Flotte rechargeable
Camions lourds

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

Par : Mathieu Chevigny
Révisé par : Philippe Louisseize, ing.et Charles Trudel, ing.
Date : 5 septembre 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 284807 18
8. Scénario d'électrification pour le camion 284807 21
9. Analyse du camion 284809 27
10. Scénario d'électrification pour le camion 284809 30
11. Analyse du camion 362625 37
12. Scénario d'électrification pour le camion 362625 40
13. Conclusions et recommandations 45
14. Sources des données 47
15. Informations et contact 48
16. Remerciements 49

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 Transkid 14
Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 284807 . 19
Tableau 4 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 284807 20
Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 284807 24
Tableau 6: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 284807 24
Tableau 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 284809 . 28
Tableau 8: Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 284809 29
Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 284809 34
Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 284809 34
Tableau 11 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 362625 38
Tableau 12 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 362625 39
Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 362625 42
Tableau 14: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 362625 43
Tableau 15: Recommandation d'électrification des camions de Transkid 45

Liste des figures

Figure 1 : Échelle de dénivelé allant du plus petit dénivelé au plus grand 8
Figure 2 : Exemple de camions utilisés durant la période d'instrumentation 13
Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 284807 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Transkid 18
Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 284809 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Transkid 27
Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 362625 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Transkid 37

Liste des graphiques

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion 15
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Transkid 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 284807 . 20
Graphique 5: Journées de mesure du camion 284807, 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 284807 22
Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 284807 23
Graphique 8 : Comparaison des coûts totaux de possession sur une période de 6 ans, camion 284807 .. 25
Graphique 9: Émission sur une période de 6 ans du camion 284807, Diesel vs. Électrique 25
Graphique 10 : Courbe de décharge et recharge quotidienne du camion 284807 26
Graphique 11: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 284809 29
Graphique 12: Journées de mesure du camion 284809, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh) 30
Graphique 13 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 284809 31
Graphique 14 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 284809 32
Graphique 15 Courbe de décharge et recharge quotidienne du camion 284809 avec batterie de 275 kWh 33
Graphique 16 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 284809 35
Graphique 17: Émission sur la vie du camion 284809, Diesel vs. Électrique 35
Graphique 18: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 362625 39
Graphique 19: Journées de mesure du camion 362625, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh) 40
Graphique 20 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 362625 41
Graphique 21 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 362625 42
Graphique 22: Émission sur la vie du camion 362625, Diesel vs. Électrique 43

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 Tranksid, située à Québec.

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 :

94 % des journées se terminent en ayant parcouru moins de 175 km

94 % des arrêts de nuit au terminal durent 14 heures ou plus, assez pour ajouter 630 kWh avec une borne de 50 kW pour chaque camion

Camion 284807 – Porteur classe 6		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	**Valeur**	
Distances	**Courtes**	+
Constance	**Constant**	+
Dénivelé	**Moyen**	+/-
Recharge en journée	**Oui**	+
Chargement	**Faible**	+
Accessoires	**Non**	+

Estimation de consommation électrique en été	102 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	129 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Non
Capacité nominale requise pour 90 % des journées sans recharger durant la journée	254 kWh
Batterie disponible ?	Oui

Camion 284809 – Porteur classe 6		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	**Valeur**	
Distances	**Courtes**	+
Constance	**Constant**	+
Dénivelé	**Moyen**	+/-
Recharge en journée	**Oui**	+
Chargement	**Faible**	+
Accessoires	**Non**	+

Estimation de consommation électrique en été	112 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	142 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Non
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	318 kWh
Batterie disponible ?	Oui

Camion 362625 – Porteur classe 6		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	**Valeur**	
Distances	**Moyenne**	+/-
Constance	**Constante**	+
Dénivelé	**Moyen**	+/-
Recharge en journée	**Non**	-
Chargement	**Faible**	+
Accessoires	**Non**	+

Estimation de consommation électrique en été	113 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	139 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Non
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	391 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 d'instrumentation, et de déterminer quels seraient les besoins énergétiques quotidiennes 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 manufacturiers de camions.

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

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

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

De plus, le gestionnaire de flotte doit prévoir qu'une dégradation surviendra, ce qui diminuera la capacité de la batterie au fil de l'utilisation. Ainsi, après plusieurs années, 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
100 kWh	**90 kWh**	**85 kWh**	**75 kWh**

4. Limites de l'analyse

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

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

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

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

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

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

5. Présentation de l'entreprise

Fondée en 2007, Transkid est une entreprise spécialisée dans le transport de marchandises LTL (*less-than-truckload*) et TL (*truck load)*, ainsi que dans les services d'entreposage. L'entreprise compte maintenant 3 centres de distribution ainsi que plus de 120 employés.

L'entreprise située à Québec opère un total de 52 camions, dont des camions porteurs, des tracteurs et des porteurs munis de rideaux.

L'entreprise conserve actuellement ses camions sur une période de 6 ans. Cette décision a été prise car leurs analyses internes démontrent qu'après cette période le coût d'entretien augmente significativement, rendant justifiable le remplacement du véhicule. Cette durée de vie sera donc utilisée pour les scénarios d'électrification présentés dans ce rapport.

6. Véhicules analysés

Suite aux discussions avec le gestionnaire du parc, les trois camions retenus pour l'analyse sont les unités 284807, 284809 et 362625. Les trois camions choisis sont des porteurs de classes 6 de la marque Freightliner et de modèle M2.

Figure 2 : Exemple de camions utilisés durant la période d'instrumentation

Ces camions ont été retenus, car ils répondaient aux critères généraux de sélection quant aux distances approximatives parcourues et au retour au dépôt la nuit. En effet, les trois camions font des livraisons dans la région de Québec et de Lévis. Ils reviennent au dépôt de Transkid chaque soir. Transkid compte actuellement environ 10 porteurs qui opèrent sur des routes similaires aux trois véhicules étudiés.

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 Transkid.

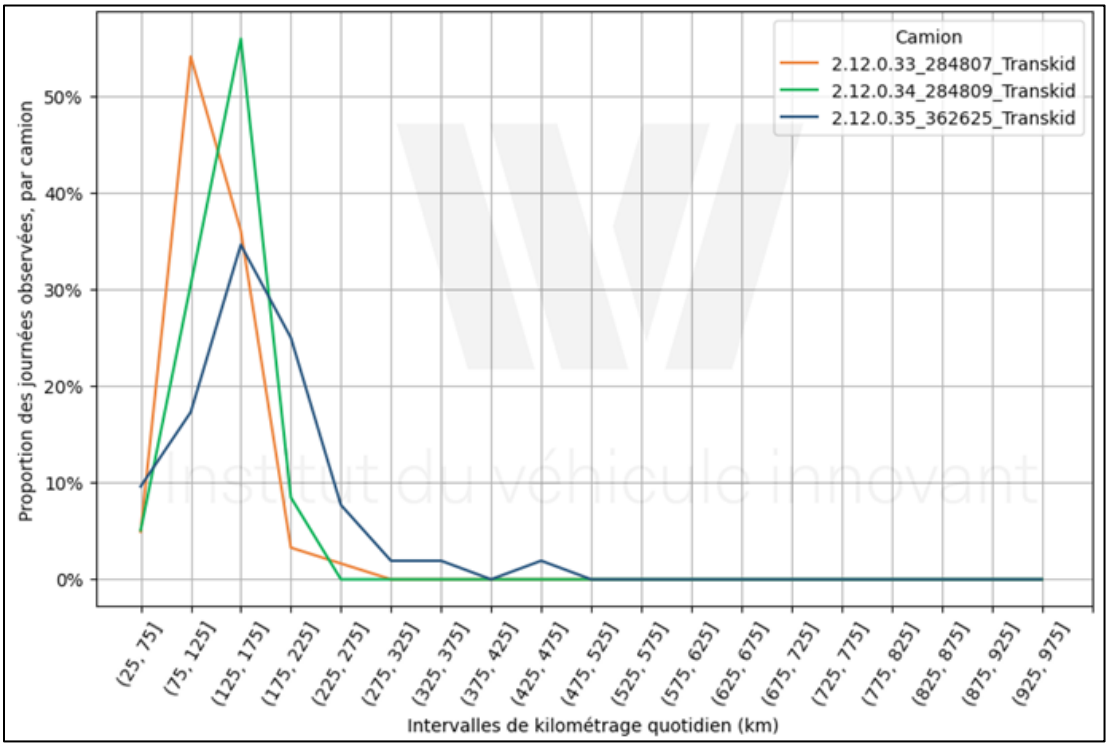
Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation des véhicules de Transkid

Camion #	284807	284809	362625
Distance parcourue			
Durant le test	8 914 km	9 151 km	10 954 km
Annuellement (estimée)	30 564 km	31 375 km	37 557 km
Carburant			
Consommé durant le test	2 599 L	2 578 L	2 860 L
Consommé annuellement (estimé)	8 911 L	8 839 L	9 806 L
Consommation moyenne	24,8 L/100 km	25,4 L/100 km	23,7 L/100 km
Ralenti			
Temps par jour en moyenne	0,7 h	0,2 h	0,3 h
Carburant consommé au ralenti par jour	5,4 L	3,7 L	4,0 L
Carburant consommé par année (estimé)	1 345 L	874 L	903 L
Opérations			
Vitesse moyenne en déplacement	31,9 km/h	36,9 km/h	41,2 km/h
Nombre de jours actifs durant l'analyse	73 jours	69 jours	66 jours
Masse totale moyenne pondérée	9 360 kg	10 056 kg	9 308 kg

En observant le Tableau 2, il est possible de constater que les trois camions ont des statistiques plutôt similaires, à part le fait que le camion 362625 a parcouru une distance supérieure durant la période d'instrumentation. Ceci est cohérent puisque les trois camions étudiés sont des Freightliner M2 2020 qui ont des routes similaires. La consommation du 362625 est légèrement inférieure à la consommation des deux autres camions. La vitesse moyenne de ce camion est plus élevée, car il passe plus de temps sur l'autoroute. Ceci pourrait expliquer la consommation plus basse pour une motorisation diesel.

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.

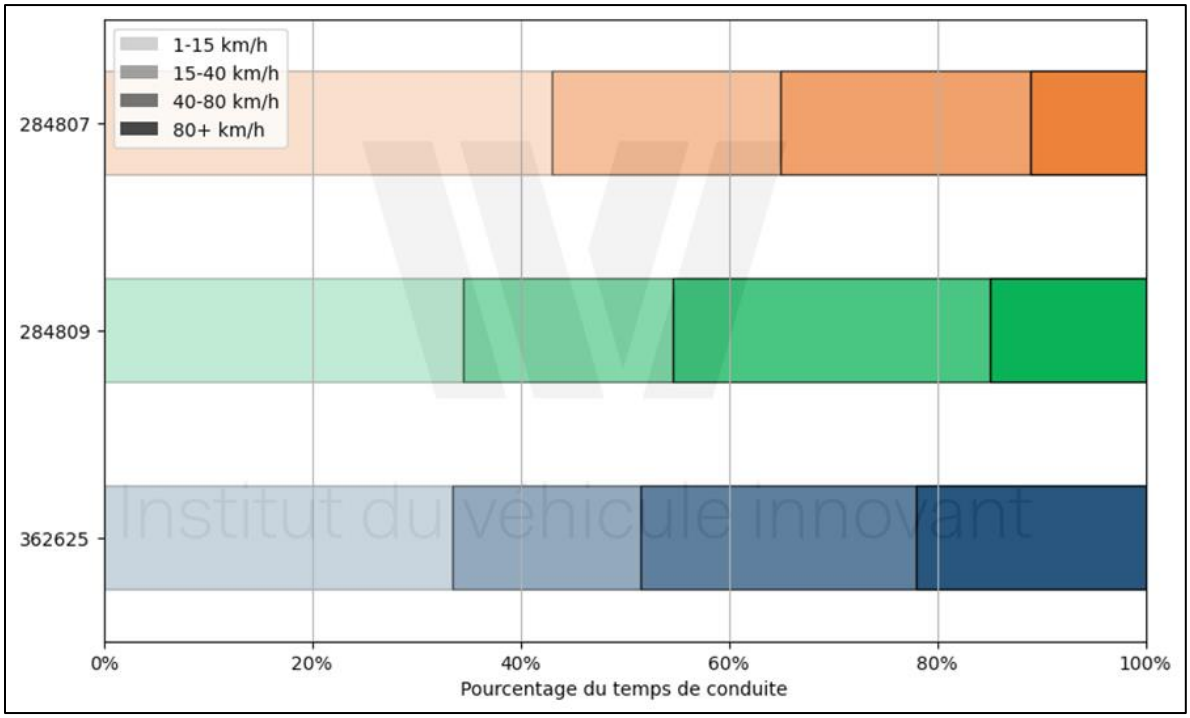
Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion



En observant le Graphique 1, il est possible de remarquer que les trois camions parcourent des routes plutôt courtes. Plus de 90 % des journées réalisées durant la période d'analyse par les camions 284807 et 284809 consistaient en des routes de 175 km et moins. Pour ce qui est du camion 362625, plus de 90 % des journées parcourues durant la collecte de données consistaient en des routes de 225 km et moins.

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.

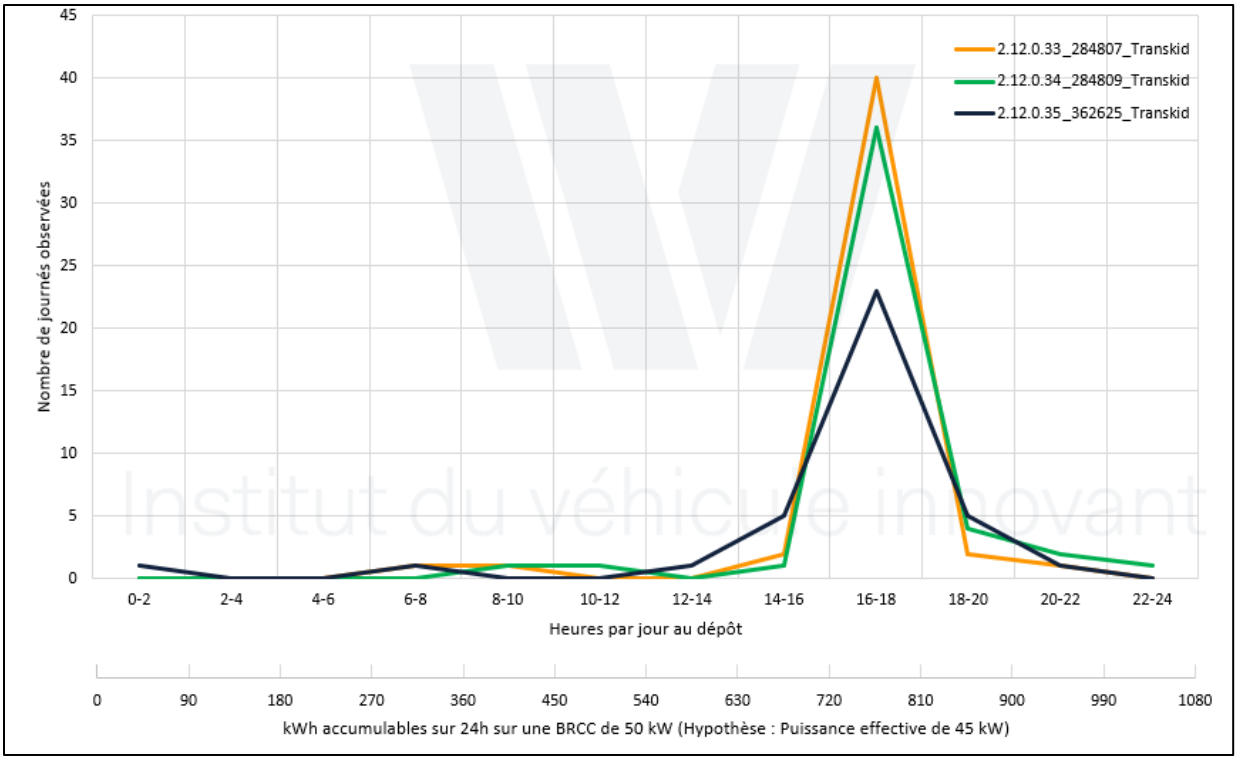
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Transkid



Pour ce qui est des trois véhicules observés, il est intéressant de noter que le camion 284807 et 284 809 n'ont pas passé beaucoup de temps à vitesse d'autoroute tandis que le camion 362625 a passé un peu plus de 20 % du temps de conduite durant la période d'instrumentation dans cette tranche de vitesse.

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 opérés par Transkid reviennent au dépôt durant la nuit donc, ils pourraient utiliser ce temps pour la recharge. Le Graphique 3 montre la répartition des heures passées sur le terrain de Transkid à l'arrêt.

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



Le graphique ci-dessus montre une échelle de l'énergie pouvant potentiellement être restituée à la batterie durant les heures d'arrêt au dépôt. 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 pourrait suffire aux besoins d'un camion électrique.

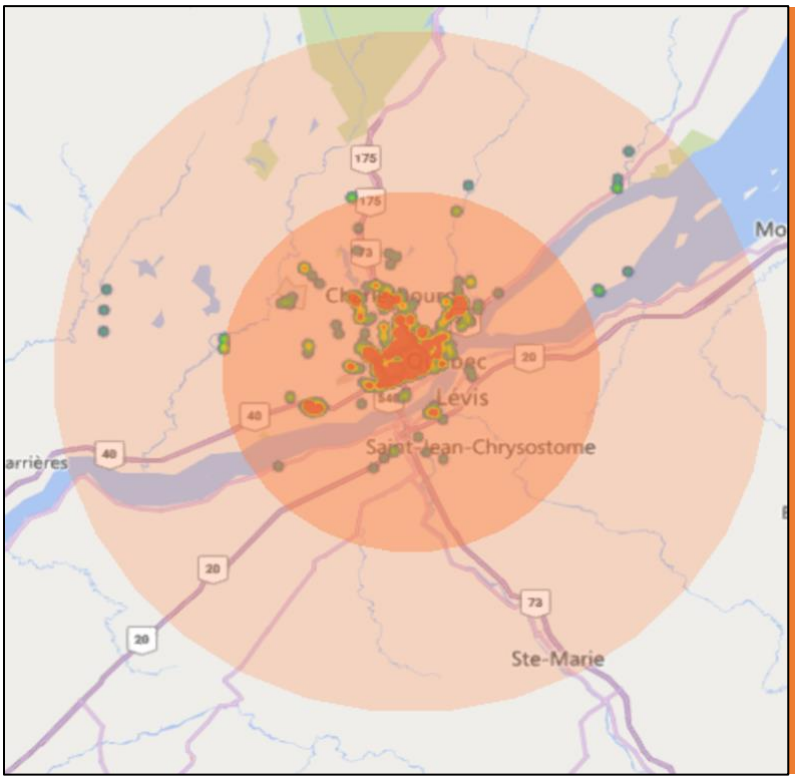
Les trois camions analysés ont passé plus de 14 h par jour à l'entrepôt de Transkid pour plus de 94 % des jours durant la période de collecte de données.

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 284807

Le camion au diesel 284807 est utilisé pour effectuer du transport de type LTL (*less-than-truckload*). Il commence sa journée en effectuant plusieurs livraisons, après quoi il fait des cueillettes. Il ramène donc la marchandise récupérée à l'entrepôt de Transkid à la fin de la journée.

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



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

Il est possible de voir que les points sont condensés dans le centre du premier cercle qui correspond à un rayon de 25 km autour de l'entrepôt de Transkid. Ceci montre que le camion fait beaucoup de courtes distances aux alentours de l'entrepôt.

Il est intéressant de noter que le camion passe par l'entrepôt de Transkid une ou deux fois durant la journée. Un des arrêts est souvent effectué dans les alentours de 12 h et il dure entre 0,5 et 1 h.

Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 284807 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Transkid

Le dénivelé du territoire parcouru est un critère important dans l'évaluation de la consommation d'énergie. Le camion 284807 se déplace majoritairement autour de la ville de Québec, mais il effectue également quelques livraisons en dehors de celle-ci. Ceci explique l'indice obtenu puisque ce territoire comporte quelques côtes.

Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 4,1 mètres pour chaque kilomètre parcouru.

Le détail des distances parcourues chaque jour de la collecte de données est présenté dans le tableau 3. Celui-ci comporte trois sections pour couvrir l'entièreté des détails des déplacements du camion. En haut, la distance maximale, au 90e percentile, médiane et moyenne sont présentées, ainsi que l'écart-type (σ) et le Coefficient de Variation (CV).

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

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

Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 284807

Dans la première section du tableau 3, le 90e percentile est très intéressant, car il est bas à 150 km. Cette valeur pourrait être considérée comme étant la valeur maximale par le gestionnaire de flotte puisque le camion ne dépassera que très rarement cette distance quotidiennement. La moyenne et la médiane sont très proches, ce qui suggère que les valeurs sont plutôt symétriques et qu'il n'y a pas de valeurs extrêmes importantes.

Le graphique à bande permet de voir que le camion ne circule pas la fin de semaine, sauf pour une exception. Ses journées sont très constantes.

Le dégradé de couleur dans le calendrier démontre que les journées sont en grande partie constantes et courtes.

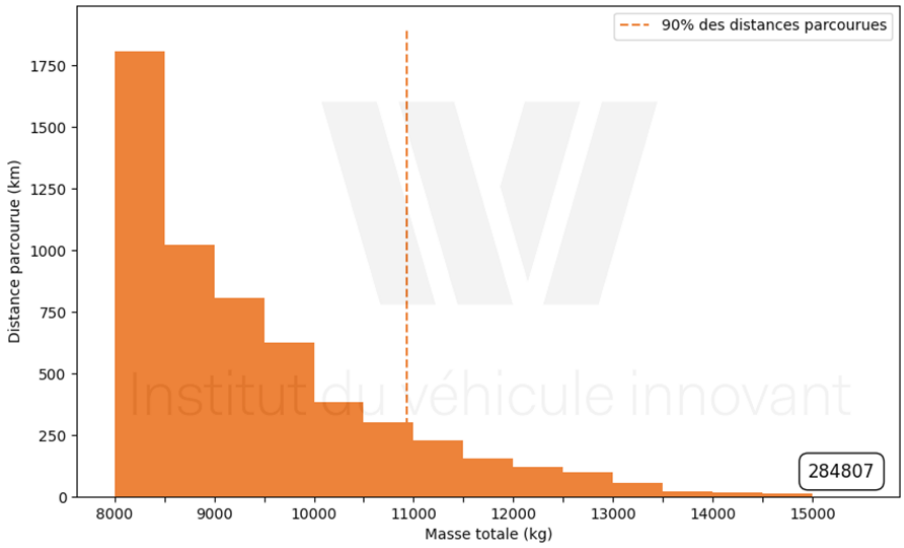
Les journées dont les cases sont grisées n'ont pas été considérées dans le scénario d'électrification, car le chargement du camion n'a pas été compilé pour ces journées.

Max	232	km
90%	150	km
Med	120	km
Moy	118	km
σ	34	km
CV	29%	

	D	L	M	M	J	V	S
	-	-	-	-	-	-	-
févr.	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	124	125	121	-
mars	24	89	139	141	121	154	-
	-	101	136	150	97	93	-
	-	95	136	127	119	64	-
	-	124	140	128	151	122	-
avr.	-	108	85	49	126	232	-
	-	-	104	107	100	94	-
	-	134	140	120	98	97	-
	-	186	98	179	104	89	-
	-	120	108	128	79	135	-
mai	-	92	131	129	92	107	-
	-	143	126	89	114	88	-
	-	-	160	62	151	113	-
	-	-	-	-	-	-	-

L'énergie requise pour chaque accélération et chaque montée est directement proportionnelle à la masse totale du véhicule, incluant son chargement. Puisque le camion 284807 effectue plusieurs livraisons variées durant la journée, sa masse totale a été considérée entre chaque trajet. La masse totale des chargements en début de journée ainsi que la masse des cueillettes a été comptabilisée chaque jour et elles ont été réparties également sur le nombre d'arrêts effectué par le camion. Cette répartition est une hypothèse émise par l'IVI afin de compléter l'information obtenue du gestionnaire de flotte. Elle a un impact imperceptible sur le scénario d'électrification du camion 284807. Le graphique suivant montre le chargement typiquement transporté.

Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 284807



Le camion 284807 est utilisé pour effectuer du transport LTL. Ce type de transport indique que le véhicule circule souvent sans être pleinement chargé. Ce qui explique pourquoi il a parcouru la majeure partie de ces distances avec une masse totale plutôt faible.

Un camion lourd électrique à une masse totale supérieure d'environ 2000 kg versus un camion équivalent au diesel. Cette masse supplémentaire n'impacte pas le chargement du camion 284807.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 284807 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 284807

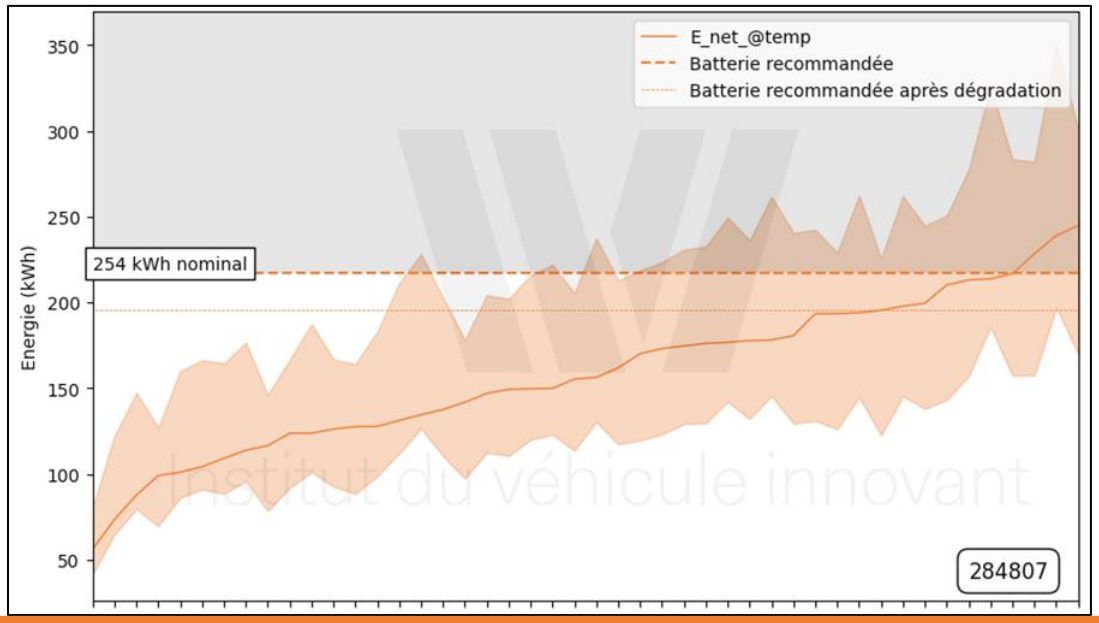
Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	**Courtes**	**+**
Constance	**Constant**	**+**
Dénivelé	**Moyen**	**+/-**
Recharge en journée	**Oui**	**+**
Chargement	**Faible**	**+**
Accessoires	**Non**	**+**

8. Scénario d'électrification pour le camion 284807

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 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 284807, 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 254 kWh totaux disposerait de 217 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 284807 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.

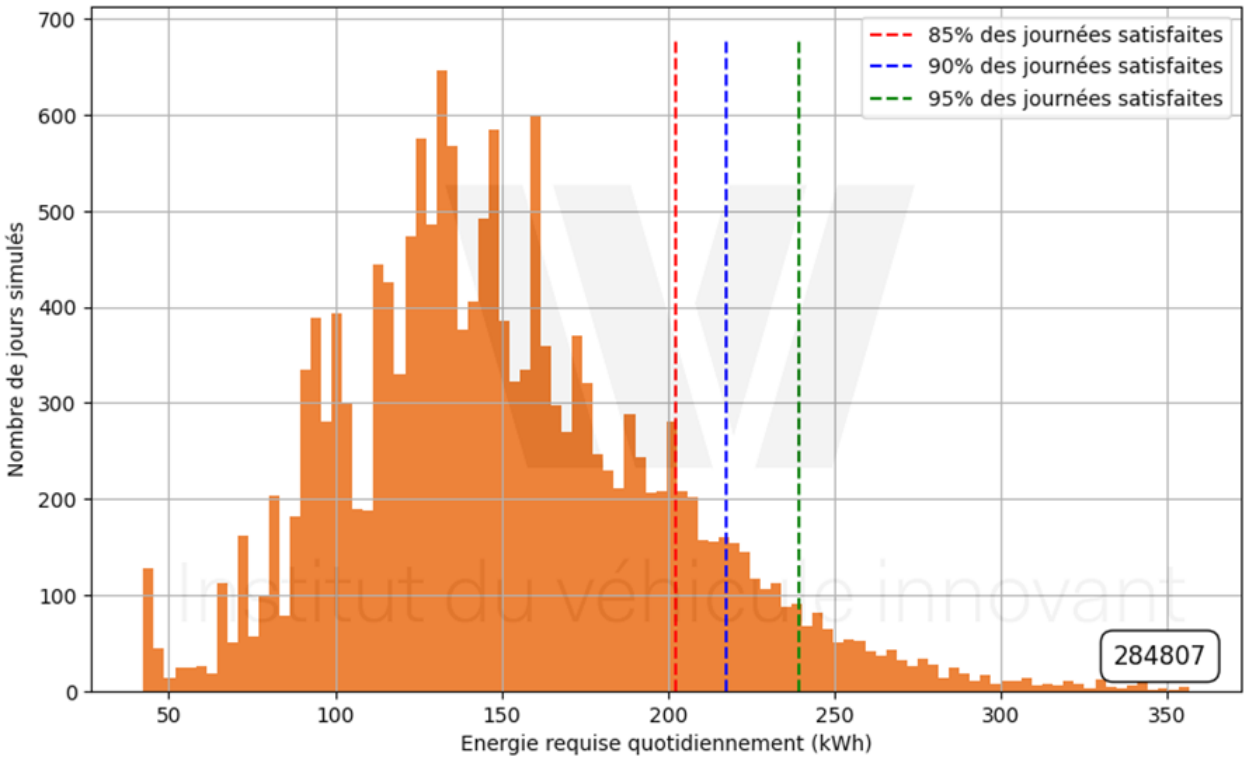
La consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 102 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

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 leurs 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 284807



Pour compléter l'entièreté des trajets d'une journée de 90 % du temps sur une année complète, l'IVI estime que la batterie requise devrait avoir une capacité utilisable avec marge de 217 kWh, ce qui équivaut à une batterie dotée d'une énergie nominale 254 kWh.

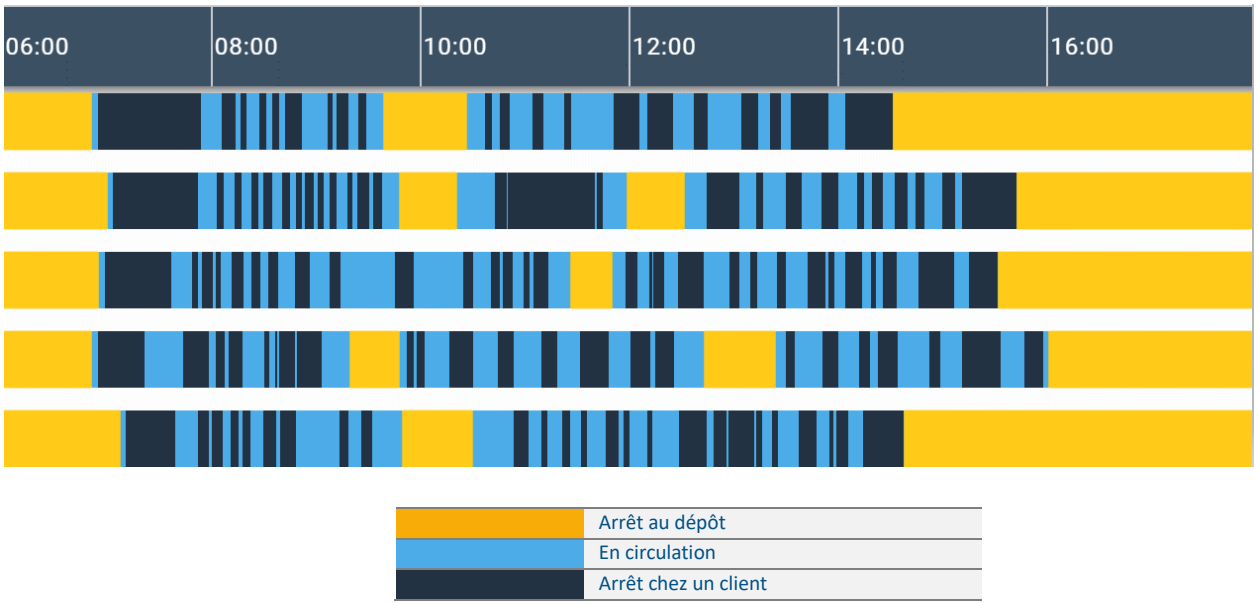
Pour compléter 95 % des journées, la capacité nominale est de 280 kWh.

Pour compléter 85 % des journées, la capacité nominale est de 237 kWh.

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 284807. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée. Les nuits ont été coupées, car il n'y avait aucun déplacement. La semaine illustrée est celle du 13 mars au 17 mars 2023.

Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 284807



On observe que le camion 284807 quitte le dépôt vers 7 h puis effectue plusieurs arrêts en avant midi. Une fois ses livraisons effectuées, il repasse par le dépôt puis il effectue des cueillettes pour le reste de la journée. Il revient à l'entrepôt entre 15 et 16 h. Il passe donc environ 15 h par jours à l'entrepôt où il peut bénéficier de la recharge.

Le camion revient au dépôt une ou deux fois par jour pour une durée d'environ 30 minutes à une heure.

Une puissance de 50 kW est généralement considérée comme le standard minimal pour un camion lourd. Cependant, une puissance de 24 kW serait suffisante pour ce camion. Cette borne fournirait une puissance réelle au véhicule d'environ 21 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 315 kWh (15 h * 21 kW). Cette valeur est plus que suffisante pour effectuer une charge complète.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 284807 seraient donc les suivants :

Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 284807

Capacité de la batterie embarquée	254 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 24 kW
90 % des opérations remplies ?	Oui

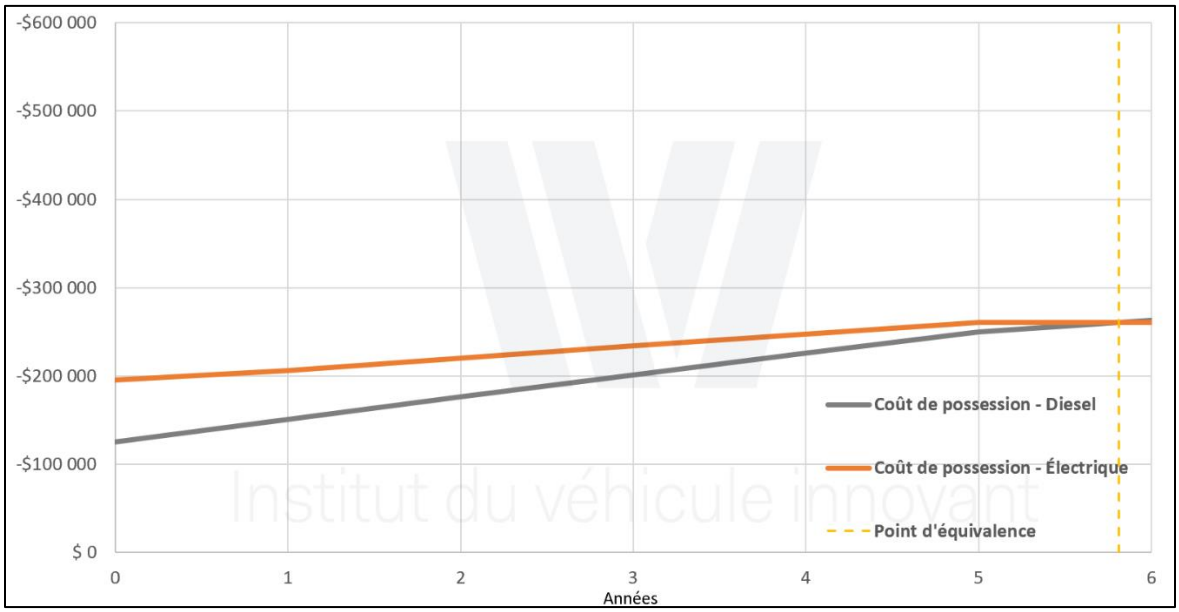
Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 6. Les bénéfices sont comptabilisés sur 6 ans, soit la durée sur laquelle Transkid souhaiterait conserver ce type de véhicule.

Tableau 6: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 284807

Coût annuel de carburant avant électrification	15 539 $
Coût annuel d'électricité	3 962 $
Économie annuelle de coûts d'énergie	11 577 $
Surcoût total à l'achat (après subventions)	70 000 $
Période de retour sur investissement	**5,6 années**
Bénéfice net après 6 ans	**2 446 $**
Bénéfice net après 10 ans	**45 423 $**

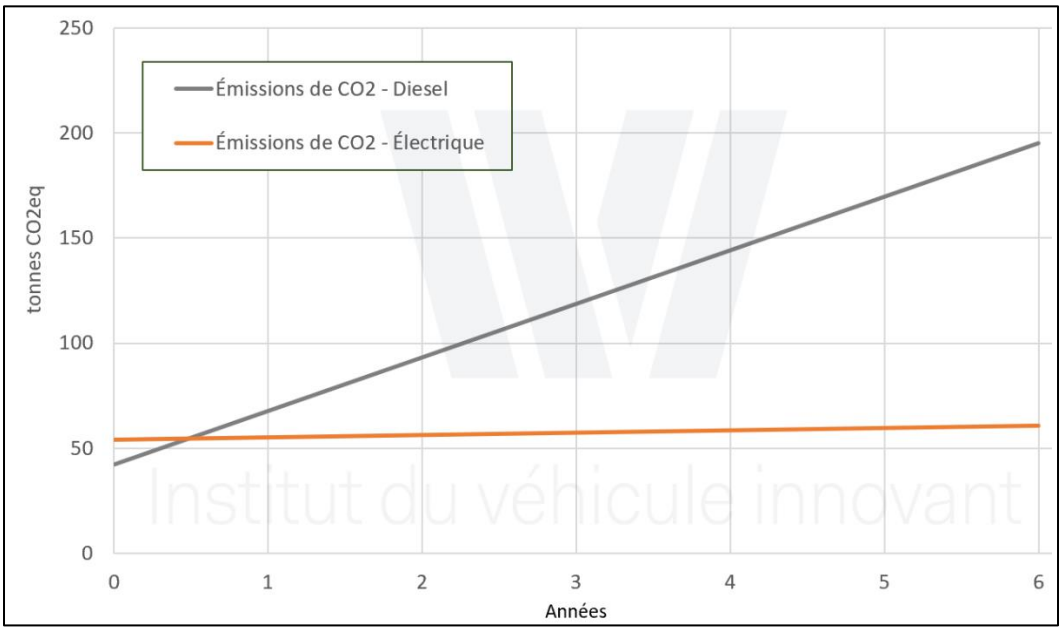
Le bénéfice net calculé est de 2 446 $ sur une période de 6 ans. Ceci est plutôt bas, et s'explique par le faible kilométrage effectué et la courte durée de possession des camions. Afin d'augmenter ce bénéfice, l'IVI a calculé les gains possibles si Transkid gardait ce camion sur une période de 10 ans. Le bénéfice net serait alors plus élevé, soit d'environ 45 423 $. 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. L'hypothèse sur 10 ans est simplement montrée à titre indicatif pour le gestionnaire de flotte. Les graphiques suivants sont basés sur la durée de possession actuelle des camions par Transkid, soit une période de 6 ans.

Graphique 8 : Comparaison des coûts totaux de possession sur une période de 6 ans, camion 284807



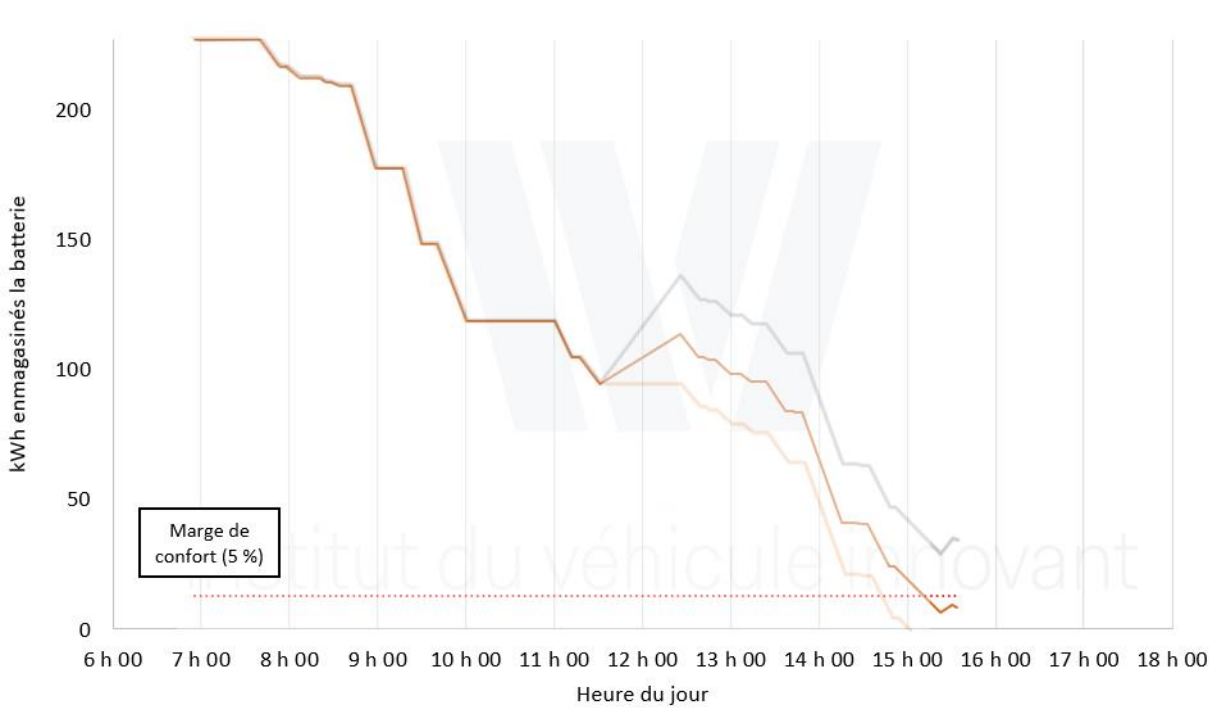
Il est possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 134 tonnes de CO2 équivalent. Un camion électrique est plus polluant à produire, mais définitivement moins polluant à utiliser que son équivalent au diesel. Le point d'équivalence d'émission cumulée de GES arriverait après seulement 14 789 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 9: Émission sur une période de 6 ans du camion 284807, Diesel vs. Électrique



L'IVI recommande l'électrification du camion 284807. Avec une batterie nominale de 254 kWh, il serait en mesure d'effectuer 90 % de ses journées sur une année sans apporter de changement sur sa route ou son chargement. De plus, il a accès à la recharge en journée puisqu'il revient au dépôt de Transkid sur l'heure du midi. **Une heure de recharge lui permettrait d'aller chercher l'énergie requise afin d'effectuer les journées les plus difficiles par temps froid.** La journée du 10 mars 2023 est représentée dans le graphique suivant. La courbe pâle montre que le camion n'arriverait pas à finir cette journée sans recharge tandis que la courbe orange foncé montre l'état du camion avec une recharge sur une borne de 24 kW sur l'heure du midi. La courbe en grise représente le scénario où une borne de 50 kW serait utilisée. Ce scénario permet de rester en dehors de la marge de confort.

Graphique 10 : Courbe de décharge et recharge quotidienne du camion 284807



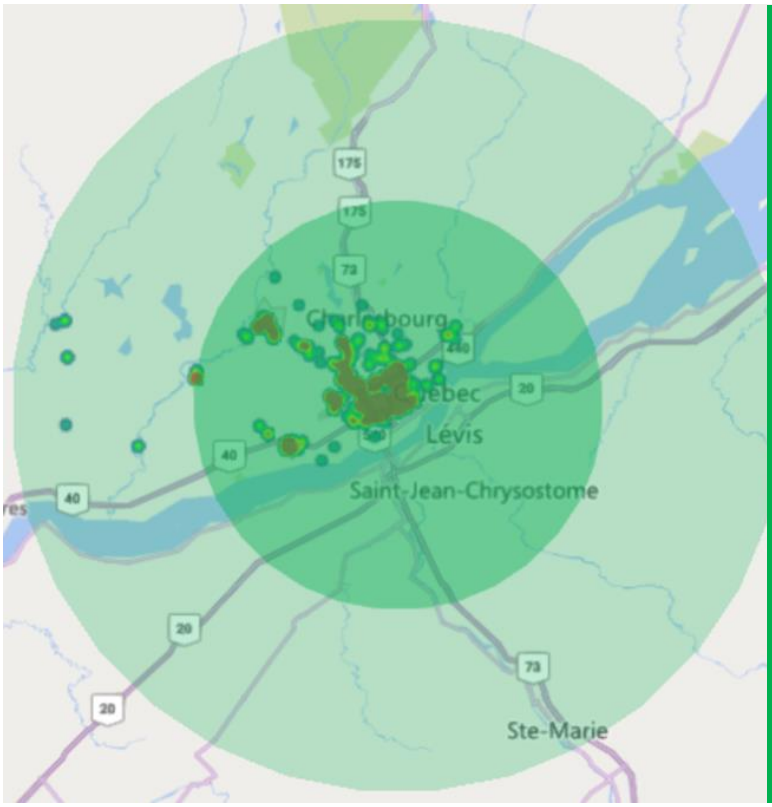
Il est important de noter que l'IVI recommande une borne de 24 kW. Celle-ci permettra au véhicule d'obtenir une recharge complète durant la nuit. Cependant, en date de la rédaction de ce rapport, les subventions disponibles rendent la borne de 50 kW à peine plus coûteuse qu'une borne 24 kW. Il peut être intéressant de comparer les coûts réels des deux bornes avant de passer à l'achat. L'IVI recommande également à la compagnie concernée d'évaluer les coûts en électricité supplémentaires dus à la pointe de puissance appelée engendrée par l'utilisation d'une borne plus puissante.

En conclusion, la route de ce camion est un cas parfait pour l'électrification d'un camion lourd, mais les bénéfices économiques sont très faibles. **Il est recommandé d'évaluer la possibilité de garder le camion électrique sur une période de 8 à 10 ans. Celle-ci permettra d'augmenter les économies monétaires générées par les coûts d'énergie.** Une période de possession plus grande permettra également d'améliorer les bénéfices environnementaux qui sont déjà importants sur une période de 6 ans.

9. Analyse du camion 284809

Le camion au diesel #284809 est utilisé pour effectuer des livraisons et des cueillettes dans la région de Québec. Le camion effectue des trajets de type LTL, *less-than-truckload*.

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



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

Le camion a majoritairement circulé dans un rayon de 25 km autour de l'entrepôt de Transkid. La plupart de ces déplacements durant la période d'instrumentation ont été dans les arrondissements de Sainte-Foy-Sillery-Cap-Rouge, les Rivières et Charlesbourg. Il a également fait plusieurs trajets à Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier.

Le camion effectue un à deux arrêts par jour à l'entrepôt de Transkid. Ces arrêts peuvent être considérés afin d'effectuer des recharges partielles durant la journée.

Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 284809 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Transkid

Le dénivelé du territoire parcouru est un critère important dans l'évaluation de la consommation d'énergie. L'indice de côte du camion 284809 indique qu'il parcourt majoritairement des routes à faible dénivelé. Ceci est cohérent, car il se déplace surtout dans les arrondissements de la ville de Québec.

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

Tableau 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 284809

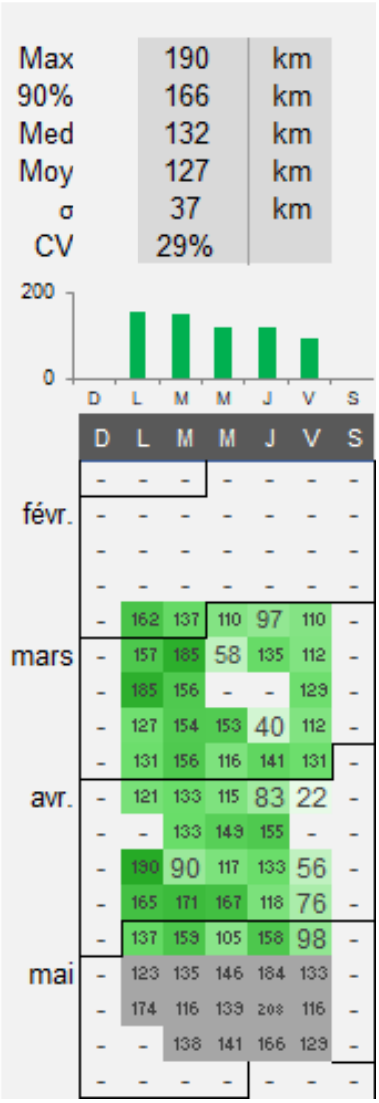
La valeur du 90^{e} percentile est très importante pour le gestionnaire de flotte puisque cette valeur représente la distance quotidienne maximale suggérée du camion. C'est-à-dire que le camion ne va que très rarement dépasser cette valeur. Les cas où le camion effectue plus de 166 km pourront être considérés comme des exceptions. La distance quotidienne moyenne effectuée par ce camion durant la période d'instrumentation est faible, ce qui est bon pour le scénario d'électrification de celui-ci.

Il est possible de constater que ce camion ne se déplace pas les fins de semaine et qu'il effectue des distances plus courtes les vendredis.

Les cases en gris dans le calendrier indiquent des journées où l'IVI a constaté que le camion a effectué une certaine distance, mais où il n'y a pas eu de collecte de chargement. Donc, ils ne peuvent pas être utilisés pour les calculs dans les sections suivantes.

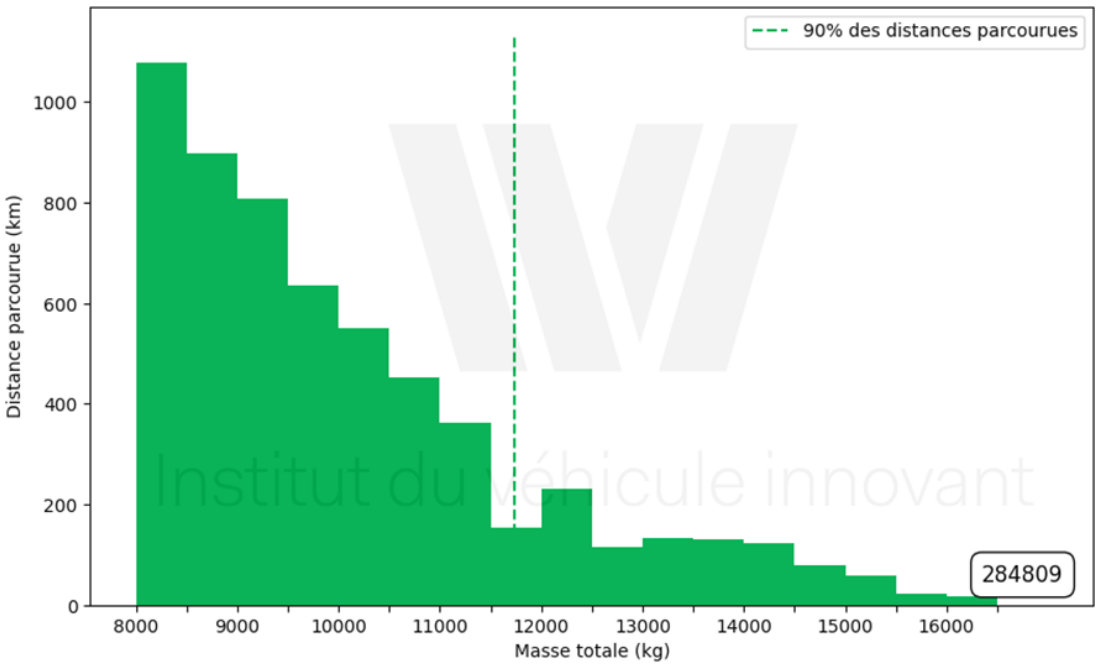
Plus une case est foncée, plus la distance parcourue par le camion cette journée-là est grande. Il est donc possible de constater que ce camion a effectué de petites distances. Ces distances sont plutôt constantes d'une journée à l'autre.

Il est intéressant de noter qu'en plus des courtes distances, ce camion peut bénéficier de la recharge durant la journée puisqu'il revient à l'entrepôt de Transkid durant le jour. Il retourne à l'entrepôt en fin de journée. Donc, un camion électrique effectuant cette route pourrait se recharger durant la nuit.



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 11: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 284809



Tout comme le camion 284807, le 284809 est utilisé pour du transport LTL. Ceci explique pourquoi il a parcouru une bonne portion de la distance durant l'instrumentation avec une masse totale plutôt faible.

Un camion lourd électrique à une masse totale supérieure d'environ 2000 kg versus un camion équivalent au diesel. Cette masse supplémentaire n'impacte pas la majorité des chargements du camion 284809.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 284809 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 284809

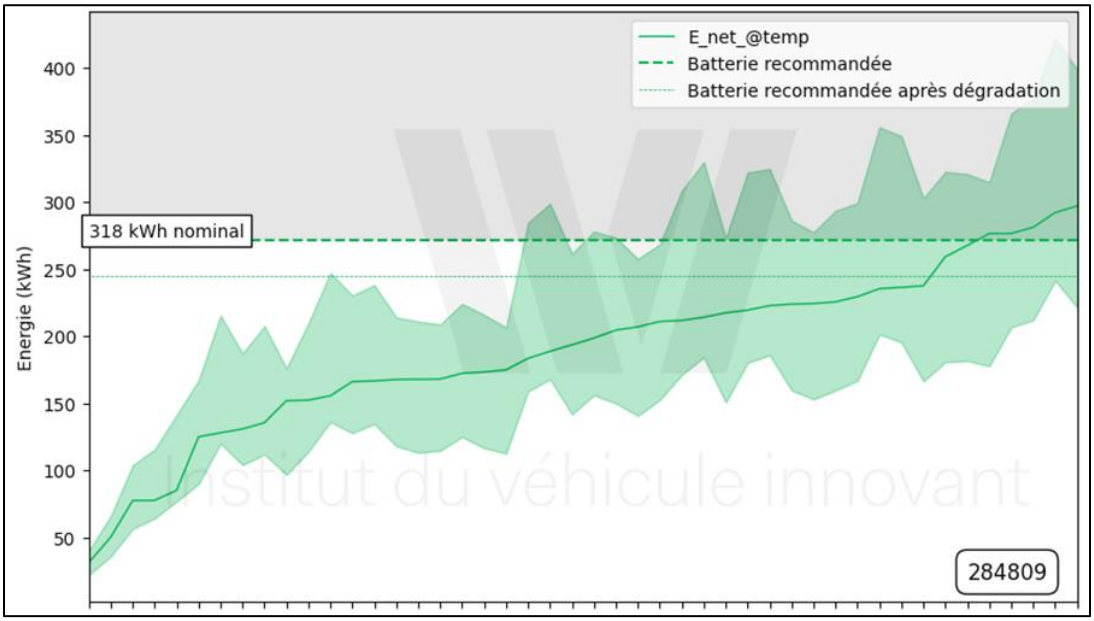
Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	**Courtes**	**+**
Constance	**Constant**	**+**
Dénivelé	**Moyen**	**+/-**
Recharge en journée	**Oui**	**+**
Chargement	**Faible**	**+**
Accessoires	**Non**	**+**

10. Scénario d'électrification pour le camion 284809

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 12 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 12: Journées de mesure du camion 284809, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



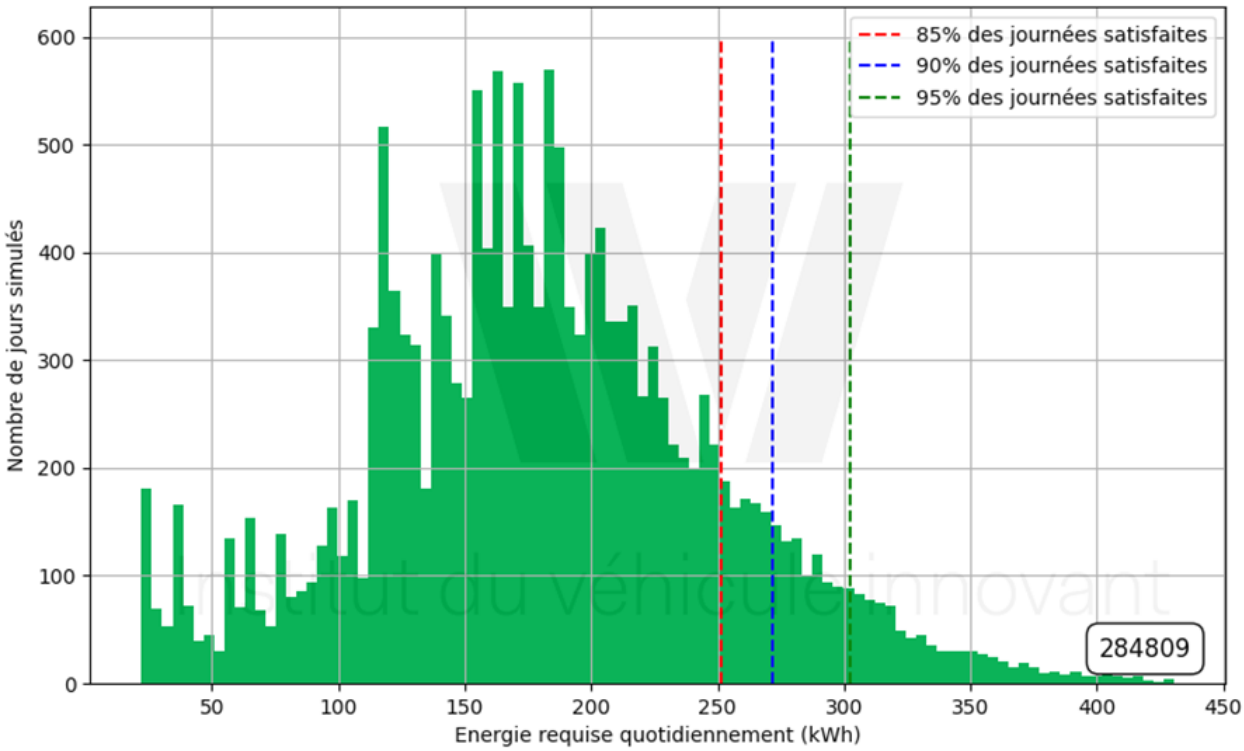
Guide d'interprétation du Graphique 12 :

- 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 318 kWh disposerait de 272 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 284809 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 112 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

Le graphique ci-dessous représente les tailles de batteries recommandées pour accomplir 85%, 90% ou 95% des journées d'une année, sans que le camion électrique 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 13 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 284809

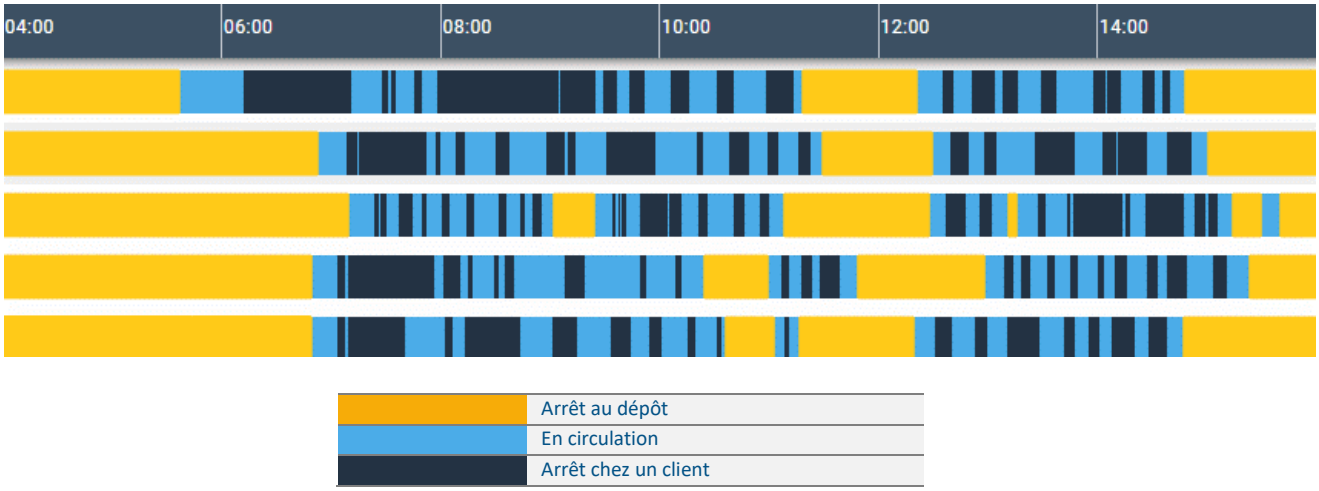


Une batterie de 318 kWh nominale permettrait alors de réaliser 90 % des journées sur une année moyenne en un seul cycle de décharge de la batterie. Tandis qu'une batterie nominale de 294 ou de 353 kWh pourrait permettre au camion d'effectuer respectivement 85 % et 95 % des journées sur une année moyenne, et ce en un seul cycle de recharge.

Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classes 6 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 14 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 284809. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée. Les nuits ont été coupées, car il n'y avait aucun déplacement. La semaine représentée est celle du 27 au 31 mars 2023.

Graphique 14 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 284809



On observe que le camion 284807 quitte le dépôt entre 6 et 7 h puis effectue plusieurs arrêts en avant midi. Il revient à l'entrepôt de Transkid vers 15h. Il passe donc environ 15 h par jour à l'entrepôt où il peut bénéficier de la recharge.

Le camion revient au dépôt une ou deux fois par jour pour une durée totale d'environ une heure.

Une puissance de 50 kW est généralement considérée comme le standard minimal pour un camion lourd. Cependant, une puissance de 24 kW serait suffisante pour ce camion. Cette borne fournira une puissance réelle au véhicule d'environ 21 kW. Comme pour les batteries, la stratégie consiste à sélectionner la borne de recharge la moins puissante qui réponde aux besoins.

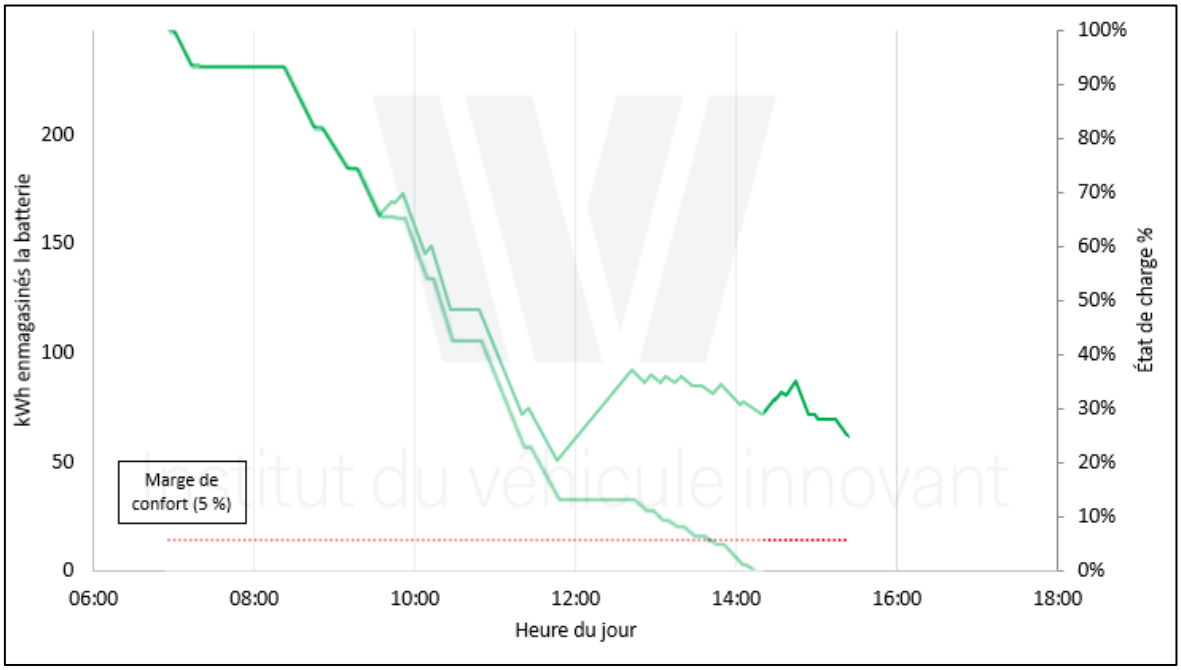
En multipliant la puissance par le nombre d'heures, on arrive à l'énergie ajoutée quotidiennement. Celle-ci serait donc d'au moins 315 kWh (15 h * 21 kW). Cette valeur est plus que suffisante pour effectuer une charge complète.

Puisque ce camion s'arrête une heure par jour à l'entrepôt de Transkid, il serait possible d'utiliser une batterie nominale de 275 kWh avec une borne de recharge de 50 kW au lieu d'une batterie de 318 kWh et une borne de 24 kW, comme précédemment recommandé. Le Graphique 15 démontre les gains potentiels de la recharge en journée. La journée représentée est celle du 7 mars 2023. La courbe qui descend vers 0 démontre l'énergie répartie sur la journée avec une batterie de 275 kWh sans recharge tandis que l'autre indique le scénario ou le camion bénéficie de la recharge en journée en à l'aide d'une borne 50 kW.

Une batterie nominale plus faible diminue les coûts d'achat du véhicule et l'impact environnemental de celui-ci. Cependant, elle nécessite une borne plus puissante afin de maximiser le temps de recharge. L'IVI suggère fortement l'étude approfondie de ce scénario par le gestionnaire de flotte.

Après les **subventions et en date de l'écriture de ce rapport**, le coût d'acquisitions d'une borne 50 kW est à peine plus grand qu'une borne de 24 kW. Cependant, il est important de prendre en compte que la puissance demandée sera plus grande donc la facturation électrique pourrait elle aussi être plus coûteuse, car la puissance est une composante importante de la facture. Il faut comparer les coûts supplémentaires ajoutés sur la facture électrique au coût économisé par la diminution de la taille de la batterie requise.

Graphique 15 Courbe de décharge et recharge quotidienne du camion 284809 avec batterie de 275 kWh



Donc trois scénarios d'électrification sont donc possibles pour ce camion, soit :

- Une batterie nominale de 318 kWh sans recharge en journée
- Une batterie nominale entre 300 et 315 kWh avec recharge en journée (borne 24 kW)
- Une batterie nominale de 275 kWh avec recharge en journée (borne 50 kW)

Le scénario choisi pour le reste du rapport est celui d'une batterie de 315 kWh avec recharge sur une borne 24 kW en journée. Le camion n'aura pas besoin d'utiliser la recharge tous les jours, mais celle-ci lui permettra d'effectuer les journées les plus difficiles.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 284809 seraient donc les suivants :

Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 284809

Capacité de la batterie embarquée	315 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 24 kW
90 % des opérations remplies ?	Oui

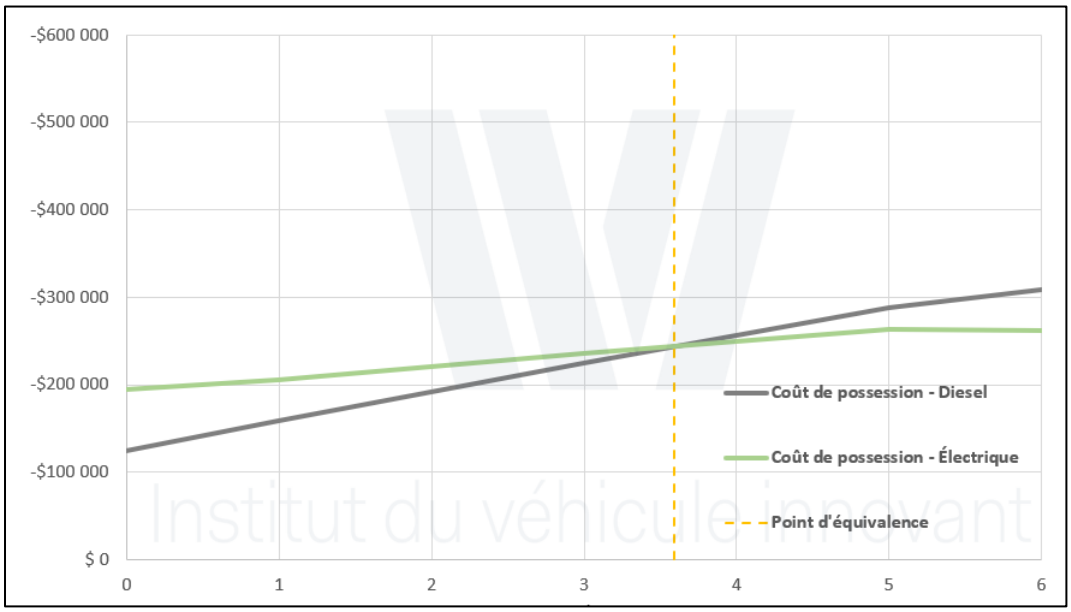
Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 10. Les bénéfices sont comptabilisés sur 6 ans, soit la durée sur laquelle Transkid souhaiterait conserver ce type de véhicule.

Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 284809

Coût annuel de carburant avant électrification	23 734 $
Coût annuel d'électricité	4 446 $
Économie annuelle de coûts d'énergie	19 288 $
Surcoût total à l'achat (après subventions)	70 000 $
Période de retour sur investissement	**3,6 années**
Bénéfice net après 6 ans	**46 818 $**
Bénéfice net après 10 ans	**116 352 $**

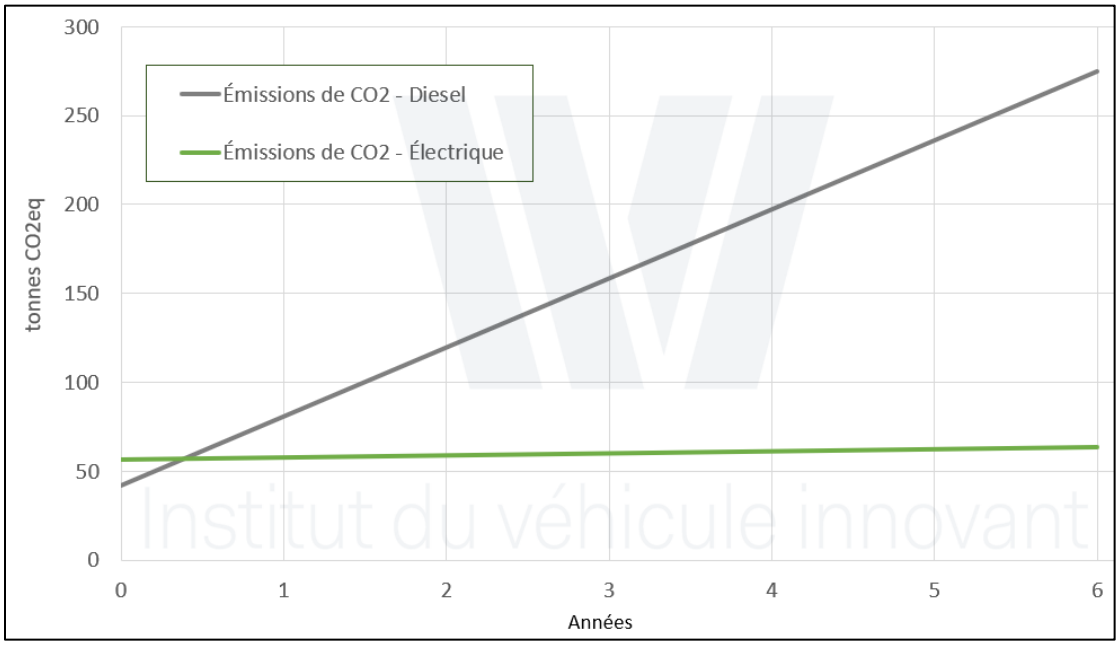
Les bénéfices nets ont été calculés sur une période de 6 ans puisque le gestionnaire de flotte a mentionné cette durée de vie. Tout comme pour le camion 284807, les bénéfices nets ont également été calculés sur une période de 10 ans. Cette période permet de maximiser les gains monétaires et environnementaux du camion électrique. 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 16 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 284809



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 211 tonnes de CO2 équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 12 000 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 17: Émission sur la vie du camion 284809, Diesel vs. Électrique



Camion # 284809

Freightliner M2 2020 | Porteur essieu simple – PNB 17 250 kg

L'IVI recommande l'électrification de la route du camion 284809. Ce véhicule parcourt un trajet favorable à l'électrification et les bénéfices environnementaux et monétaires sont intéressants.

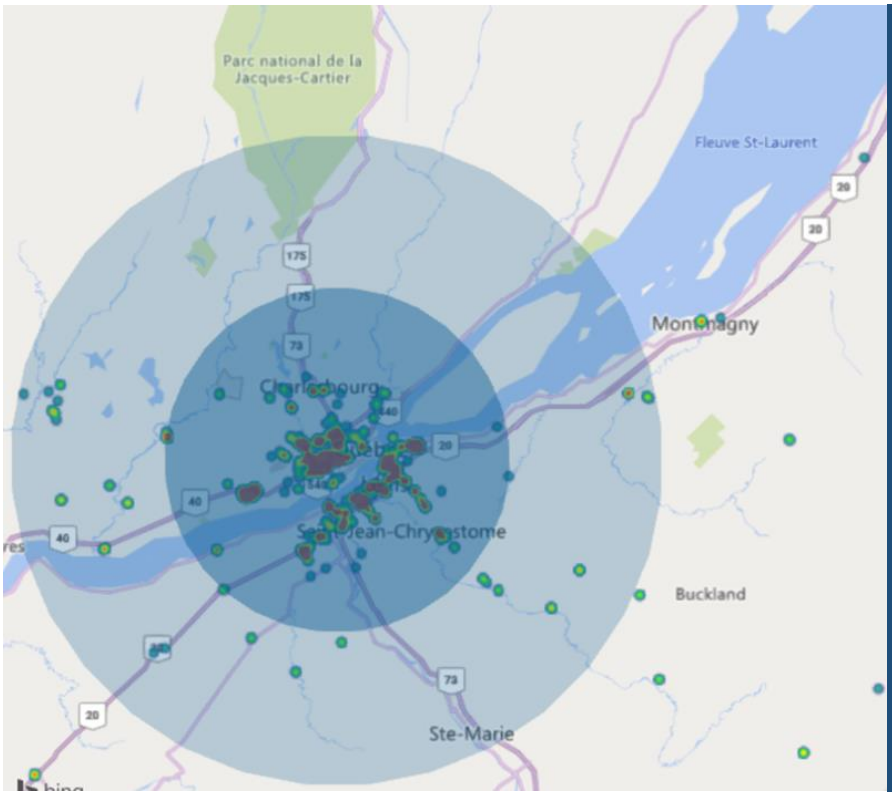
Trois scénarios d'électrification sont possibles pour le camion 284809. La recommandation de l'IVI en date de l'écriture de ce rapport est le scénario avec une batterie de 315 kWh et une borne de 24 kW. Cependant, il est recommandé d'évaluer les trois scénarios afin de choisir le plus rentable au moment de l'achat pour Transkid. Les paramètres qui peuvent faire varier le choix de scénario sont : les prix des camions en fonction de leur batterie, la disponibilité des camions lors de la prise de décision, le prix des bornes de recharge disponible ainsi que l'impact d'une borne plus puissante sur le pic énergétique de la compagnie.

L'IVI recommande également au gestionnaire d'évaluer la possibilité de garder son camion sur une plus longue période puisque les retombés économiques et environnementaux seront plus intéressants.

11. Analyse du camion 362625

Tout comme les deux autres véhicules instrumentés, le camion 362625 est utilisé pour effectuer des livraisons et des cueillettes selon un mode de transport avec chargement partiel.

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



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

Le camion 362625 a effectué la plupart de ses déplacements dans un rayon de 25 km à partir de l'entrepôt de Transkid. C'est-à-dire que la majorité des déplacements étaient autour de la ville de Québec et de Lévis.

Quelques déplacements sont sortis du rayon de 50 km autour de l'entrepôt de Transkid, mais ceux-ci n'étaient pas réguliers. Le camion revient toujours passer la nuit au dépôt.

Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 362625 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Transkid

Le dénivelé du territoire parcouru est un critère important dans l'évaluation de la consommation d'énergie. Le camion 362625 se déplace majoritairement autour de la ville de Québec et de Lévis.

Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 3,9 mètres pour chaque kilomètre parcouru.

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

Tableau 11 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 362625

La valeur du 90e percentile est de 220 km, ce qui représente une valeur moyenne pour l'électrification d'un camion porteur de classe 6. La moyenne et la médiane sont faibles et elles sont très proches.

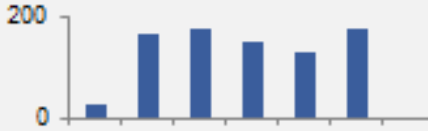
Le camion ne se déplace pas les fins de semaine.

Les cases en gris dans le calendrier indiquent des journées où l'IVI a constaté que le camion a effectué une certaine distance, mais où il n'y a pas eu de collecte de données de chargement. Donc, ils ne peuvent pas être utilisés pour les calculs dans les sections suivantes. Il est également important de noter que seulement 36 données sont en bleu dans le calendrier. Ces 36 données représentent le nombre de jours actifs du camion durant la période de collecte de données où les chargements ont été compilés.

Plus une case est foncée, plus la distance parcourue par le camion cette journée-là est grande. Il est donc possible de constater que ce camion a effectué de petites distances. Ces distances sont plutôt constantes d'une journée à l'autre. Il a effectué de grandes distances lors de la dernière semaine de mars. Il est possible qu'à ce moment le camion ait été utilisé pour une autre route, exceptionnellement.

Il retourne à l'entrepôt en fin de journée. Donc, un camion électrique effectuant cette route pourrait se recharger durant la nuit.

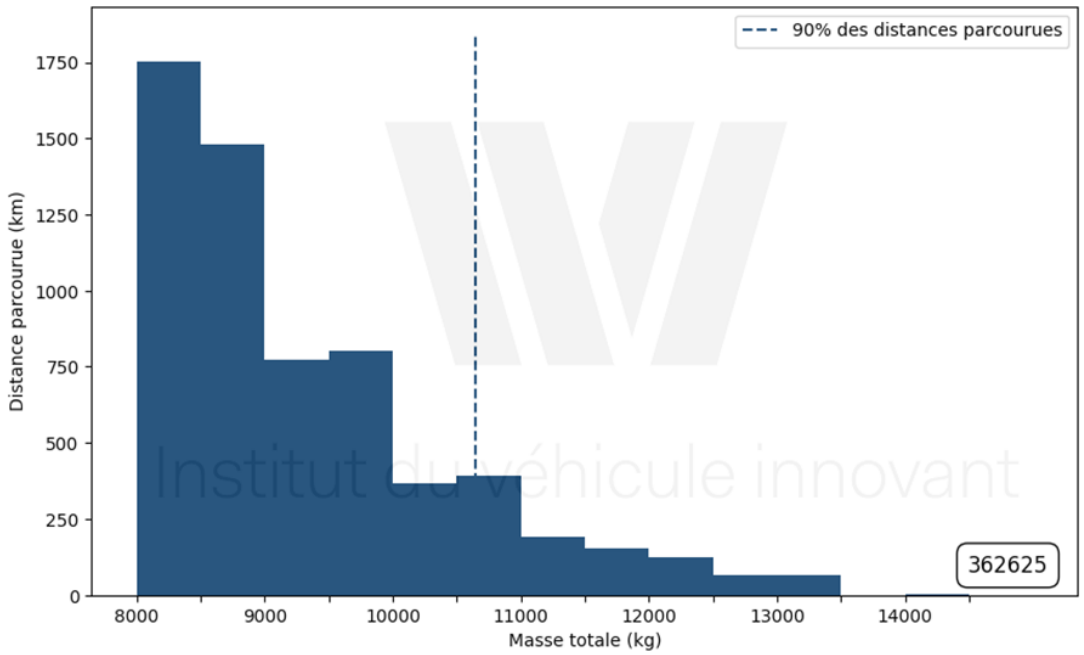
Max	465	km
90%	220	km
Med	156	km
Moy	154	km
σ	87	km
CV	57%	



	D	L	M	M	J	V	S
févr.	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
mars	-	207	180	216	112	183	-
	-	189	228	175	175	127	-
	28	208	112	96	74	-	-
	-	127	219	6	53	119	-
	-	124	-	303	331	465	-
avr.	-	-	148	157	95	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	38	6	171	-
	-	171	134	201	134	50	-
	-	136	155	175	181	99	-
mai	-	149	86	149	99	152	-
	-	271	179	227	162	143	-
	-	-	173	154	225	207	-
	-	-	-	-	-	-	-

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 18: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 362625



Tout comme les deux camions précédents, le 362625 est utilisé pour du transport LTL. Ceci explique qu'une grande partie de la distance parcourue soit avec une masse totale faible.

Un camion lourd électrique a une masse totale supérieure d'environ 2000 kg versus un camion équivalent au diesel. Cette masse supplémentaire n'impacte pas la majorité des chargements du camion 362625.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 362625 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 362625

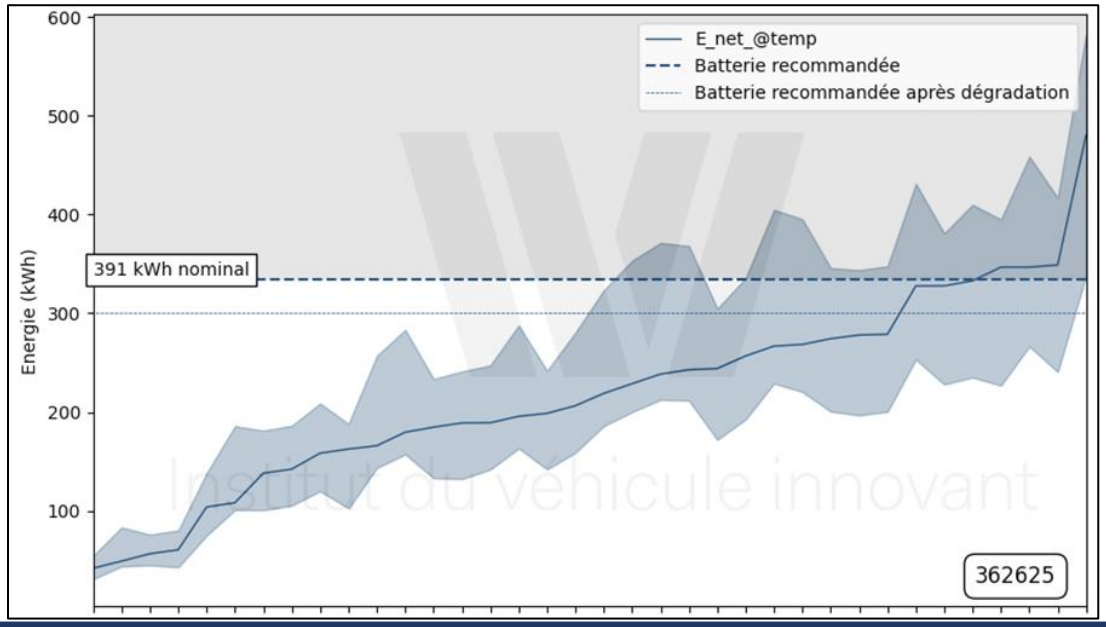
Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	**Moyenne**	**+/-**
Constance	**Constante**	**+**
Dénivelé	**Moyen**	**+/-**
Recharge en journée	**Non**	**-**
Chargement	**Faible**	**+**
Accessoires	**Non**	**+**

12. Scénario d'électrification pour le camion 362625

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

Graphique 19: Journées de mesure du camion 362625, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



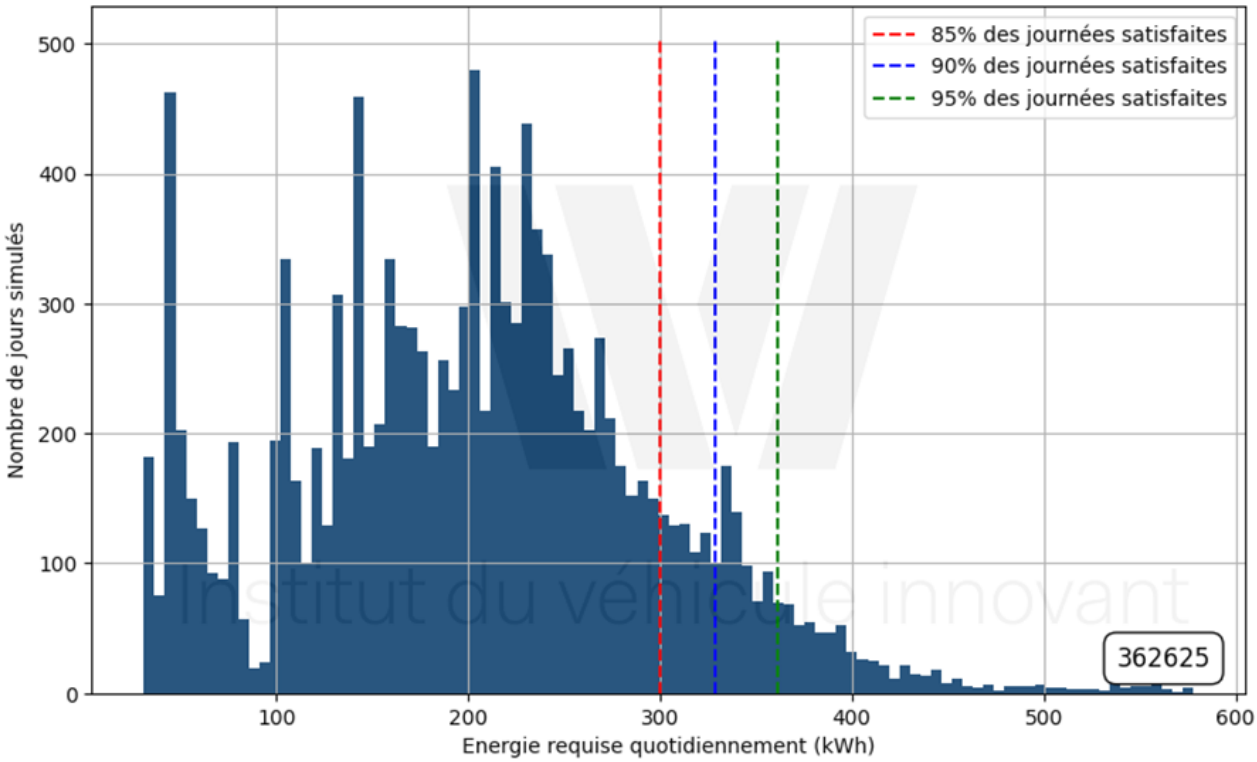
Guide d'interprétation du Graphique 19:

- La courbe bleue du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire bleue montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20°C) ou très froid. La valeur plus élevée représente l'énergie lors d'une journée froide (-20°C).
- La zone sous la ligne pointillée horizontale représente les journées où le camion dispose d'assez d'énergie pour compléter tous les trajets de la journée.
- Un camion avec une batterie de capacité nominale de 391 kWh disposerait de 335 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 05 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 113 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

Le Graphique 20 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 20 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 362625

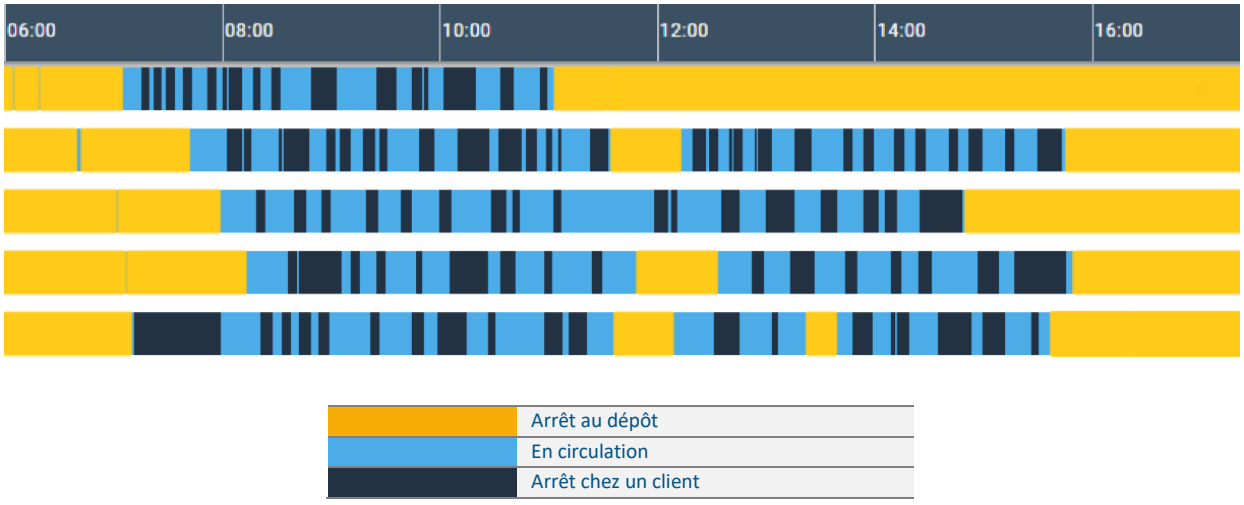


Une batterie de 391 kWh nominale permettrait alors de réaliser 90 % des journées sur une année moyenne en un seul cycle de décharge de la batterie, tandis que des batteries nominales de 357 et de 430 kWh pourraient permettre au camion d'effectuer respectivement 85 % et 95 % des journées sur une année moyenne en un seul cycle de recharge.

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

Le Graphique 21 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 362625. 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. Les journées représentées sont celles du 24 au 28 avril 2023.

Graphique 21 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 362625



On observe que le camion 284807 quitte le dépôt entre 7 h et 8 h puis effectue plusieurs arrêts. Il revient à l'entrepôt de Transkid vers 15h30. Il passe donc environ 15 heures par jour à l'entrepôt où il pourrait bénéficier de la recharge.

Le camion ne revient pas assez régulièrement ni assez longtemps pour bénéficier de la recharge.

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.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 362625 seraient donc les suivants :

Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 362625

Capacité nominale requise pour satisfaire 90 % des journées	391 kWh
Batterie recommandée disponible sur le marché ?	Non

Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 14.

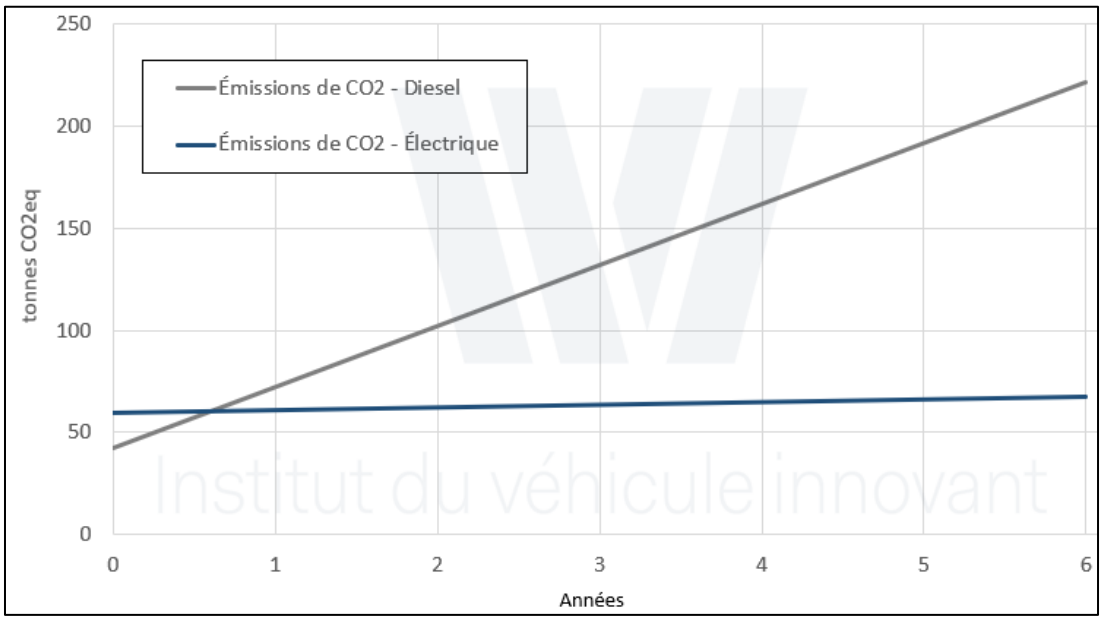
Tableau 14: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 362625

Coût annuel de carburant avant électrification	18 247 $
Coût annuel d'électricité	5 286 $
Économie annuelle de coûts d'énergie	12 961 $
Bénéfice net après 6 ans	**77 766 $**

Puisque la batterie nécessaire afin d'électrifier la route du 362625 n'existe pas actuellement sur le marché dans un camion de classe 6 ou 7, il n'est pas possible d'évaluer le retour sur investissement de ce camion. Cependant, il est possible de calculer les économies approximatives en énergie. Si Transkid décidait d'électrifier cette route, il faudrait que le surcoût du camion et de l'infrastructure de recharge après subvention soient inférieurs à 77 766 $ afin que cette transition soit rentable monétairement pour l'entreprise. Le coût du diesel considéré est 2,00 $/L et le coût de l'électricité est fixé à 0,12 $/kWh.

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 154 tonnes de CO2 équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 22 694 km. Ces valeurs viennent des analyses indépendantes de l'IVI, basées sur des études de l'ICCT et tiennent compte des émissions de GES de la production d'électricité par barrages hydro-électriques.

Graphique 22: Émission sur la vie du camion 362625, Diesel vs. Électrique



Camion # 362625

Freightliner M2 2020 | Porteur essieu simple – PNB 17 250 kg

Dans le cas du camion 362625, l'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification de cette route due à la limitation des capacités totales des batteries disponibles sur le marché pour des camions de classe 6 ou 7 en date de la rédaction de ce rapport.

Dans l'éventualité où un tel camion deviendrait disponible sur le marché, une approximation grossière pourrait établir que son surcoût net de subventions, incluant l'infrastructure de recharge, devrait être inférieur à 77 766 $ pour que celui-ci soit rentable. Cette évaluation a été réalisée en tenant compte que Transkid change ses camions aux 6 ans.

13. Conclusions et recommandations

L'analyse des trois camions diesel instrumentés chez Transkid 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 Transkid

Véhicule		Camion 284807	Camion 284809	Camion 362625
Potentiel d'électrification (/10)		**8,3**	**8,4**	**4,5**
Recommandation d'électrification de l'IVI		Oui	Oui	Non
Capacité totale de la batterie nécessaire pour effectuer un certain pourcentage des déplacements annuels	85 %	236 kWh	294 kWh	357 kWh
	90 %	**254 kWh**	**318 kWh**	**391 kWh**
	95 %	280 kWh	353 kWh	430 kWh
Puissance de la borne de recharge afin d'effectuer 90 % des déplacements annuels		24 kW	24 kW	50 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, capacité des batteries et disponibilité des accessoires amènera probablement une amélioration de ces scores avec le temps.

Dans le cas des véhicules 284807 et 284809, l'électrification est possible et elle permet respectivement d'éviter l'émission de plus de 134 tonnes et de 211 tonnes de CO_2 équivalent sur une période de 6 ans. Le pointage du camion 284809 est un peu plus élevé que celui du 284807 même s'il nécessite une plus grosse batterie que ce dernier, car il a un impact monétaire et environnemental plus important. **L'IVI suggère au gestionnaire de flotte de réévaluer la durée de possession de leur camion lorsqu'ils procèderont au changement vers l'électrique** puisque la maintenance est moins complexe sur les véhicules électriques puisque plusieurs systèmes sont absents tel que le système DPF (Filtre à particules diesel, *Diesel Particulate Filter)*. Une durée de possession de 10 ans au lieu de 6 permettrait d'améliorer les bénéfices nets et l'empreinte écologique des camions.

Dans le cas du camion 362625, sa consommation énergétique est trop importante pour le moment pour penser à une électrification sans adaptation avec les technologies actuelles. Celle-ci sera possible dès que des camions porteurs auront une capacité de batterie de 385 kWh et plus, ou en adaptant la route du camion, c'est-à-dire réduire le kilométrage quotidien parcouru.

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

Les trois camions instrumentés lors de ce test sont arrêtés longtemps la nuit, ce qui leur permettrait d'utiliser des bornes de recharge peu puissantes, et donc moins coûteuses. Cependant dans son analyse, l'IVI a considéré chaque minute passée au dépôt de Transkid comme étant propice à la recharge, alors que ceci pourrait être moindre si le chargement de la cargaison prend beaucoup de temps. Malgré ceci une borne de 24 kW devrait être suffisante, mais il faudra faire attention de positionner une borne à un endroit permettant de recharger le véhicule pendant qu'on y ajoute les marchandises, ou de le rebrancher après. Une borne de 50 kW pourrait également être bénéfique si Transkid pense utiliser la recharge en journée. 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 Transkid. Ces véhicules ont été choisis 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 Transkid ni comme des camions lourds de classes 6 à 8 en général. Le but de ce document n'est pas de produire un diagnostic sur un échantillon représentatif de ce marché.

14. Sources des données

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

Historique du prix du carburant :

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

Données météorologiques :

- https://open-meteo.com

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

- Nom du document : Automotive Li-Ion Batteries: Current Status and Future Perspectives, Argonne National Lab, auteurs : Dr. Y. L. Ding, Z. P. Cano, Prof. A. P. Yu, Prof. Z. W. Chen, lien : https://www.osti.gov/pages/servlets/purl/1561559
- https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global-LCA-passenger-cars-jul2021_0.pdf
- https://www.ghgenius.ca/index.php

Coût des véhicules électriques :

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

Données scientifiques pour les calculs énergétiques :

- Projets antérieurs de l'IVI
- https://x-engineer.org/drivetrain-losses-efficiency/
- https://www.researchgate.net/figure/Drag-coefficient-of-different-vehicles-type-1_fig1_331695168

15. Informations et contact

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

Institut du véhicule innovant

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

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

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

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

16. Remerciements

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

Québec

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

Hydro Québec

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.

Association du Camionnage du Québec

SIAPARTNERS

MALCO ÉLECTRIQUE INC.

cftr CENTRE DE FORMATION DU TRANSPORT ROUTIER DE SAINT-JÉRÔME

CENTRE DE FORMATION EN TRANSPORT DE CHARLESBOURG

CAMO ROUTE COMITÉ SECTORIEL DE MAIN-D'ŒUVRE DE L'INDUSTRIE DU TRANSPORT ROUTIER

LION

Peterbilt

VOLVO

KW

GLOBOCAM AVEC LE SUPPORT DE FREIGHTLINER

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

GEOTAB