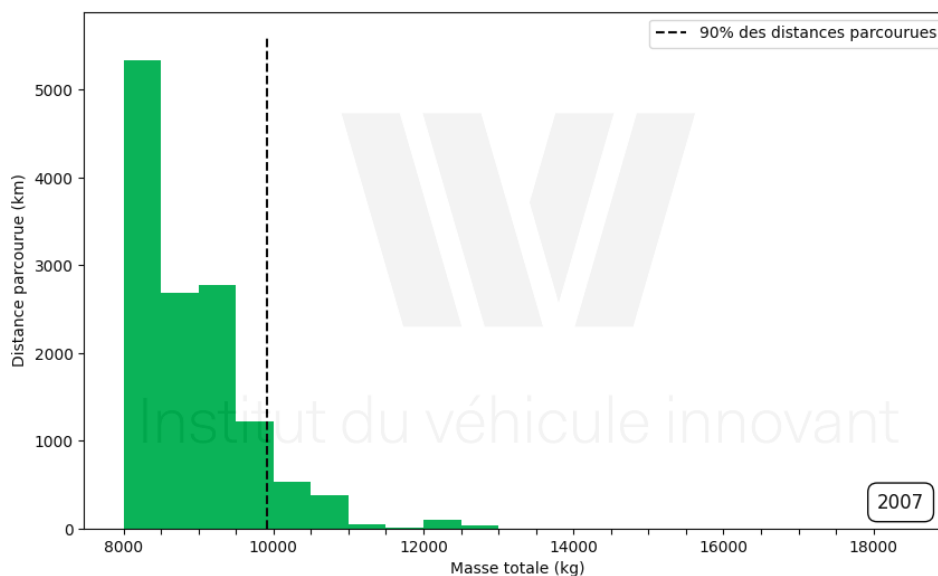
Pour toutes ces raisons, ces journées n'ont pas été considérées dans l'analyse qui suit et elles sont montrées en gris sur le calendrier.





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 la distance parcourue par intervalle de masse totale.

Graphique 9: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 2007



Le camion 2007 roule à 90% du temps avec moins de 2500 kg de chargement. Alors qu'un camion porteur de classe 7 pourrait être chargé jusqu'à un poids de 15 000 kg, celui-ci n'a jamais dépassé 13 000 kg, et même presque jamais 11 000 kg.

Un camion électrique, plus lourd à cause de sa batterie, n'empêcherait aucunement de transporter toute la cargaison de la route 2007. Il n'entraînerait donc pas de pénalité de chargement.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 2007 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 2007

Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	<b>Courtes</b>	+
Constance	<b>Constant</b>	+
Dénivelé	<b>Moyen</b>	+/-
Recharge en journée	<b>Non</b>	-
Chargement	<b>Faible</b>	+
Accessoires	<b>Aucun</b>	+

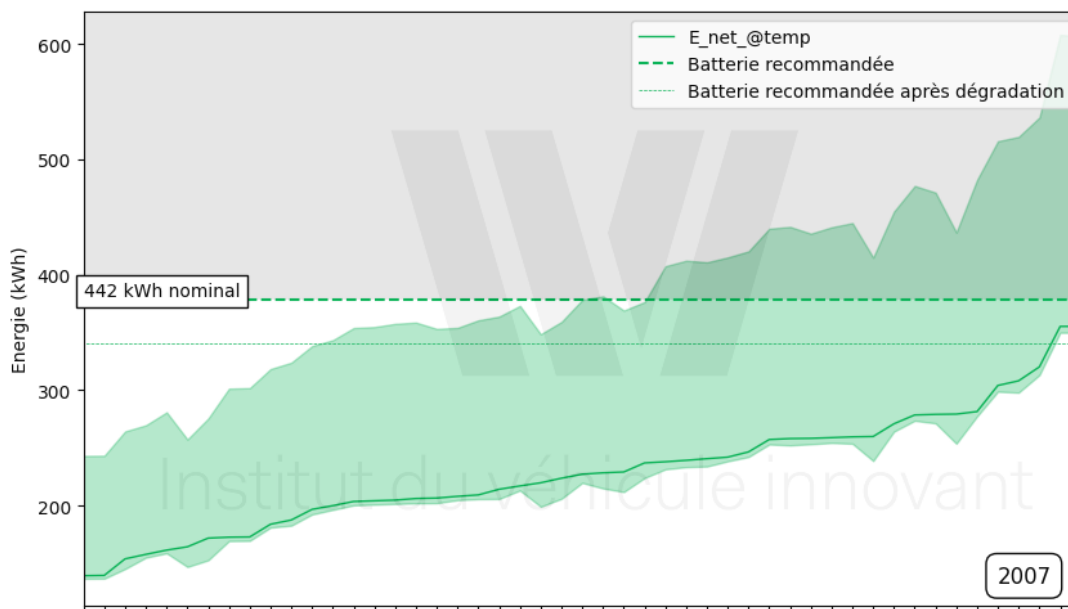


## 10. Scénario d'électrification pour le camion 2007

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 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 10: Journées de mesure du camion 2007, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



### Guide d'interprétation du Graphique 10 :

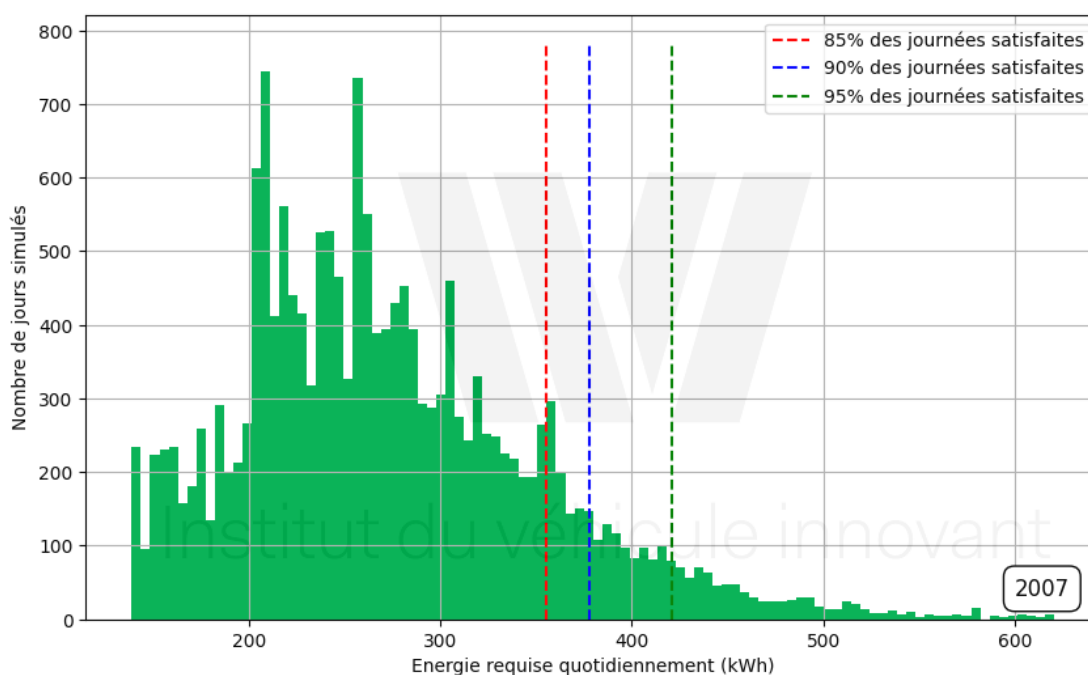
- La courbe verte du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire verte montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20°C) ou très froid. La valeur plus élevée représente l'énergie lors d'une journée froide (-20°C).
- La zone sous la ligne pointillée horizontale représente les journées où le camion dispose d'assez d'énergie pour compléter tous les trajets de la journée.
- Un camion avec une batterie de capacité nominale de 442 kWh disposerait de 378 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 2007 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 97 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 2007



Une batterie de 442 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 416 et de 492 kWh pourrait respectivement satisfaire 85 et 95 % des journées sur une année moyenne.

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

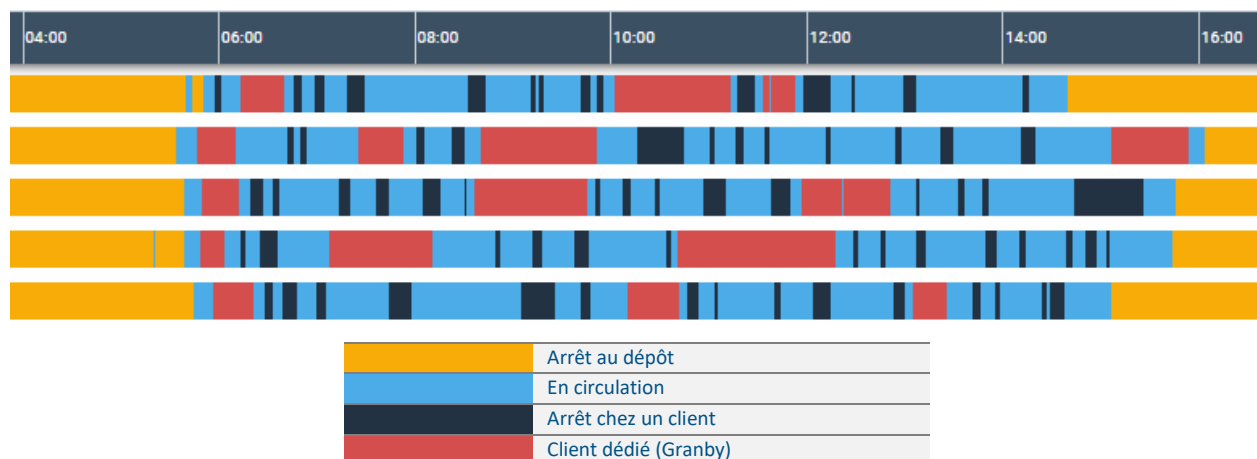
Le Graphique 7 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 2007. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée. Les nuits ont été coupées, car il n'y avait aucun déplacement.



## Camion # 2007

Hino 338 2020 | Porteur Classe 7 – PNB 15 000 kg

Graphique 12 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 2007



Le véhicule 2007 circule entre 5h30 et 16h, laissant un peu plus de 12h pour la recharge en fin de journée.

Le premier arrêt de chaque journée est chez le client dédié, où il est chargé. Il fait ensuite des livraisons, et repasse chez son client à au moins une reprise à chaque jour. Ces arrêts durant la journée sont assez longs. Ils seraient donc propices à la recharge, si le client était ouvert à installer une borne. Cette stratégie permettrait de réduire la taille de la batterie requise, mais augmenterait le coût d'acquisition des infrastructures.

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.

La puissance de l'infrastructure requise est obtenue en divisant l'énergie requise quotidiennement par le nombre d'heures disponibles. Celle-ci serait donc d'au moins 32 kW (378 kWh / 12 h). Ceci signifie qu'une borne de 50 kW pourrait répondre à ce besoin

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 2007 seraient donc les suivants :

Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 2007

<b>Capacité de la batterie embarquée</b>	442 kWh
<b>Puissance de la borne de recharge</b>	BRCC 50 kW
<b>90 % des opérations remplies ?</b>	<b>Non</b>

En date de la rédaction de ce rapport, aucun produit existant ne propose une batterie ayant la capacité nominale requise pour électrifier le camion 2007. La plus grosse batterie disponible sur le marché est d'environ 315 kWh, ce qui limiterait le nombre de journées possibles à compléter en hiver.



## Camion # 2007

Hino 338 2020 | Porteur Classe 7 – PNB 15 000 kg

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 442 kWh peut être posée. Le coût du diesel considéré est 2,00 \$/L et le coût de l'électricité est estimé à 0,12 \$/kWh. Une économie de 159 150 \$ pourrait être envisagée sur 10 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.

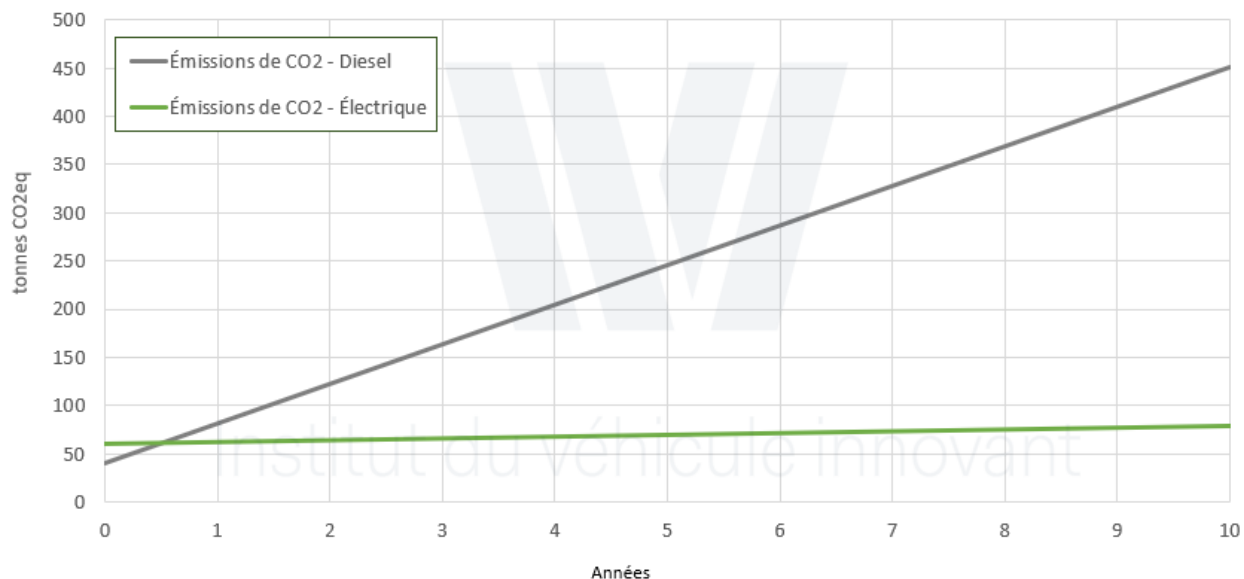
Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les économies potentielles indiqués au Tableau 10. Celles-ci sont calculées sur 10 ans.

Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 2007

Coût annuel de carburant avant électrification	23 771 \$
Coût annuel d'électricité	7 856 \$
Économie annuelle de coûts d'énergie	15 915 \$
<b>Économie d'énergie potentielle après 10 ans</b>	<b>159 150 \$</b>

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 372 tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 26 845 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 13: Émission sur la vie du camion 2007, Diesel vs. Électrique







## Camion # 2007

Hino 338 2020 | Porteur Classe 7 – PNB 15 000 kg

L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification de la route 2007 pour l'instant, puisque les camions actuellement offerts ne disposent pas de batteries stockant suffisamment d'énergie.

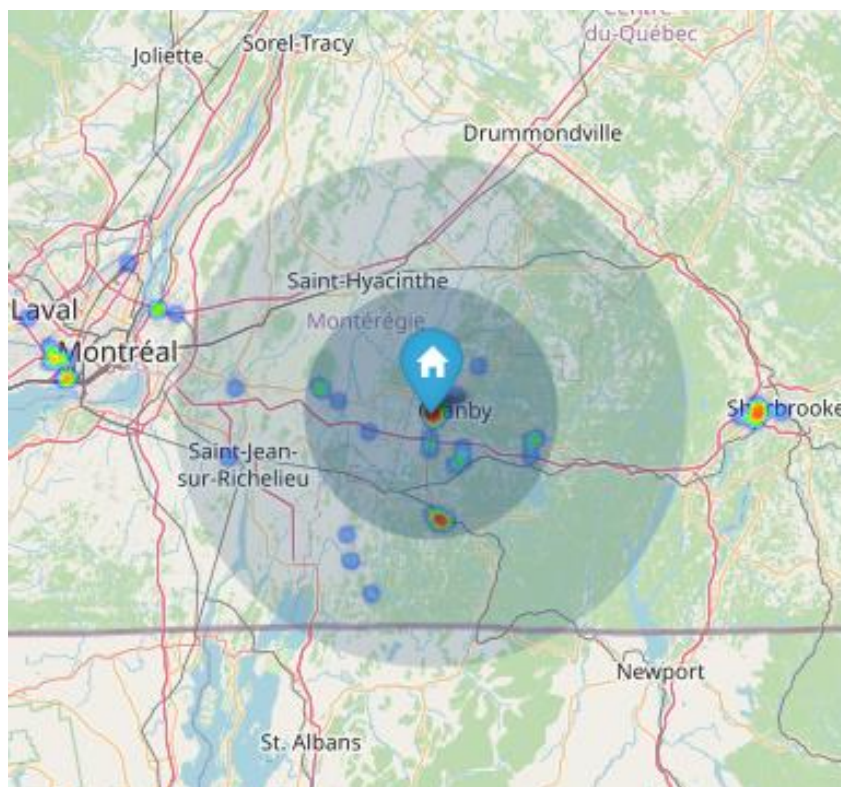
Lors de la phase d'analyse, le camion s'est arrêté plus de 1h30 à chaque jour chez son client dédié à Granby. Installer une borne de recharge supplémentaire à cet endroit permettrait d'utiliser ces temps d'arrêt pour recharger la batterie durant la journée, et diminuerait la capacité de batterie requise. Cependant, une borne de 50 kW ne serait toujours pas suffisante pour permettre de recommander l'électrification avec une batterie de 315 kWh. Une borne plus puissante pourrait rendre ceci possible, mais étant donné que la recharge serait faite sur deux sites il faudrait également payer l'appel de puissance à ces deux sites, réduisant de façon significative la rentabilité.



## 11. Analyse du camion 2009

Le camion 2009 est utilisé pour des livraisons variées en chargement partiel (LTL). Il est utilisé sur deux quarts de travail. Durant le jour, il effectue des livraisons locales, alors que le soir il se rend généralement à Montréal.

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 :



Les lieux les plus fréquemment visités durant le jour sont Granby, Cowansville et Sherbrooke. Les deux premiers sont à l'intérieur du rayon de 25 km par rapport au dépôt de LogiQ Transport, alors que la dernière est à plus de 50 km.

La nuit, le camion se rend principalement à Longueuil et dans le sud-ouest de Montréal.

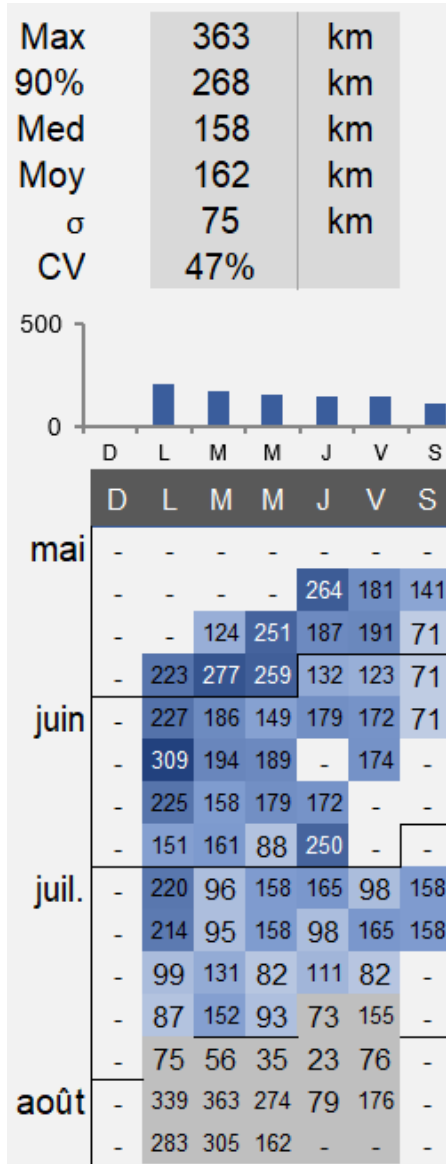
Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 2009 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de LogiQ Transport



Le camion 2009 se déplace en Estrie durant le jour, et à Montréal la nuit. Cela explique que l'indice de dénivelé soit moyen, et qu'il ait une valeur entre les camions 40 et 2007, dont les opérations ressemblent respectivement plus aux nuits et aux journées du camion 2009.



Tableau 11 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 2009



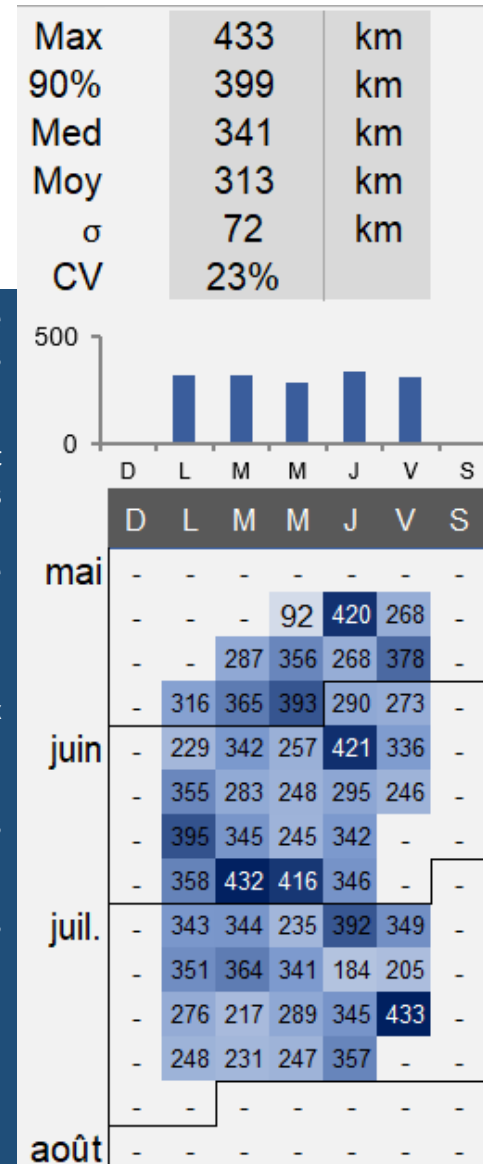
Le détail des distances parcourues chaque jour de l'analyse est présenté dans les trois sections du tableau suivant. En haut se trouvent les distances principales de l'analyse et en bas, un calendrier des distances. Le dégradé des teintes permet de visualiser l'intensité des déplacements de chaque jour de plus de 5 km. Le graphique du milieu montre les moyennes de déplacement pour chaque journée de la semaine.

Le camion 2009 effectue deux routes, soit une de jour et une de soir. Puisque celles-ci sont bien différentes, il fut jugé utile de les séparer pour les analyser plus en détail.

À gauche se trouve le détail des déplacements de jour. Ceux-ci ont lieu cinq ou six jours par semaine, du lundi au samedi. Les journées sont de moins en moins longues à mesure que la semaine avance. Le 90<sup>e</sup> percentile de distance parcourue est de 268 km, mais une grande partie des journées sont beaucoup moins longues que cette valeur.

La figure à droite montre les opérations de nuit. Celles-ci sont deux fois plus longues, et plus stables. Le 90<sup>e</sup> percentile est 399 km. La nuit, le camion fut utilisé cinq soirs par semaine, avec des quarts de travail commençant les lundis soir jusqu'au vendredi soir. Les opérations de nuit ont cessé à la fin du mois de juillet.

Les dates grisées au mois d'août le sont par manque de données sur le chargement. Il n'est donc pas possible de tenir compte de ces journées pour évaluer précisément la consommation électrique du véhicule.



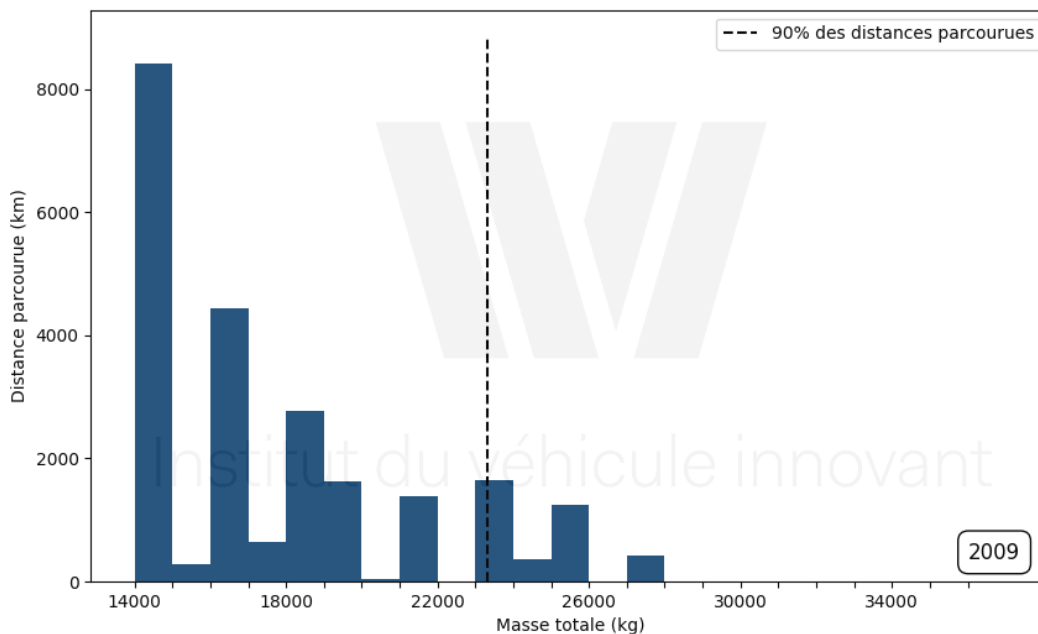


## Camion # 2009

Freightliner Cascadia 2020 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

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

Graphique 14: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 2009



Le chargement du camion 2009 est très varié. Le profil dégressif des chargements, qui se présentent de moins en moins fréquemment lorsque la masse est plus élevée, sont typiques de véhicules qui font de multiples livraisons par jour.

Lors de l'analyse, en aucun temps la masse totale du véhicule n'a atteint 30 000 kg. Un camion électrique accusant un surpoids dû à sa batterie ne causerait pas de pénalité de chargement.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 2009 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 2012

Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	<b>Longues</b>	-
Constance	<b>Varié</b>	-
Dénivelé	<b>Moyen</b>	+/-
Recharge en journée	<b>Possible</b>	+
Chargement	<b>Faible</b>	+
Accessoires	<b>Aucun</b>	+

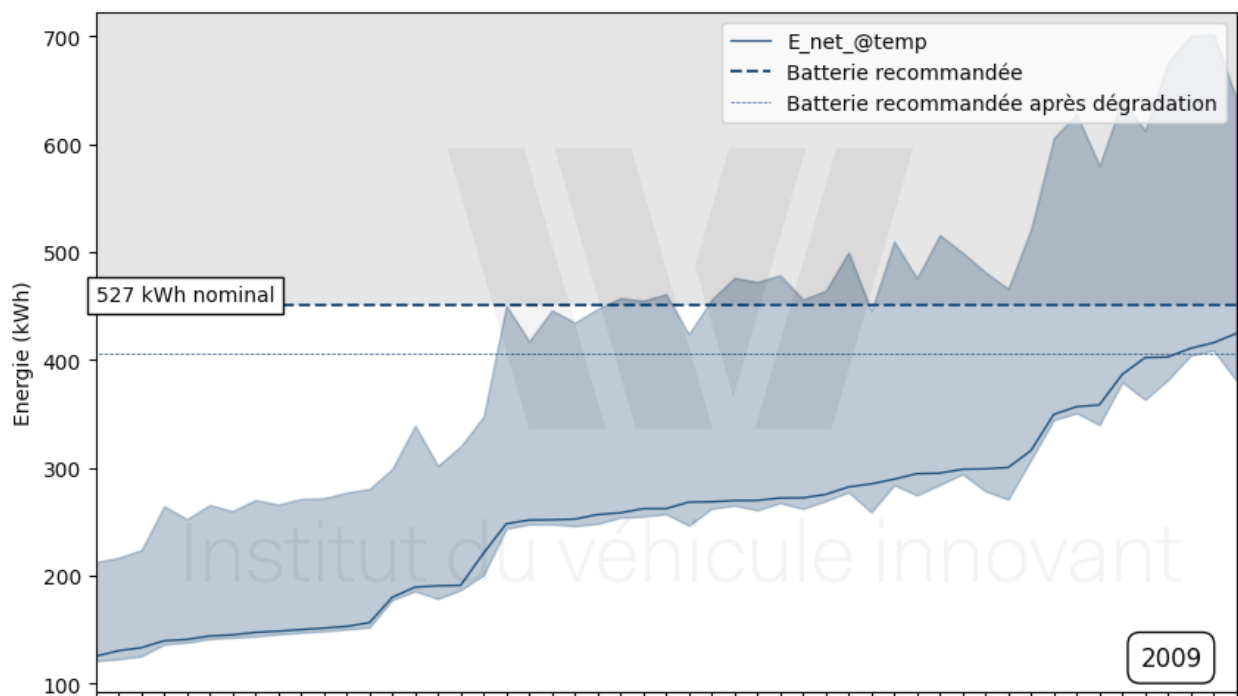


## 12. Scénario d'électrification pour le camion 2009

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.

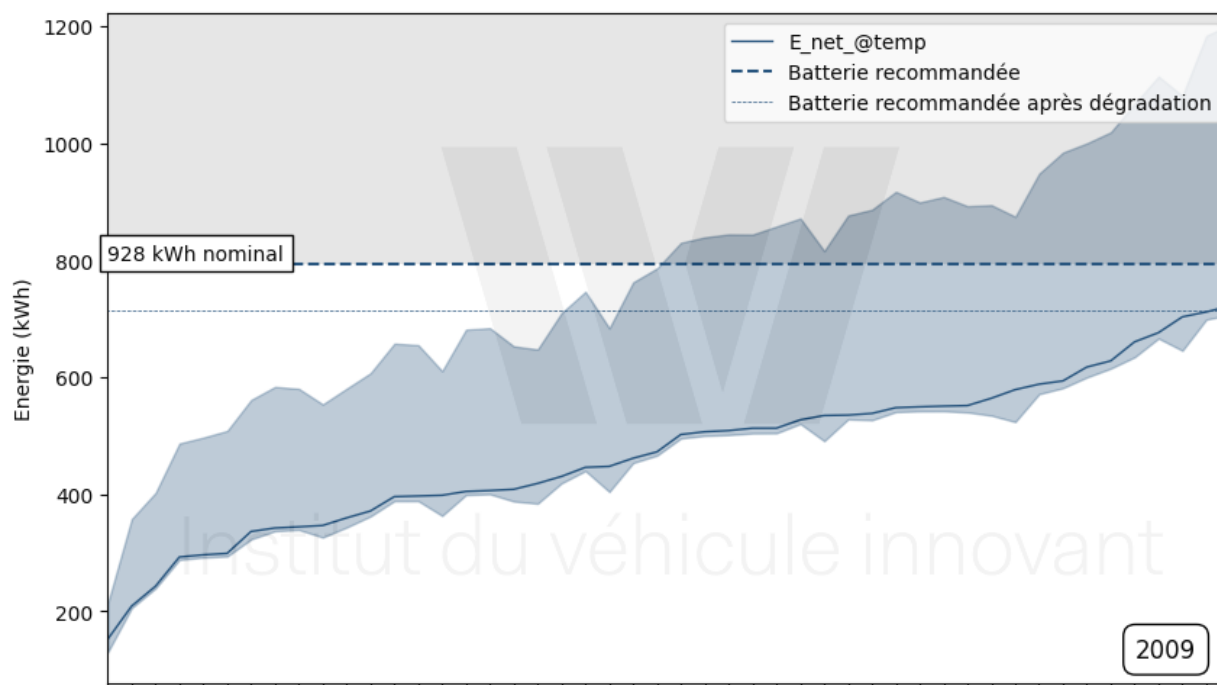
Les deux graphiques suivants montrent la distribution de ces énergies pour chaque jour de l'analyse. Ces jours ont été réordonnés en ordre croissant de besoin énergétique quotidien. Ceci permet de mieux visualiser à quel point la configuration de batterie répondra au besoin. Puisque le camion opère de jour et de nuit, ces deux types d'opération ont été différenciées pour mieux comprendre les possibilités de chaque quart de travail.

Graphique 15: Mesure des opérations de jour du camion 2009, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)





Graphique 16 : Mesure des opérations de nuit du camion 2009, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



#### Guide d'interprétation des graphiques précédents :

- 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 (-20°C). 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.
- Pour compléter les opérations de jour, un camion avec une batterie de capacité nominale de 527 kWh disposerait de 451 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 2009 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.

Les activités de nuit requièrent une batterie contenant plus d'énergie que ce qui est présentement disponible sur le marché. Les livraisons de jour requièrent une batterie plus petite. **La suite du scénario d'électrification tiendra donc seulement compte des activités de jour.**

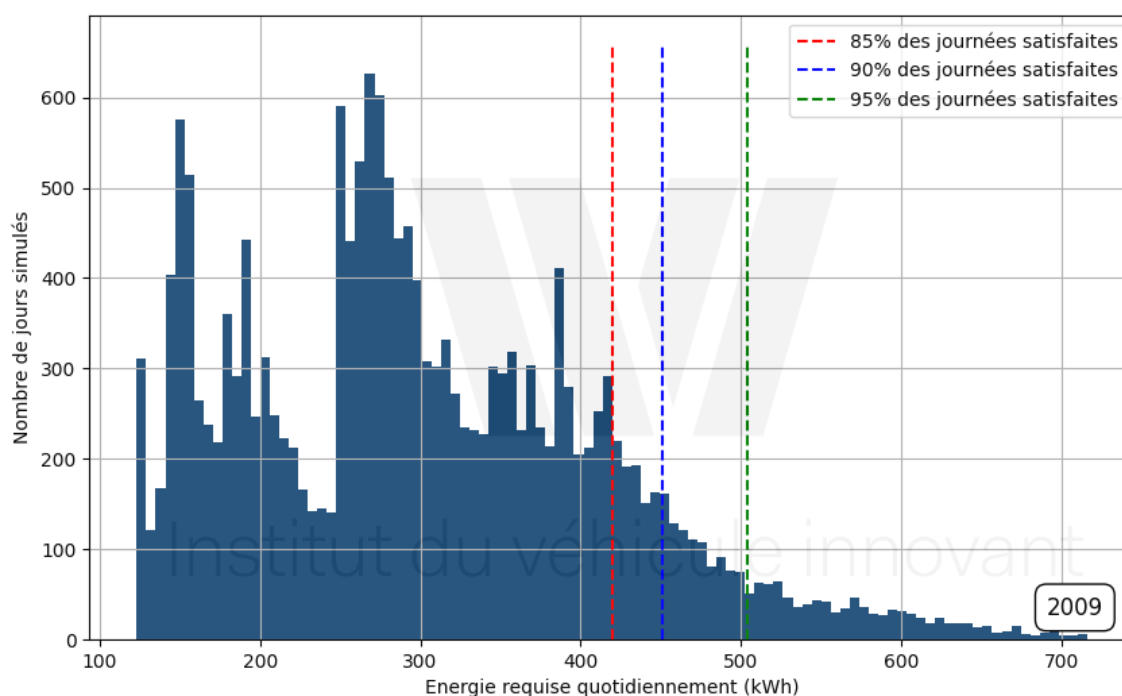
Ces opérations ont représenté 10 821 km durant l'analyse, soit l'équivalent de 43 284 km annuellement.



La consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 150 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

Le Graphique 17 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 17 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 2009



Une batterie de 527 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 492 et de 590 kWh pourrait respectivement satisfaire 85 % et 95 % des journées sur une année moyenne.

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.

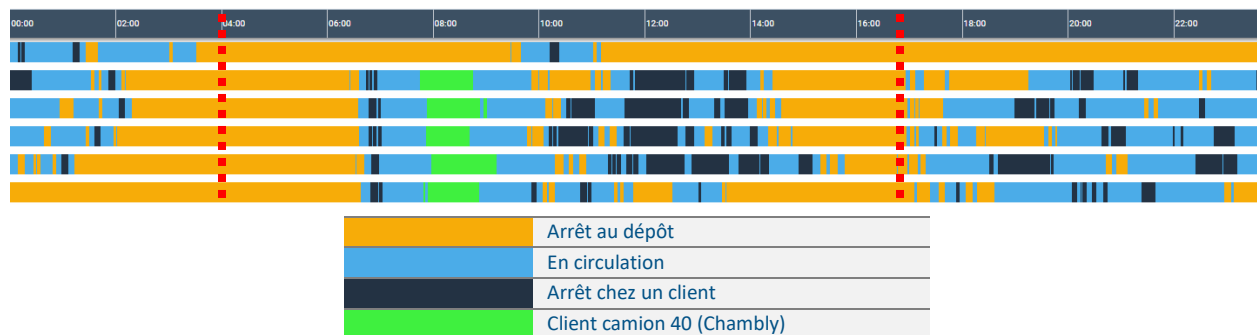
Le Graphique 18 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 2009. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée.



## Camion # 2009

Freightliner Cascadia | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Graphique 18 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 2009



Le Graphique 18 permet de bien visualiser l’horaire de jour et de soir du camion 2009. Il commence sa journée vers 6h30 et termine entre 14h30 et 16h. Le quart de soir débute à 17h, et se termine entre 2h et 4h.

Son premier arrêt à tous les matins se situe à l’une des succursales du client dédié du camion 40. Il s’arrête aussi longtemps à Cowansville la plupart des jours sur l’heure du diner, mais jamais au même endroit.

Le camion dispose donc de 2 – 4 h pour se charger en fin de journée, et 3 – 4 h durant la nuit avant de repartir le matin. Dans un scénario de jour seulement, il disposerait de 14 heures pour se recharger quotidiennement.

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 630 kWh (14 h \* 45 kW). Cette valeur est plus que suffisante pour effectuer une charge complète.

Les paramètres retenus pour un scénario d’électrification des activités diurnes du camion 2009 seraient donc les suivants :

Tableau 13: Paramètres d’électrification retenus pour le camion 2009, activités de jour seulement

<b>Capacité de la batterie embarquée</b>	527 kWh
<b>Puissance de la borne de recharge</b>	BRCC 50 kW
<b>90 % des opérations remplies ?</b>	Oui





## Camion # 2009

Freightliner Cascadia | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

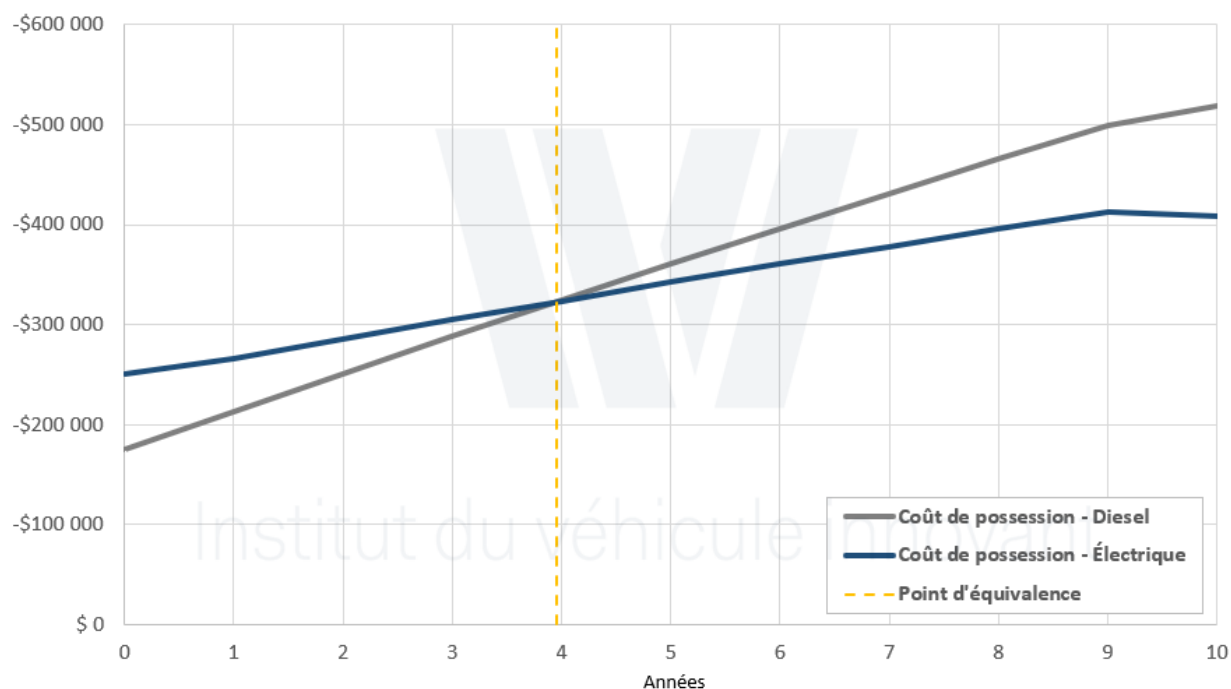
Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 14. Les bénéfices sont comptabilisés sur 10 ans. Ces bénéfices s'appliquent à l'électrification de la route de jour seulement. Ils ne tiennent donc pas compte qu'il soit nécessaire d'attribuer les routes de nuit à un autre camion diesel.

Tableau 14: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 2009

Coût annuel de carburant avant électrification	28 483 \$
Coût annuel d'électricité	9 695 \$
Économie annuelle de coûts d'énergie	18 788 \$
Surcoût total à l'achat (après subventions)	75 000 \$
<b>Période de retour sur investissement</b>	<b>4,0 années</b>
<b>Bénéfice net après 10 ans</b>	<b>109 213 \$</b>
Bénéfice net après 15 ans	191 536 \$

Sur une période de 10 ans, le camion électrique aurait un coût total de 409 060 \$ tandis que le camion diesel coûterait 518 274 \$. La différence représente une économie potentielle 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 19 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 2009



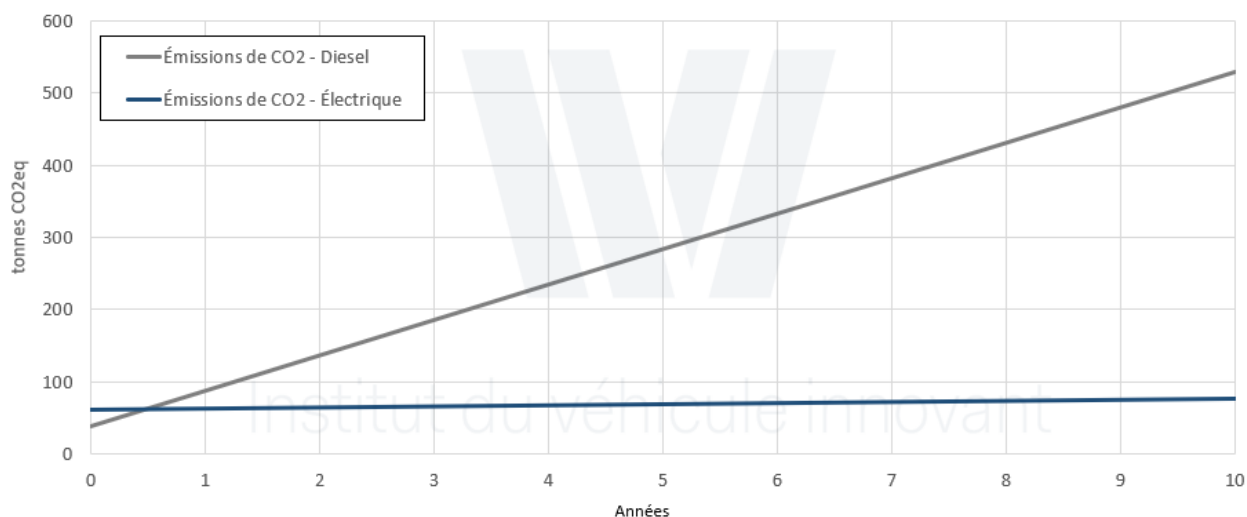


## Camion # 2009

Freightliner Cascadia | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Il est 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 452 tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 20 841 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 20: Émission sur la vie du camion 2009, Diesel vs. Électrique



Pour arriver à recommander l'électrification du camion 2009, il est nécessaire de séparer ses activités en route du jour de nuit. À ce moment, il est possible d'électrifier les opérations de jour. Celles-ci requièrent une batterie de 527 kWh ou plus. Les bénéfices financiers et environnementaux sont aussi très intéressants.

Électrifier les livraisons de nuit nécessiterait une batterie contenant plus d'énergie que celles présentement offertes sur le marché. Lorsqu'une telle batterie sera offerte, il sera possible de compléter les opérations des deux quarts de travail avec un seul camion. Une borne de recharge plus puissante serait alors requise pour permettre de recharger la batterie entre les deux quarts.

Le camion s'arrête à plusieurs reprises par jour au dépôt de LogiQ Transport. Utiliser ces arrêts pour ajouter un peu d'énergie dans la batterie aiderait à électrifier les activités de nuit avec une plus petite batterie. Par exemple, durant la journée, recharger pour toute la durée d'arrêt permettrait d'ajouter 25 kWh par jour régulièrement avec une borne 50 kW. La nuit, une borne de 150 kW serait requise pour ajouter 100 kWh durant les arrêts.

Il revient donc au gestionnaire de flotte de déterminer s'il vaut la peine de conserver le camion diesel pour les opérations de nuit, ou de redistribuer une partie ou l'entièreté de ces livraisons à un autre camion.

## 13. Conclusions et recommandations

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

Véhicule	Camion 40	Camion 2007	Camion 2009
Potentiel d'électrification (/10)	4,4	4,2	8,8
Recommandation d'électrification de l'IVI	Non	Non	Oui (jour)
Capacité totale de batterie requise pour effectuer 85 % des déplacements	727 kWh	416 kWh	492 kWh
Capacité totale de batterie requise pour effectuer 90 % des déplacements	773 kWh	442 kWh	527 kWh
Capacité totale de batterie requise pour effectuer 95 % des déplacements	833 kWh	492 kWh	590 kWh

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

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

Les camions 40 et 2007 sont dans une situation similaire : leur besoin énergétique quotidien dépasse l'offre actuelle de peu. De plus, ils auraient le potentiel de se recharger durant la journée pour diminuer la taille de batterie requise, mais ceci nécessite un partenariat avec leur client dédié respectif et augmente les coûts. La rentabilité d'un tel scénario sera meilleure avec le camion 40.

Les camions électriques actuellement sur le marché ne peuvent répondre au besoin d'énergie quotidien pour compléter la route 2009 dans son entièreté. Cependant, il serait possible dès aujourd'hui d'électrifier les opérations de jour, et ceci apporterait des bénéfices intéressants. Il serait alors nécessaire de déléguer les activités de nuit à un autre véhicule, qui devra être au diesel encore quelque temps.

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 seront 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 de LogiQ 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. Malgré ceci une borne de 50 kW sera suffisante, mais il faudra faire attention de la positionner

à un endroit permettant de recharger le véhicule pendant qu'on y ajoute les marchandises, ou de le rebrancher après. Aussi, plusieurs bornes de recharge rapide publiques pour les camions lourds apparaîtront sous peu au Québec. L'utilisation de ces bornes pourrait être avantageuse pour un camion qui n'a pas l'habitude de repasser au dépôt durant la journée.

Le présent rapport fait l'état des possibilités d'électrification pour trois camions de la flotte de LogiQ Transport. Ces véhicules ont été choisis sur le volet par l'IVI et par le participant 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 LogiQ 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://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://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](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](mailto: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 :*

**GEOTAB.**