Flotte
rechargeable
Camions lourds

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

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

Date : 19 juillet 2023

Institut du véhicule innovant

Table des matières

1. Faits saillants 6
2. Méthodologie 7
3. Méthodologie : Scénarios d'électrification 9
4. Limites de l'analyse 11
5. Présentation de l'entreprise 12
6. Véhicules analysés 13
7. Analyse du camion 3771 17
8. Scénario d'électrification pour le camion 3771 21
Scénario d'électrification des opérations de jour du camion 3771 23
9. Analyse du camion 3823 27
10. Scénario d'électrification pour le camion 3823 30
Scénario d'électrification Candiac Groupe Tissu – Candiac Liberté 32
11. Analyse du camion 3824 36
12. Scénario d'électrification pour le camion 3824 39
13. Conclusions et recommandations 44
14. Sources des données 46
15. Informations et contact 47
16. Remerciements 48

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 Cascades Transport 14
Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 3771 18
Tableau 4 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 3771 20
Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 3771..... 24
Tableau 6: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 3771 24
Tableau 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 3823 28
Tableau 8: Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 3823 29
Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 3823..... 33
Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 3823 33
Tableau 11 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 3824 ... 37
Tableau 12 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 2012 38
Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 3824..... 42
Tableau 14: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 3824 42
Tableau 15: Recommandation d'électrification des camions de Cascades Transport..... 44

Liste des figures

Figure 1 : Échelle de dénivelé allant du plus petit dénivelé au plus grand 8
Figure 2 : Camions utilisés durant l'essai, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 3771, 3823 et 3824 13
Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 3771 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Cascades Transport 17
Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 3823 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Cascades Transport 27
Figure 5 : Trajet du camion 3823..... 32
Figure 6 : Fréquence des livraisons du camion 3824 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Cascades Transport 36

Liste des graphiques

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion 14
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Cascades Transport 15
Graphique 3 : Heures par jour au dépôt, sans les fins de semaine et les fériés. Journées actives seulement..... 16
Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 3771..... 19
Graphique 5: Journées de mesure du camion 3771, 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 3771 22
Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 3771..... 23
Graphique 8 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 3771, Diesel vs. Électrique..... 25
Graphique 9: Émission sur la vie du camion 3771, Diesel vs. Électrique 25
Graphique 10: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 3823.... 29
Graphique 11: Journées de mesure du camion 3823, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)..... 30
Graphique 12 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 3823 31
Graphique 13 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 3823..... 32
Graphique 14 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 3823, Diesel vs. Électrique..... 34
Graphique 15: Émission sur la vie du camion 3823, Diesel vs. Électrique 34
Graphique 16: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 3824.... 38
Graphique 17: Journées de mesure du camion 3824, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)..... 39
Graphique 18 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 3824 40
Graphique 19 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 3824..... 41
Graphique 20: Émission sur la vie du camion 3824, 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.

1. Faits saillants

Le présent rapport a pour but de mesurer la pertinence d'électrifier trois camions de la compagnie Cascades Transport basés sur la rive-sud de Montréal.

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

86 % des journées se terminent en ayant parcouru moins de 425 km

60 % des arrêts de nuit au terminal durent 10 heures ou plus, assez pour ajouter 450 kWh avec une borne de 50 kW

Camion 3771 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	**Valeur**	
Distances	**Longues**	-
Constance	**Variées**	-
Dénivelé	**Faible**	+
Recharge en journée	**Oui**	+
Chargement	**Varié**	+/-
Accessoires	**Aucun**	+

Estimation de consommation électrique en été	141 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	168 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Non
Capacité nominale requise pour 90 % des journées sans recharger durant la journée	550 kWh
Batterie disponible ?	Oui

Camion 3823 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	**Valeur**	
Distances	**Courtes**	+
Constance	**Réguliers**	+
Dénivelé	**Faible**	+
Recharge en journée	**Oui**	+
Chargement	**Varié**	+/-
Accessoires	**Aucun**	+

Estimation de consommation électrique en été	140 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	172 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Non
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	339 kWh
Batterie disponible ?	Oui

Camion 3824 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	**Valeur**	
Distances	**Longues**	-
Constance	**Varié**	-
Dénivelé	**Faible**	+
Recharge en journée	**Oui**	+
Chargement	**Varié**	+/-
Accessoires	**Aucun**	+

Estimation de consommation électrique en été	145 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	175 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Non
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	1164 kWh
Batterie disponible ?	Non

2. Méthodologie

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3. Méthodologie : Scénarios d'électrification

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

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

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

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

Toute cette énergie ne servira pas à faire avancer le camion. D'emblée, les constructeurs y soustraient près de 10 % pour éviter d'endommager la batterie lors des cycles de recharge ou comme provision pour prévenir la dégradation. La capacité utilisable d'un camion neuf ayant une batterie d'une capacité hypothétique de 100 kWh serait donc d'environ 90 kWh.

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

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

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

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

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

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

4. Limites de l'analyse

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

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

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

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

Il serait avisé d'effectuer une analyse approfondie des valeurs présentées. Si l'entreprise décide d'électrifier une route, elle doit comprendre qu'il est possible qu'il soit nécessaire d'apporter des ajustements pour éviter les pannes et interruptions de service, couvrir les besoins des journées les plus extrêmes, ou améliorer la rentabilité.

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

5. Présentation de l'entreprise

Cascades propose des solutions durables et créatrices de valeur en matière d'emballage, d'hygiène et de récupération. Fondée en 1964, l'entreprise compte aujourd'hui près de 80 unités d'exploitation et plusieurs divisions situées en Amérique du Nord.

Une de ces divisions est Cascades Transport inc., qui s'occupe du transport des matières recyclables et des produits finis entre les différents entrepôts et les usines de l'entreprise, et vers les clients de celle-ci. Cette division opère un peu plus de 160 tracteurs classe 8 et 750 remorques sur quatre terminaux. Cette filiale emploie présentement 380 employés. L'entreprise conserve actuellement ses camions loués 6 ans, et les camions achetés 10 à 12 ans.

Avec plusieurs filiales, usines et entrepôts viennent des besoins de transports nombreux et variés. Ainsi, l'entreprise opère des camions avec couchette qui parcourent de longues distances, des tracteurs de cour, et d'autres camions lourds effectuant de plus courts trajets hors-site. Certains opèrent en charge partielle (*Less Than Truckload*), et d'autres routes sont dédiées.

Les camions étudiés ont visité plus de 6 entrepôts ou usines différents appartenant à Cascades durant la collecte de données dans un rayon de 160 km de leur port d'attache.

6. Véhicules analysés

Suite aux discussions avec le gestionnaire du parc, les trois camions ayant été retenus pour l'analyse sont les unités 3771, 3823 et 3824. Ces trois camions sont des tracteurs classe 8 avec cabine de jour (*daycab*) de marque Freightliner. Les deux premiers sont basés à l'entrepôt de Brossard, alors que le 3824 est basé à l'entrepôt sur la rue Viau, à Montréal.

Figure 2 : Camions utilisés durant l'essai, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 3771, 3823 et 3824

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. Alors que plusieurs des camions de Cascades effectuent de longues distances, les trois véhicules montrés ci-haut restent près de leur port d'attache. La route du camion 3823 a été retenue car elle est très courte et répétitive, et revient souvent à son port d'attache. Le scénario d'électrification devrait donc être différent des autres véhicules aux routes un peu plus « classiques », signifiant qu'elles effectuent des livraisons à des endroits variés sans nécessairement revenir au terminal.

Outre ces véhicules, Cascades Transport opère un peu plus de 60 camions qui effectuent des trajets courte distance. Ces véhicules sont basés à des entrepôts de Cascades situés à Kingsey Falls, Drummondville et dans le grand Montréal (rue Viau à Hochelaga, à Brossard et à Candiac) et circulent principalement entre ces cinq entrepôts et chez des clients ou fournisseurs à proximité.

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 sont résumées dans le Tableau 2. Bien que celles-ci 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 Cascades Transport.

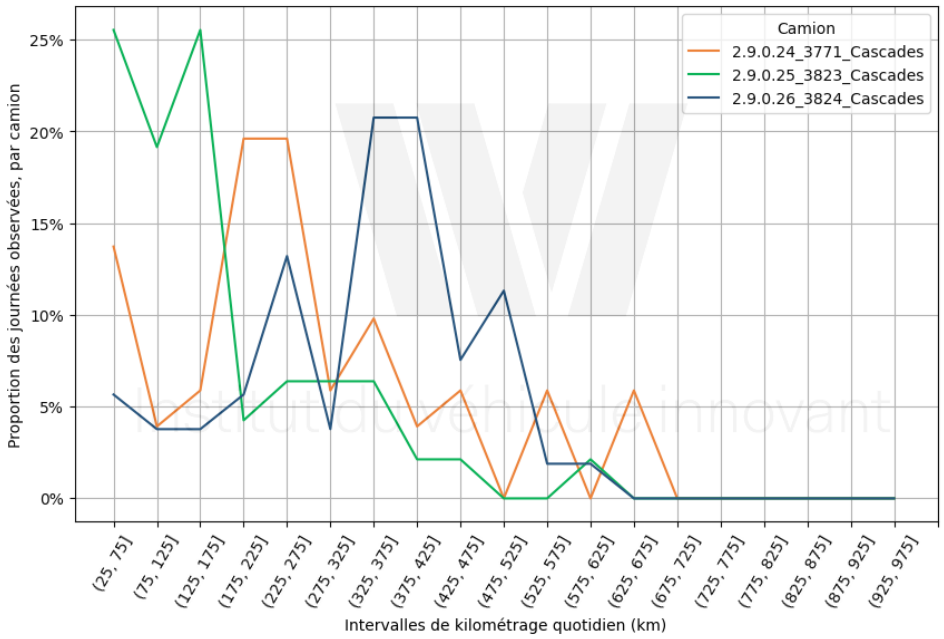
Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation des véhicules de Cascades Transport

Camion #	3771	3823	3824
Distance parcourue			
Durant la collecte de données	14 452 km	8 172 km	18 265 km
Annuellement (estimée)	57 809 km	32 690 km	73 059 km
Carburant			
Consommé durant le test	5 275 L	3 507 L	5 617 L
Consommé annuellement (estimé)	21 101 L	14 030 L	22 467 L
Consommation moyenne	34,1 L/100 km	40,2 L/100 km	34,1 L/100 km
Ralenti			
Temps par jour en moyenne	0,80 h	0,87 h	0,28 h
Carburant consommé au ralenti par jour	6,5 L	5,5 L	2,9 L
Carburant consommé par année (estimé)	1 407 L	1 051 L	629 L
Opérations			
Vitesse moyenne en déplacement	40,1 km/h	28,9 km/h	46,1 km/h
Masse moyenne pondérée par km	20 359 kg	17 887 kg	19 037 kg
Nombre de jours actifs durant l'essai	41 jours	28 jours	45 jours

Le Tableau 2 permet d'observer que le camion 3823 roule à une vitesse moyenne beaucoup plus basse que les deux autres camions, et que son poids moyen est moins élevé. Avec une motorisation diesel, ceci se traduit par une consommation plus élevée. Les trois camions de Cascades tournent très peu au ralenti.

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.

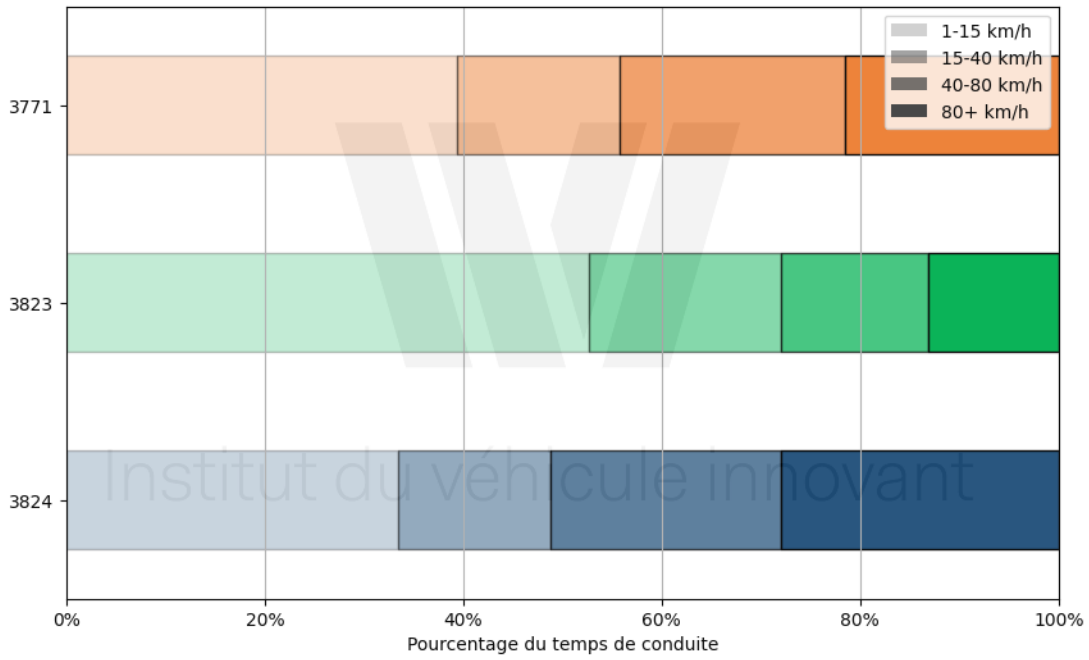
Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion



En observant le Graphique 1, il est possible d'observer que le camion 3823 est celui ayant parcouru les plus courtes distances quotidiennes, principalement moins de 225 km. Les deux autres camions parcourent moins de 425 km, 90% du temps.

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.

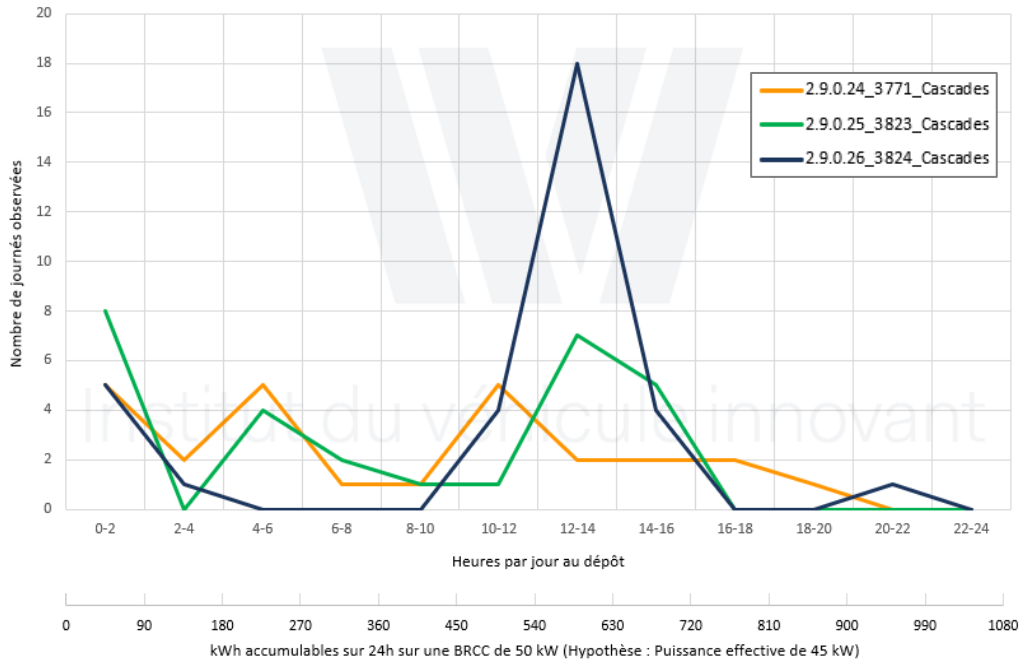
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Cascades Transport



Le graphique précédent montre que les camions 3771 et 3824 roulent environ 25 % du temps à vitesse d'autoroute. La distribution de vitesse du 3823 corrobore les informations du tableau précédent. Plus de 50% du temps de conduite est à moins de 15 km/h, et seulement 15 % du temps à vitesse d'autoroute.

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. Le Graphique 3 montre la répartition des heures passées sur le terrain de Cascades Transport à l'arrêt.

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



Le Graphique 3 montre une échelle de l'énergie pouvant potentiellement être restituée à la batterie durant les heures d'arrêt au dépôt, à l'aide de l'axe au bas du graphique. Par exemple, un camion arrêté 10 heures et branché sur une borne de 50 kW, soit de puissance effective d'environ 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 camions suivis ne reviennent pas toujours à leur terminal respectif la nuit ou à des heures fixes. Néanmoins, ils disposent d'assez longues périodes pour la recharge**. Ils s'y arrêtent pour une durée supérieure à 10 heures par jour et ce, 60 % des jours**. Cependant, on observe que cette valeur est largement due au camion 3824. Celui-ci arrête plus de 12 heures, 70 % des jours.

Il est important de noter que le camion 3824 est basé au terminal sur la rue Viau à Montréal, alors que les deux autres sont stationnés à l'entrepôt de Brossard. Les conclusions tirées ne pourront donc pas proposer un partage d'infrastructure de recharge avec tous les camions de l'essai.

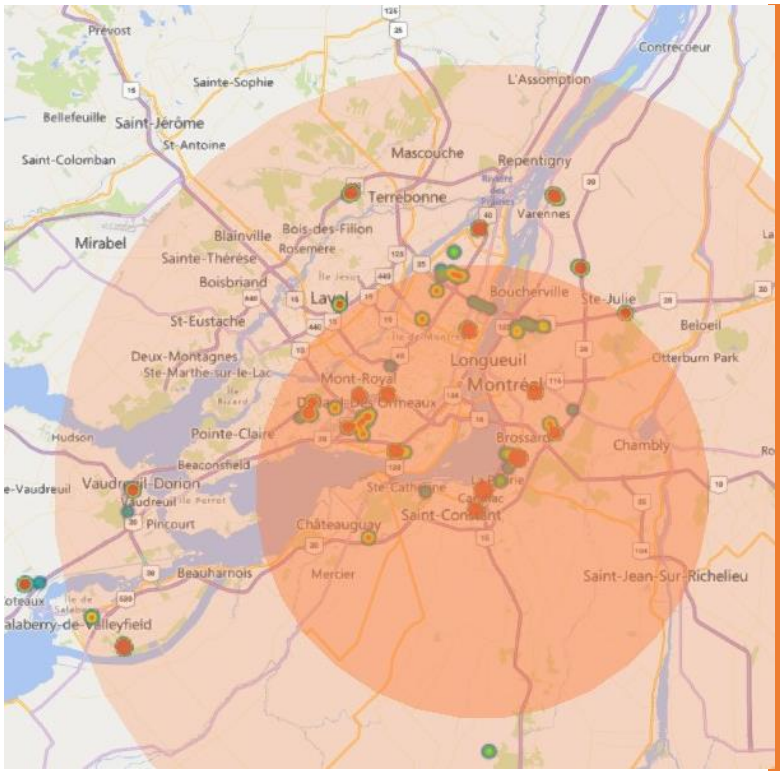
Les camions 3771 et 3823 fréquentent souvent deux entrepôts à Candiac et s'y arrêtent presque à tous les jours. Ces arrêts n'ont pas été présentés ici, car la quantité d'énergie qu'ils permettraient d'ajouter n'influence pas les scénarios d'électrification présentés. Aussi, un scénario d'électrification simple à un seul site de recharge a été préféré pour ce rapport, en tenant compte d'une possible participation à un essai de phase 3. Finalement, **dans l'optique où Cascades Transport désirait installer des infrastructures de recharge à plusieurs sites, cela ouvrirait la porte à des échanges de camions**, et les multiples possibilités offertes par un tel scénario rendraient les heures d'arrêt actuelles désuètes.

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 3771

Le camion au diesel 3771 est utilisé pour les livraisons et collectes de matières recyclables ou recyclées sur la rive-sud de Montréal. Il en effectue plusieurs par jour à des endroits variés, autrement dit il opère en mode LTL. Bien que basé sur la rive-sud, il effectue plusieurs livraisons à Montréal et sur la rive-nord.

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



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

Le camion 3771 est basé à Brossard. Il visite à une fréquence plutôt égale une quantité d'endroits sur la rive-sud et à Montréal. Une bonne partie de ses arrêts sont dans un rayon 25 km, et plusieurs autres dans un rayon de 50 km.

Quelques trajets ont aussi été faits à l'extérieur de cette zone, jusqu'à Granby et Kingsey Falls entre autres.

Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 3771 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Cascades Transport

Dénivelé faible

1,3 m/km

Le dénivelé du territoire parcouru est un critère important dans l'évaluation de la consommation d'énergie. La rive-sud de Montréal et l'île sont des endroits très peu montagneux. Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 1,3 mètres pour chaque kilomètre parcouru.

Camion # 3771

Freightliner Cascadia 2019 | Tracteur classe 8 – PNB 36 364 kg

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. Il est donc considéré que le camion a été inactif à ces moments.

Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 3771

Le camion 3771 ne semble pas avoir de journée typique qui se répète fréquemment. En regardant le dégradé de couleurs de jour en jour, on en observe des foncées (longues) et des pâles (courtes). Il n'y a pas d'ordre selon les jours de la semaine non plus. Le jeudi semble être une journée où les longs parcours reviennent plus souvent, mais cette tendance n'est pas très régulière.

Le processus d'analyse classique consisterait à considérer le 90e percentile comme étant la distance que devrait être en mesure de parcourir un véhicule électrique, les journées plus longues étant beaucoup moins fréquentes et possibles de compléter avec un camion diesel. Cette distance est plus élevée que l'autonomie actuelle des camions lourds offerts.

Bien que les journées plus longues rendent difficile l'électrification, le Graphique 7 montre que ces distances sont entrecoupées d'arrêts à quelques endroits récurrents. Il pourrait donc être possible de recharger en cours de journée, ce qui augmenterait l'autonomie par période de 24 heures. Le nombre de kilomètres quotidien deviendrait alors moins important que la distance par trajets, car il serait possible de recharger entre les trajets.

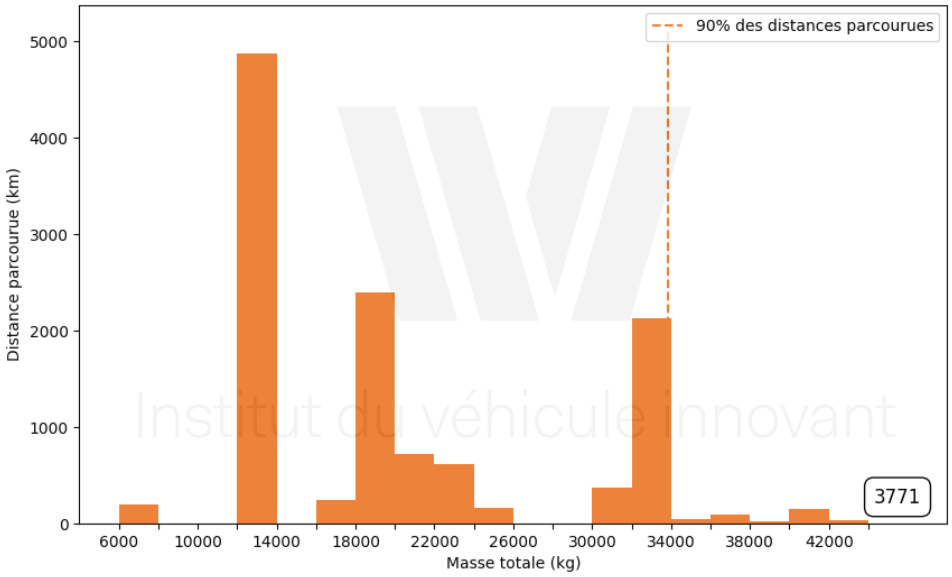
Les journées en gris n'ont pas été comptabilisées dans l'analyse car les données de chargement n'étaient pas disponibles.

Max	654	km
90%	476	km
Med	231	km
Moy	257	km
σ	159	km
CV	62%	

	D	L	M	M	J	V	S
	-	-	-	-	-	-	-
févr.	-	-	-	-	486	312	-
	-	275	236	142	498	279	-
	-	425	654	350	203	200	
	-	259	227	537	480	359	-
mars	-	353	30	185	250	231	-
	-	210	290	446	229	-	-
	-	31	-	-	-	-	-
	-	-	12	184	-	-	-
avr.	-	327	408	168	301	325	-
	-	36	-	73	649	269	197
	-	439	470	327	139	120	-
	-	197	194	58	12	91	27
	-	209	223	148	324	-	-
mai	-	-	-	-	-	-	-

L'énergie requise pour chaque accélération et chaque montée est directement proportionnelle à la masse totale du véhicule, incluant son chargement. Le poids du camion pour chaque trajet a donc été noté et est rapporté sur le graphique suivant, et ce pour chaque kilomètre parcouru durant l'essai.

Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 3771



Trois pics sont observables sur le graphique ci-haut. Le premier correspond aux kilomètres où le camion a roulé à vide. Le camion 3771 a roulé près de 5000 km vide, soit près du tiers de la distance de l'essai. Les deux autres niveaux de chargement populaires sont à 20 000 kg et 33 000 kg, ce dernier étant près du PNBV d'un tracteur avec une remorque à deux essieux. Ces trois modes représentent 90 % des déplacements faits avec ce camion.

Le remplacement du tracteur 3771 par un véhicule électrique, plus lourd à cause du poids important de sa batterie, pourrait limiter le chargement possible lors de certains trajets ou forcer à utiliser une remorque à trois essieux. En effet, environ 2000 km ont été parcourus en étant chargé près de la limite pour une remorque deux essieux.

Les tracteurs électriques affichent un surpoids approximatif de 2500 kg pour le moment. Il serait donc toujours possible de conserver les chargements qui amènent présentement le poids total jusqu'à environ 33 500 kg.

Quelques centaines de kilomètres ont aussi été parcourus à plus de 34 000 kg. Le tracteur tirait probablement une remorque à trois essieux à ces moments. Les camions électriques offerts sur le marché en ce moment ne sont pas approuvés par les manufacturiers pour ce genre de chargement, mais cette information est sujette à changement.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 3771 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 3771

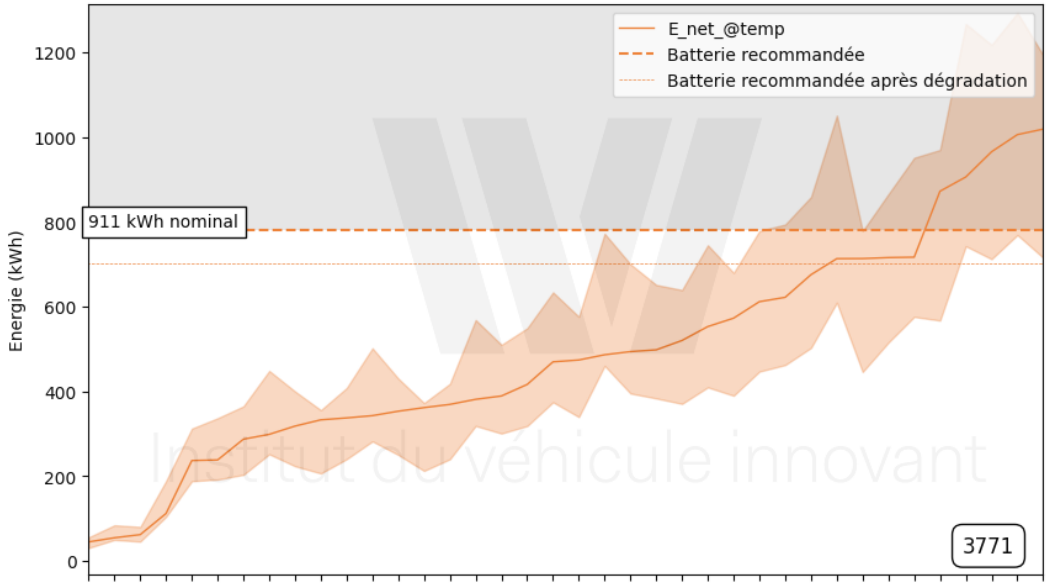
Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	**Longues**	**-**
Constance	**Variées**	**-**
Dénivelé	**Faible**	**+**
Recharge en journée	**Oui**	**+**
Chargement	**Variable**	**+/-**
Accessoires	**Aucun**	**+**

8. Scénario d'électrification pour le camion 3771

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

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

Graphique 5: Journées de mesure du camion 3771, 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 911 kWh total disposerait de 779 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 3771 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.

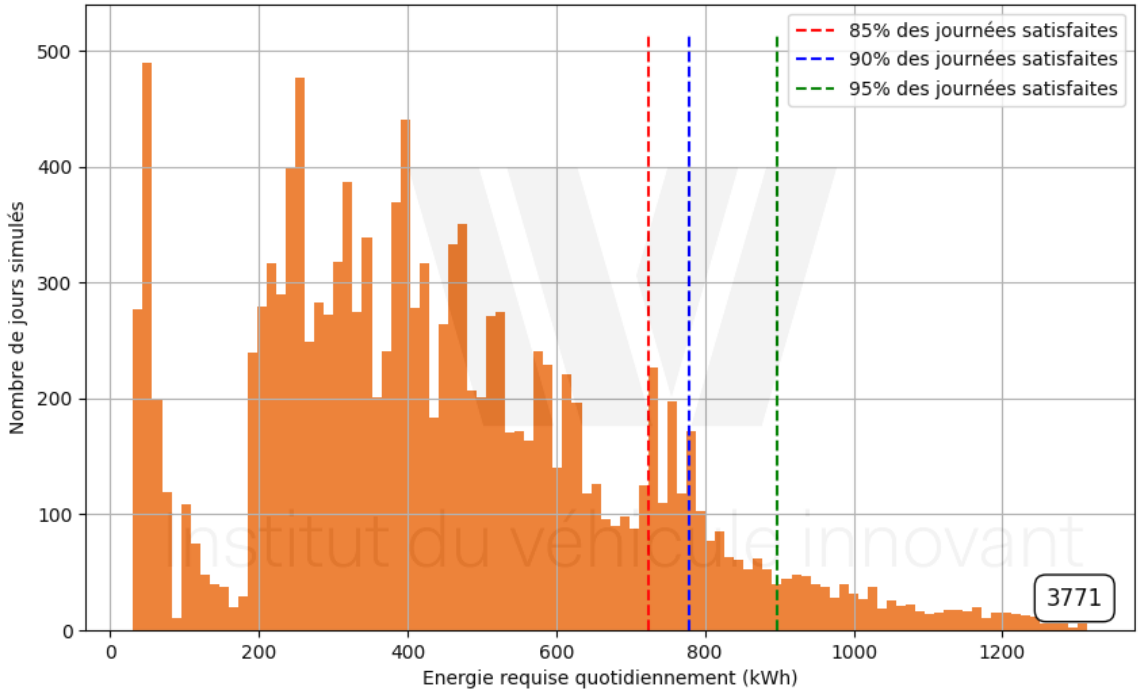
La consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 141 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

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

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

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

Graphique 6 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 3771



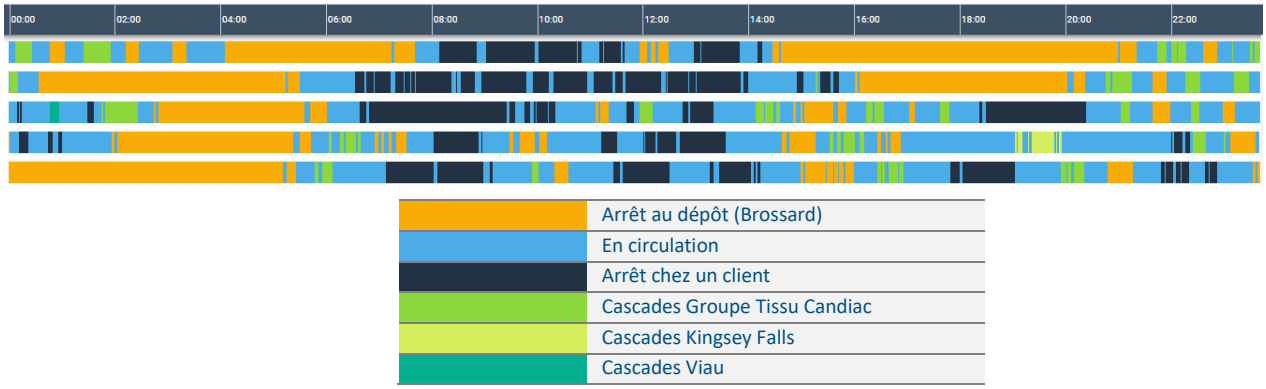
Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classe 8 vont d'environ 250 à 650 kWh. Puisque celle-ci constitue une importante partie du prix du véhicule, il est important de sélectionner la plus petite batterie qui répondra aux besoins énergétiques à long terme. À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

La capacité de batterie requise dépasse celle offerte dans le marché actuellement. Cependant, en discutant avec les gestionnaires de la flotte de Cascades Transport, il a été soulevé que le véhicule est utilisé par un chauffeur le jour, puis un autre le soir et que ces opérations pourraient être scindées et évaluées indépendamment. Ce scénario sera étudié plus en détails pour la suite.

Scénario d'électrification des opérations de jour du camion 3771

Le Graphique 7 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 3771. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, de bas en haut.

Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 3771



On aperçoit que l'horaire du tracteur 3771 est assez irrégulier, ponctué de nombreux courts arrêts à son port d'attache et à l'entrepôt de Cascades Groupe Tissu à Candiac, de même que quelques visites à d'autres usines ou entrepôts de l'entreprise.

Il termine sa journée entre 15h et 16h, mais il repart pour la soirée et une partie de la nuit, parfois aussi peu qu'une heure plus tard. Ces déplacements ne sont pas considérés dans la présente analyse.

L'étude des déplacements de jour seulement révèle que le véhicule 3771 parcourt des distances beaucoup moins élevées. Celles-ci sont présentées à droite. Aussi, la consommation pour ces trajets est presque identique, ce qui porte la capacité nominale de la **batterie recommandée à environ 550 kWh**. Le temps de conduite passe à 10 heures par jour, laissant désormais 14 heures pour recharger la batterie. Une **borne de 50 kW permettrait d'ajouter 630 kWh durant ce délai**.

Les déplacements de soir auraient des besoins énergétiques semblables.

Max	584	km
90%	306	km
Med	176	km
Moy	185	km

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 3771 seraient donc les suivants :

Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 3771

Capacité nominale requise pour satisfaire 90% des journées	550 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 50 kW
Batterie recommandée disponible sur le marché ?	Oui

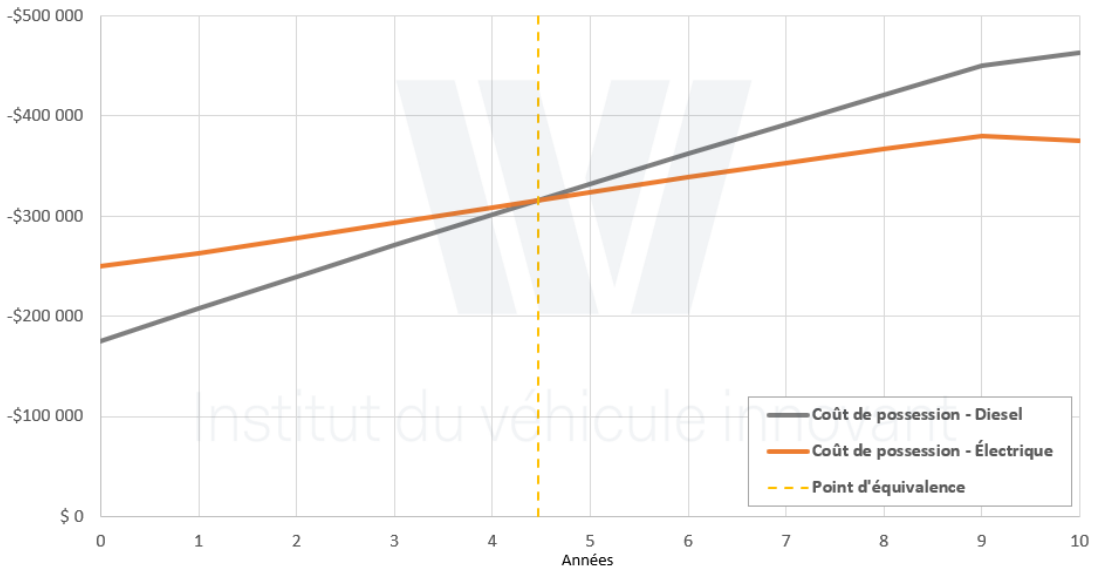
Le scénario d'électrification présenté pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 6. L'économie potentielle a été calculée sur 10 ans, car c'est la durée que Cascades Transport prévoit conserver un camion électrique. Cette analyse tient compte des déplacements diurnes seulement. Lors de l'analyse, le camion a parcouru tout près de 8 000 km, soit l'équivalent de 32 000 km par année.

Tableau 6: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 3771

Coût annuel de carburant avant électrification	22 370 $
Coût annuel d'électricité	5 706 $
Économie annuelle de coûts d'énergie	16 664 $
Surcoût total à l'achat (après subventions)	75 000 $
Période de retour sur investissement	**4,5 années**
Économie potentielle après 10 ans	**88 536 $**

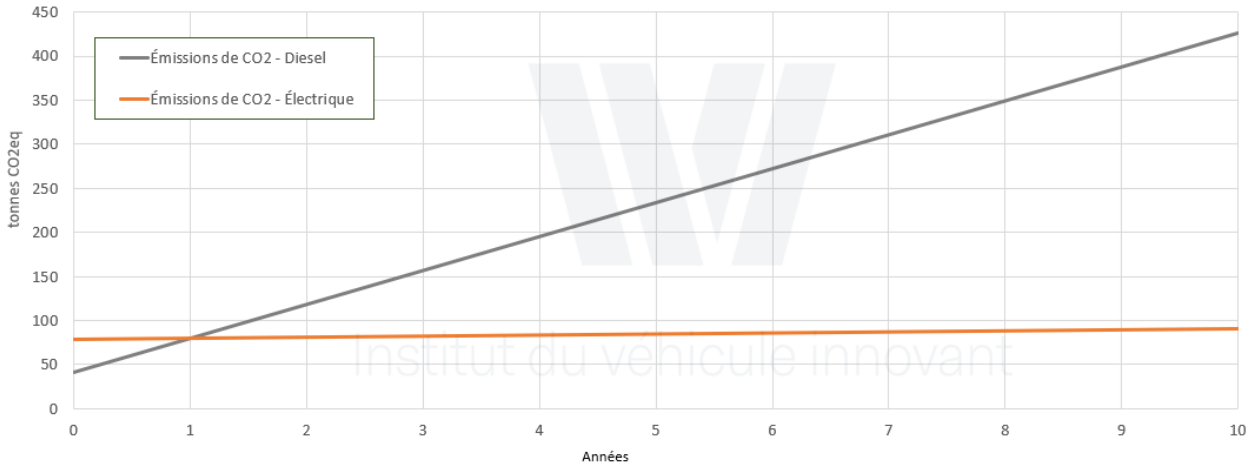
Sur une période de 10 ans, le camion électrique aurait un coût total de possession de 374 627 $ tandis que celui du camion diesel serait plutôt de 463 163 $. Cette différence représente une économie de 19 %. Ces simulations tiennent compte des incitatifs actuels, de l'inflation, de la maintenance des camions, de l'énergie et de la puissance, du coût de la borne et de son installation et de son entretien. Le coût du diesel considéré est 2,00 $/L et le coût de l'électricité est fixé à 0,12 $/kWh.

Graphique 8 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 3771, Diesel vs. Électrique



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 335 tonnes de CO2 équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 32 946 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 la vie du camion 3771, Diesel vs. Électrique



L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification immédiate du camion 3771 dans l'optique où un seul camion devrait réaliser l'entièreté des déplacements de jour et de soir tel qu'observés durant la collecte de données.

Dans l'éventualité où il n'était utilisé que de jour, la demande énergétique diminuerait drastiquement. La capacité de batterie nominale recommandée passerait de 911 kWh à 550 kWh.

Ceci permettrait également l'utilisation d'une borne de recharge moins puissante, soit 50 kW.

Dans ce contexte, les opérations de nuit pourraient aussi être considérées comme un scénario d'électrification en soi. Les paramètres seraient très semblables, mais la rentabilité un peu moins élevée puisque le véhicule parcourt des distances moins grandes en moyenne. Électrifier le soir en plus du jour reviendrait donc à remplacer un camion par deux véhicules. Ceci n'est pas impossible et pourrait aussi être rentable, cependant une analyse plus approfondie serait requise.

Aussi, considérant la répétitivité des lieux visités par celui-ci et le fait que la plupart sont des entrepôts ou usines appartenant à l'entreprise, il pourrait être intéressant d'investiguer si plusieurs autres camions font des trajets similaires. Si tel est le cas, l'installation de quelques bornes à ces endroits pourrait permettre de faire des échanges de tracteurs et ainsi optimiser la proportion de déplacements électrifiés. Considérant que le véhicule fait rarement des trajets plus longs que des allers-retours à ces quelques lieux, une batterie permettant d'effectuer le plus long trajet typique serait adéquate.

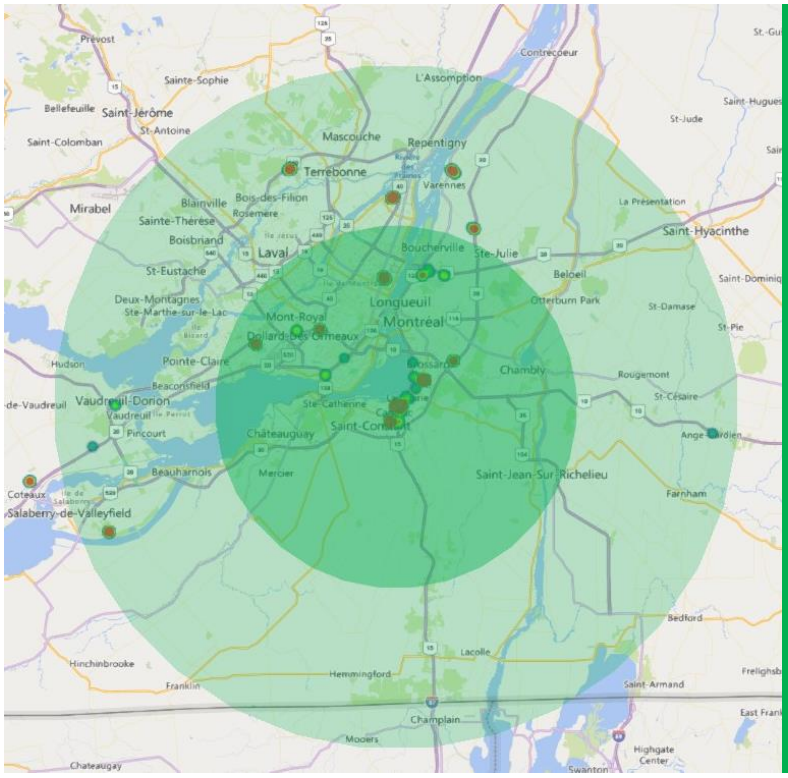
À titre d'exemple, voici l'énergie moyenne requise estimée pour parcourir quelques trajets fréquents du camion 3771, en été et en hiver. À cette énergie doit être ajoutée les marges habituelles :

Trajet (aller seulement)	Énergie requise – Été	Énergie requise - Hiver
Brossard – Candiac Groupe Tissu	10,8 kWh	15,2 kWh
Brossard – Viau	41,5 kWh	56,2 kWh
Brossard – Kingsey Falls	282 kWh	395 kWh

9. Analyse du camion 3823

Le camion au diesel # 3823 est utilisé pour transporter du papier hygiénique, des essuie-tout et du carton entre deux entrepôts à Candiac et un à Brossard. Le soir, il effectue à l'occasion des livraisons à des endroits plus loin, se rendant à l'occasion à Drummondville.

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



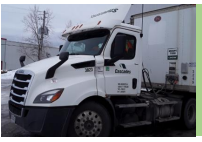
Le camion 3823 passe la très grande majorité de son temps entre deux entrepôts de Cascades à Candiac, un autre client toujours à Candiac, puis un entrepôt à Brossard, donc dans un rayon beaucoup plus petit que 25 km.

Les autres endroits fréquemment visités sont principalement à Montréal et en périphérie, presque toujours à l'intérieur du rayon de 50 km.

Quelques livraisons sont faites à l'extérieur de ce rayon, principalement chez Cascades à Drummondville.

Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 3823 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Cascades Transport

Encore une fois, le camion 3823 évolue presque exclusivement entre 4 entrepôts sur la rive-sud de Montréal. Il gravit donc très peu de côtes. Peu d'énergie est utilisée pour gravir ces quelques vallons.



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

Tableau 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 3823

Le calendrier des déplacements du camion 3823 fournit bien peu d'indices visuels en observant les variations de couleurs d'une journée à l'autre. Celles-ci semblent bien disparates et irrégulières.

Malgré cette irrégularité et le peu de données (seuls 28 journées ont pu être comptabilisées par manque de données de chargement), l'analyse poussée des déplacements réalisée par l'IVI a permis de déceler deux modes de déplacements, qui peuvent être observés ici.

Durant la journée, le camion effectue une dizaine d'allers-retours entre Cascades Groupe Tissu et l'entrepôt Liberté à Candiac avant de retourner au terminal à Brossard. Ces déplacements peuvent représenter jusqu'à 140 km par jour, ce qui est près de la médiane et la moyenne observée.

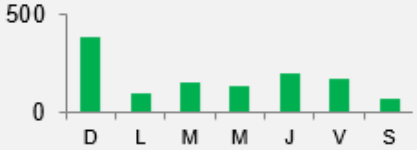
Lorsqu'il est utilisé le soir, il peut soit repartir de Brossard et continuer ces livraisons, soit faire des livraisons plus loin, par exemple à Drummondville. Aux 140 km en journée s'ajoutent ces livraisons, et ce sont ces journées qui sont les plus longues observées durant l'essai. Les distances parcourues lors de ces journées approchent du 90e percentile et du maximum observés.

Il est à noter que, malgré ces longues distances le soir, le camion s'arrête quand même plusieurs fois à des entrepôts de Cascades.

Les deux scénarios pourraient donc être identifiés ainsi :

- Inter-entrepôts Candiac, de jour
- Inter-entrepôts hors Montréal, de soir

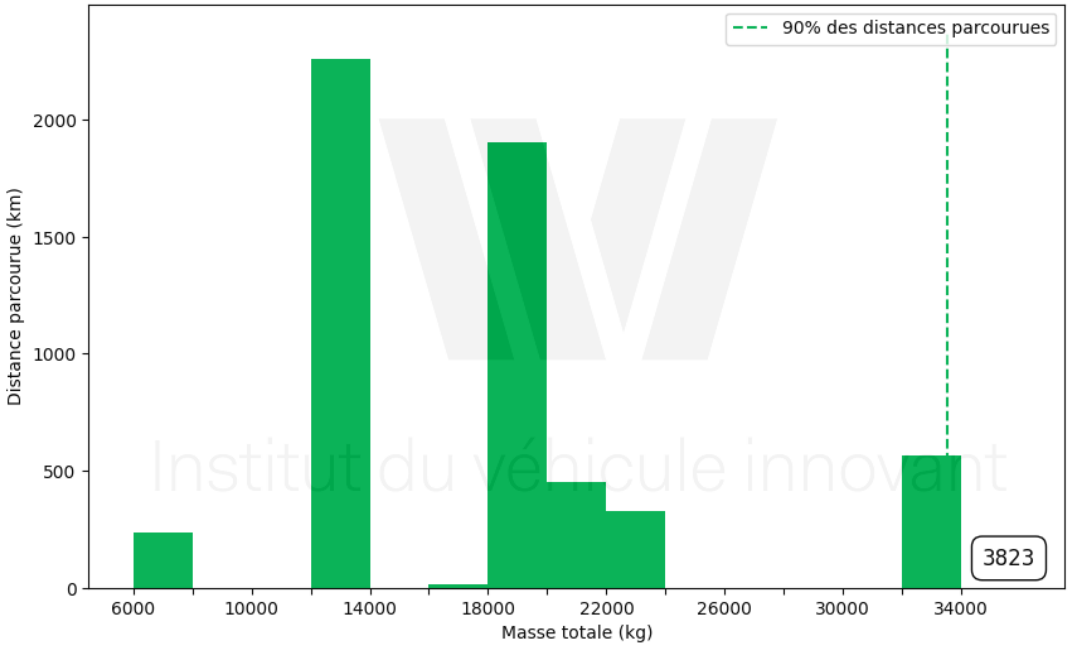
Max	498	km
90%	312	km
Med	128	km
Moy	156	km
σ	117	km
CV	75%	



	D	L	M	M	J	V	S
	-	-	-	-	-	-	-
févr.	-	-	-	-	257	130	44
	-	67	71	81	93	75	-
	-	92	76	94	157	154	-
	-	201	211	-	33	-	-
mars	-	-	312	458	198	285	101
	387	111	168	8	-	-	-
	-	36	-	53	157	-	-
	-	-	118	288	291	47	-
avr.	-	-	13	30	-	-	-
	-	28	314	272	498	400	-
	-	128	106	68	99	122	-
	-	133	159	159	151	152	-
	-	-	-	34	259	-	-
mai	-	-	-	-	-	-	-

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

Graphique 10: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 3823



Tout comme le camion 3771, le 3823 a quelques niveaux de chargement assez réguliers, soit 14 000 kg (camion vide), 20 000 kg et 33 000 kg. Il a également parcouru quelques centaines de kilomètres sans remorque.

En considérant le surpoids d'un camion électrique dû à sa batterie, environ 90 % des déplacements seraient très près du PNBV limite pour ce camion. Il faudrait donc faire attention, et possiblement limiter le chargement dans certains cas.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 3823 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 3823

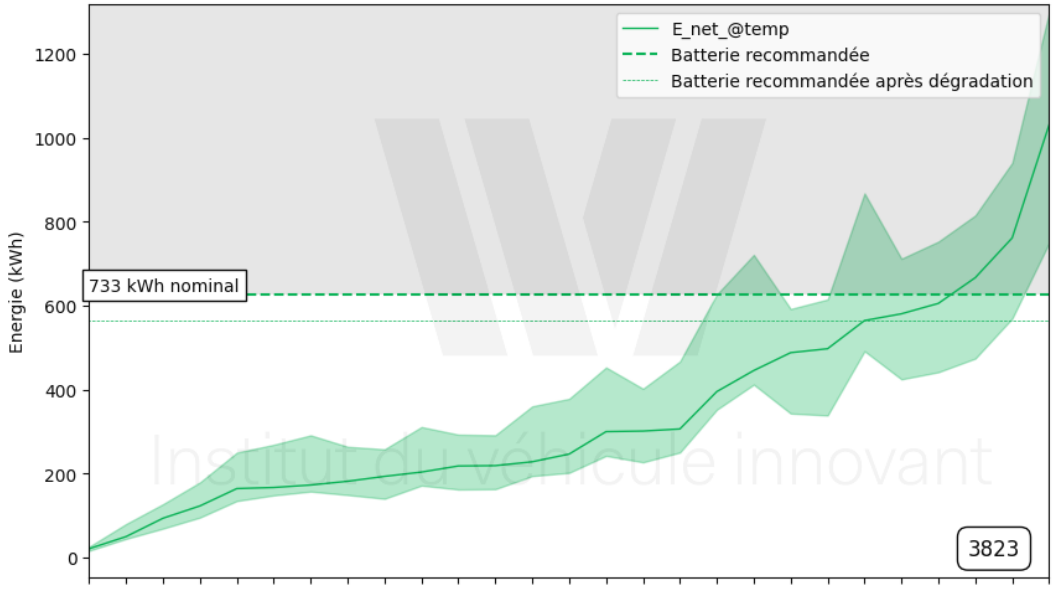
Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	**Courtes**	**+**
Constance	**Réguliers**	**+**
Dénivelé	**Faible**	**+**
Recharge en journée	**Oui**	**+**
Chargement	**Variable**	**+/-**
Accessoires	**Aucun**	**+**

10. Scénario d'électrification pour le camion 3823

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

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

Graphique 11: Journées de mesure du camion 3823, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



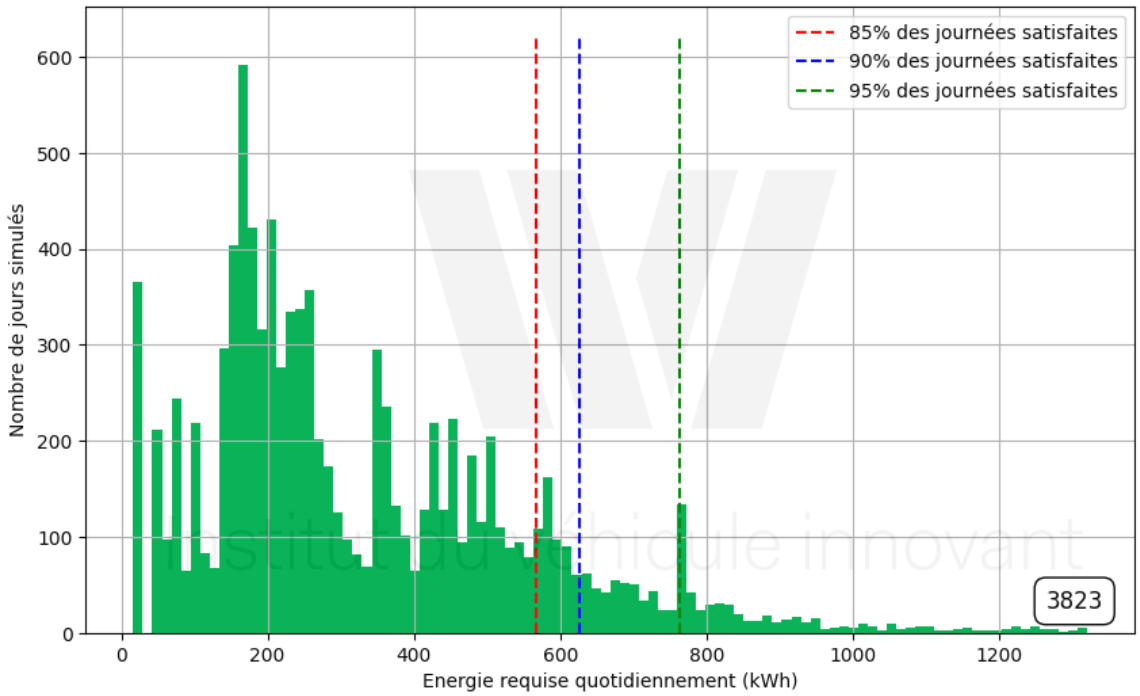
Guide d'interprétation du Graphique 11 :

- La courbe verte du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire verte montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20°C) ou très froid. La valeur plus élevée représente l'énergie lors d'une journée froide (-20°C).
- La zone sous la ligne pointillée horizontale représente les journées où le camion dispose d'assez d'énergie pour compléter tous les trajets de la journée.
- Un camion avec une batterie de capacité nominale de 733 kWh disposerait de 627 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 12 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 140 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

Le Graphique 12 représente les tailles de batteries recommandées pour accomplir 85%, 90% ou 95% des journées d'une année, sans que le camion électrique n'ait recours à la recharge en cours de journée. Pour obtenir ce graphique, l'IVI a considéré que toutes les journées de l'année ont des chances égales de se faire attribuer les routes de l'une ou l'autre des journées valides de l'échantillon récolté. L'IVI a développé une méthode pour propager sur une année les données récoltées en trois mois. Cette méthode est expliquée en détail au-dessus du Graphique 6.

Graphique 12 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 3823



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.

La capacité de batterie requise dépasse celle offerte dans le marché actuellement. Cependant, un mode d'opération du camion, les déplacements de jour entre les deux entrepôts de Candiac, pourrait être électrifiable avec l'offre actuelle des batteries. Seul ce scénario sera étudié plus en détails pour la suite.

Scénario d'électrification Candiac Groupe Tissu – Candiac Liberté

Le scénario d'électrification permettant de couvrir tous les déplacements faits durant l'essai requiert une batterie de capacité supérieure à ce qui est présentement offert sur le marché.

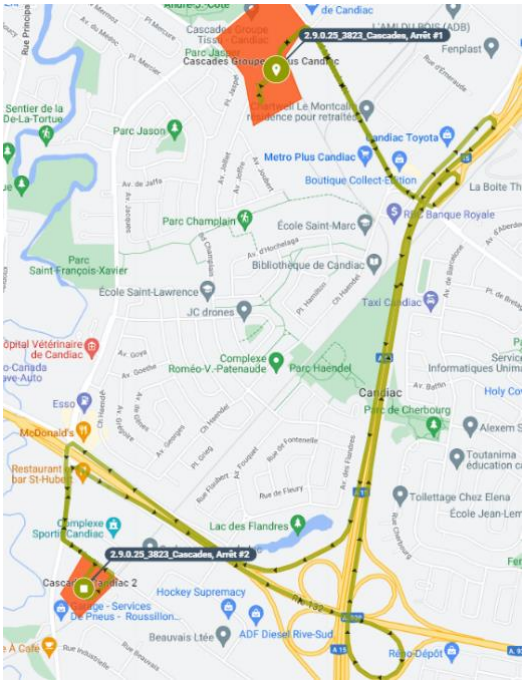


Figure 5 : Trajet du camion 3823

Pour cette raison, et avec l'approbation du gestionnaire de la flotte de Cascades Transport, le scénario étudié pour la suite consistera à étudier le potentiel d'électrification des opérations inter-entrepôts entre Candiac Groupe Tissu et Candiac Liberté, avec retour à Brossard seulement. Les déplacements de soir vers Drummondville seront donc retirés de l'analyse.

Cet itinéraire consiste à faire des allers-retours de 7 km vers Groupe Tissu, et 6 km vers l'entrepôt Liberté. Parcourir ce trajet aller-retour nécessite en moyenne 18,4 kWh en été, et jusqu'à 27,6 kWh lors des plus grands froids d'hiver. Lors de la période d'analyse, le camion 3823 a parcouru cet aller-retour 8 à 10 fois par quart de travail.

Parcourir dix fois ce trajet en une journée et revenir à Brossard représente une distance quotidienne de 154 km, pour une consommation de 206 kWh en été et jusqu'à 288 kWh en hiver, soit beaucoup moins que les batteries présentement offertes sur les tracteurs de classe 8.

Le Graphique 13 permet de visualiser les déplacements et les arrêts lors d'une journée typique du camion 3823. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée.

Graphique 13 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 3823

	Arrêt au dépôt (Brossard)
	En circulation
	Arrêt chez un client
	Cascades Groupe Tissu Candiac
	Cascades Viau
	Entrepôt Liberté, Candiac

Réaliser le scénario inter-entrepôts réduirait les journées montrées ci-haut aux arrêts en mauve et vert compris principalement entre 6h et 16h. Cela veut dire que le camion aurait 14h pour recharger quotidiennement.

Ces arrêts représentés en mauve et en vert pourraient être considérés comme des endroits propices à la recharge, dans l'éventualité où l'entreprise désirait y installer des bornes. Plusieurs de ces lieux d'arrêts sont communs au camion 3771 et possiblement à plusieurs autres camions de la flotte.

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.

La consommation énergétique quotidienne maximale de 288 kWh en hiver calculée précédemment convertie en capacité totale avec marges serait 339 kWh. Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification inter-entrepôts du camion 3823 seraient donc les suivants :

Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 3823

Capacité de la batterie embarquée	339 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 50 kW
90 % des opérations remplies ?	Oui

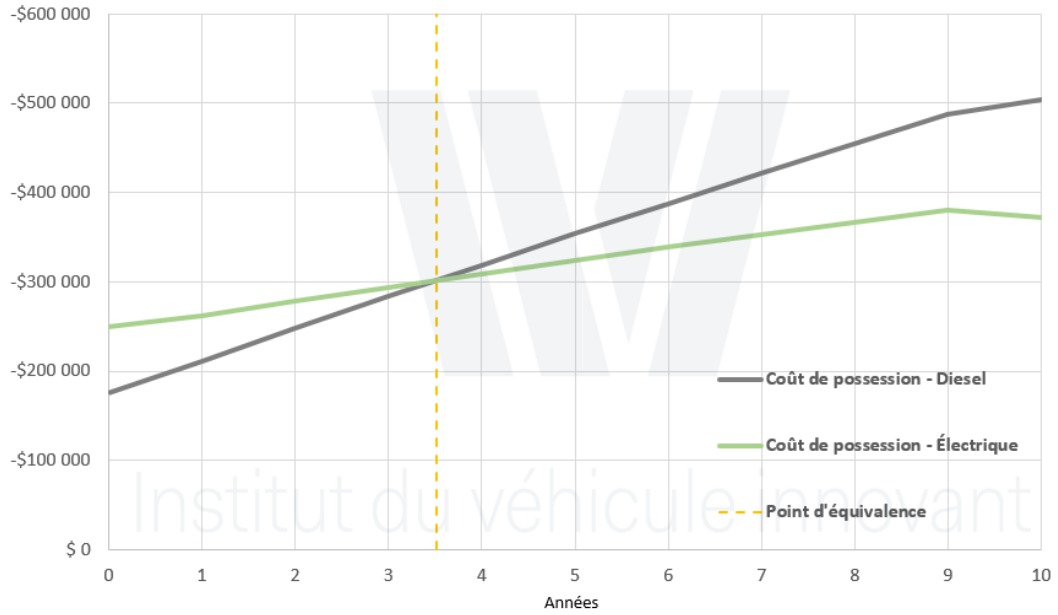
Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 10. Les bénéfices sont comptabilisés sur 10 ans, la durée que Cascades Transport conserverait un camion électrique.

Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 3823

Coût annuel de carburant avant électrification	26 940 $
Coût annuel d'électricité	5 786 $
Économie annuelle de coûts d'énergie	21 154 $
Surcoût total à l'achat (après subventions)	75 000 $
Période de retour sur investissement	**3,5 années**
Bénéfice net après 10 ans	**131 797 $**

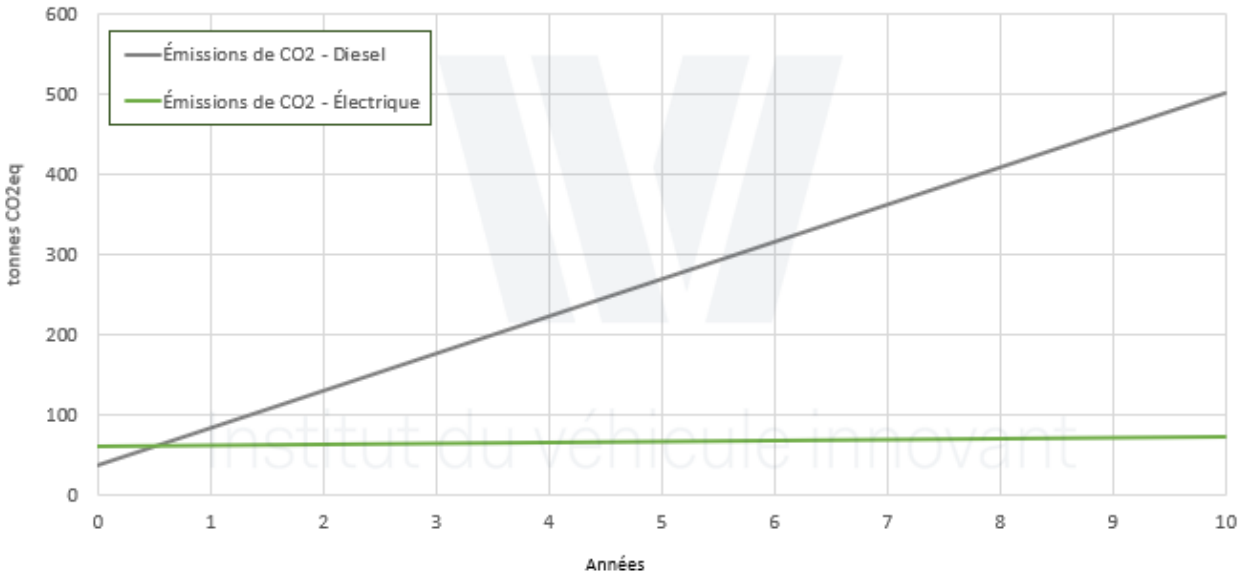
Sur une période de 10 ans, le camion électrique aurait un coût total de possession de 372 565 $ tandis que celui du camion diesel serait plutôt de 504 362 $. Cette différence représente une économie de 26 %. Ces simulations tiennent compte des incitatifs actuels, de l'inflation, de la maintenance des camions, de l'énergie et de la puissance, du coût de la borne et de son installation et de son entretien. Le coût du diesel considéré est 2,00 $/L et le coût de l'électricité est fixé à 0,12 $/kWh.

Graphique 14 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 3823, Diesel vs. Électrique



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 428 tonnes de CO2 équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 17 568 km. Ces valeurs viennent des analyses indépendantes de l'IVI, basées sur des études ICCT et tiennent compte des émissions de GES de la production d'électricité par barrages hydro-électriques.

Graphique 15: Émission sur la vie du camion 3823, Diesel vs. Électrique



Bien que la taille de batterie recommandée pour réaliser l'entièreté des déplacements mesurées dépasse l'offre actuelle du marché, celle-ci tient compte d'un cas où le véhicule devrait faire toutes ses livraisons quotidiennes de jour et de nuit sans se recharger. Puisqu'il a été déterminé que plusieurs occasions de recharge sont possibles pour ce camion, et en considérant qu'il effectue deux scénarios de déplacements distincts, il convient de les séparer pour les analyser séparément et déterminer leur potentiel respectif d'électrification.

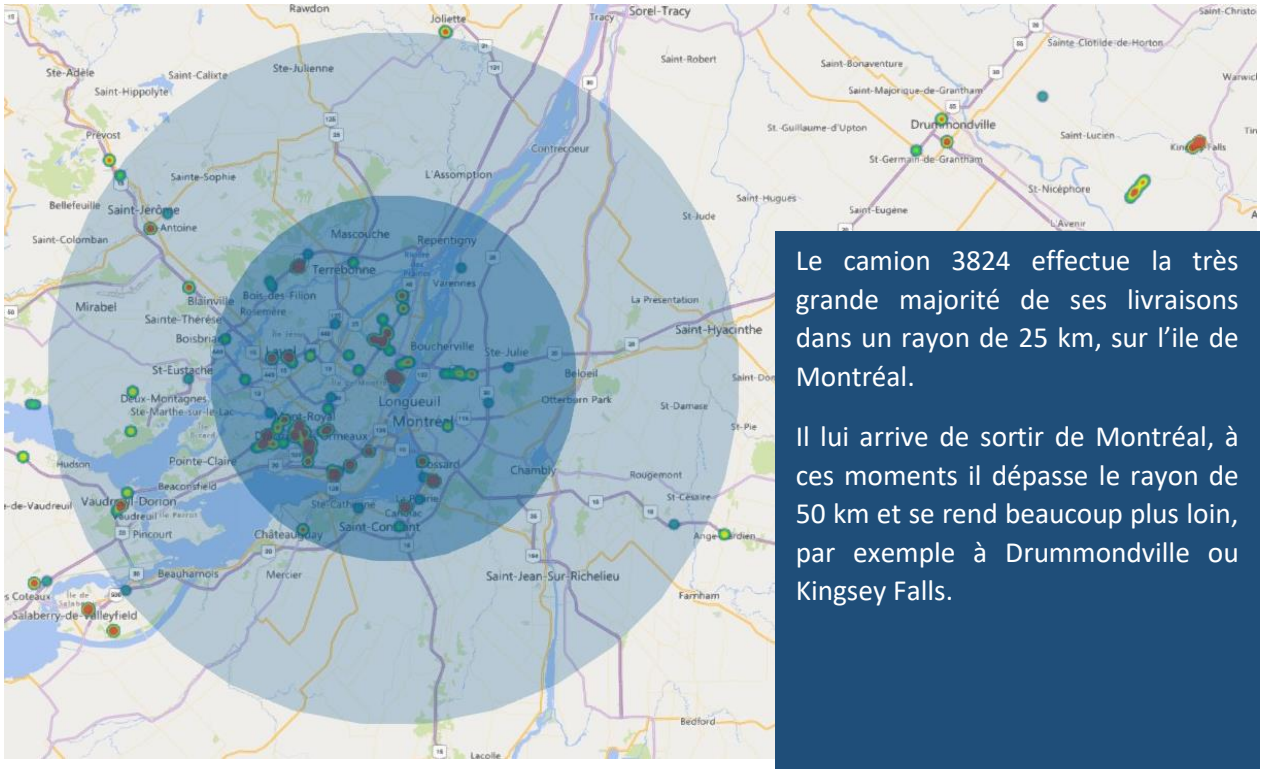
Le scénario de déplacements Inter-entrepôts à Candiac de jour représente un maximum de 154 km par jour, habituellement peu chargé et à basse vitesse. Sa consommation estimée en été serait de 184 kWh pour 10 allers-retours, plus la route pour se rendre à Brossard et revenir. **Cela équivaut à une énergie utilisable après marges de 288 kWh en hiver, soit un camion muni d'une batterie de capacité totale de 339 kWh. Les batteries offertes dans les camions actuellement disponibles dépassent déjà largement cette capacité.** Aucune recharge ne serait nécessaire pour compléter cette journée typique, cependant recharger à un entrepôt de Candiac permettrait de finir la journée pleinement chargée, prêt à entamer les opérations de nuit. Alternativement

Le scénario de nuit est plus variable. Les camions électriques de classe 8 présentement offerts permettraient sans doute de compléter 90 % de ces déplacements à condition d'être rechargés en fin d'après-midi. Cela pourrait être possible en augmentant la puissance de la borne de recharge ou en ajoutant un camion en plus de celui reprenant les opérations de nuit. La rentabilité n'est pas impossible, mais des calculs plus avancés devraient être effectués pour s'en assurer.

11. Analyse du camion 3824

Le camion 3824 est utilisé pour transporter des produits finis Cascades et des matériaux recyclables sur l'ile de 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 longs et fréquents :



Le camion 3824 effectue la très grande majorité de ses livraisons dans un rayon de 25 km, sur l'ile de Montréal.

Il lui arrive de sortir de Montréal, à ces moments il dépasse le rayon de 50 km et se rend beaucoup plus loin, par exemple à Drummondville ou Kingsey Falls.

Figure 6 : Fréquence des livraisons du camion 3824 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Cascades Transport

Le camion 3824 évolue presque exclusivement sur l'ile de Montréal. Il gravit donc peu de côtes. Peu d'énergie est utilisée pour gravir ces quelques vallons.

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

Tableau 11 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 3824

Puisque l'objectif est de répondre au besoin d'environ 90 % des journées, le 90e percentile de distance quotidienne parcourue est la donnée la plus intéressante du Tableau 11 pour cette analyse. 512 km est plutôt élevé pour un véhicule électrique de la génération actuelle. La moyenne et la médiane sont également assez élevées, ce qui corrobore que le 90e percentile n'est pas nécessairement une valeur irrégulière.

Le camion est utilisé 5 jours par semaine, du lundi au vendredi. Il n'y a pas de grande variation entre la moyenne de chaque jour de la semaine.

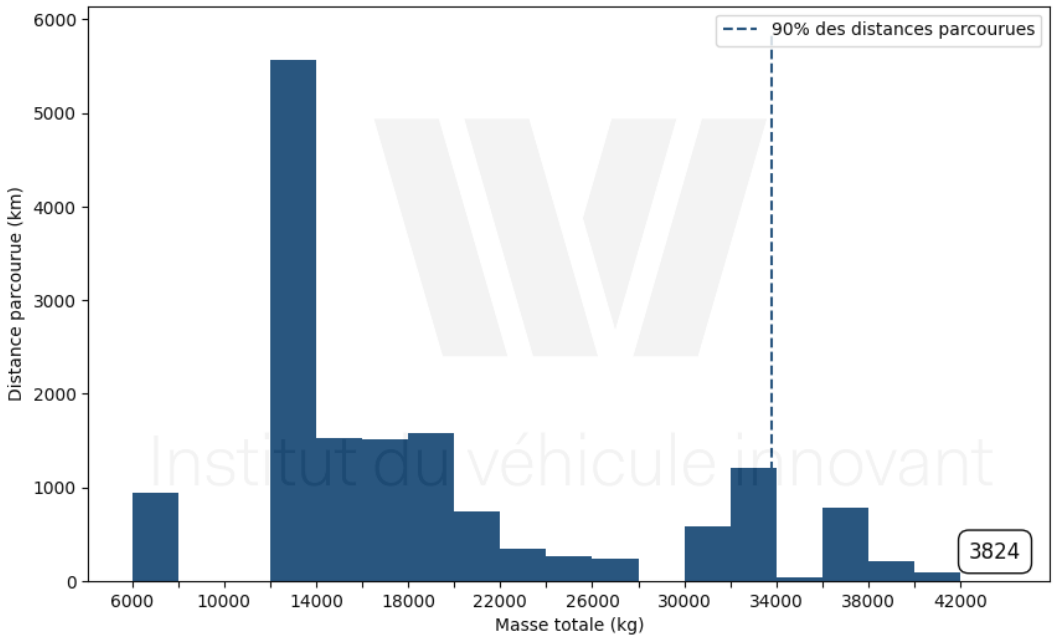
Le camion 3824 parcourt des distances très variées. La consultation des gradations de couleurs sur le calendrier ne permet pas de déduire un mode d'opération particulier ou des trajets récurrents.

Max	599	km
90%	512	km
Med	351	km
Moy	331	km
σ	138	km
CV	42%	

	D	L	M	M	J	V	S
	-	-	-	-	-	-	-
févr.	-	-	-	-	346	361	-
	-	272	369	387	331	514	-
	-	235	197	328	425	254	-
	-	546	228	356	466	336	-
mars	-	400	160	166	257	511	-
	-	519	272	416	322	193	-
	-	25	415	256	381	363	-
	-	599	119	406	516	513	-
avr.	-	468	390	488	396	-	-
	-	73	12	-	-	-	-
	-	-	408	32	325	444	-
	-	248	433	389	187	-	-
	-	345	224	277	-	-	-
mai	-	-	-	-	-	-	-

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

Graphique 16: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 3824



Le camion 3824 roule souvent vide ou très peu chargé. Cependant, il a parcouru environ 1000 km à plus de 36 000 kg, indiquant qu'il aurait tiré une remorque à trois essieux. À l'image des camions précédents, effectuer ces trajets avec un camion électrique amputerait sévèrement son autonomie et va à l'encontre des recommandations des manufacturiers. Aussi, environ 1500 km sont près de la limite permise avec une remorque à deux essieux. Ces chargements pourraient devoir être réduits en utilisant un tracteur électrique pesant environ 2500 kg de plus que l'équivalent diesel.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 3824 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

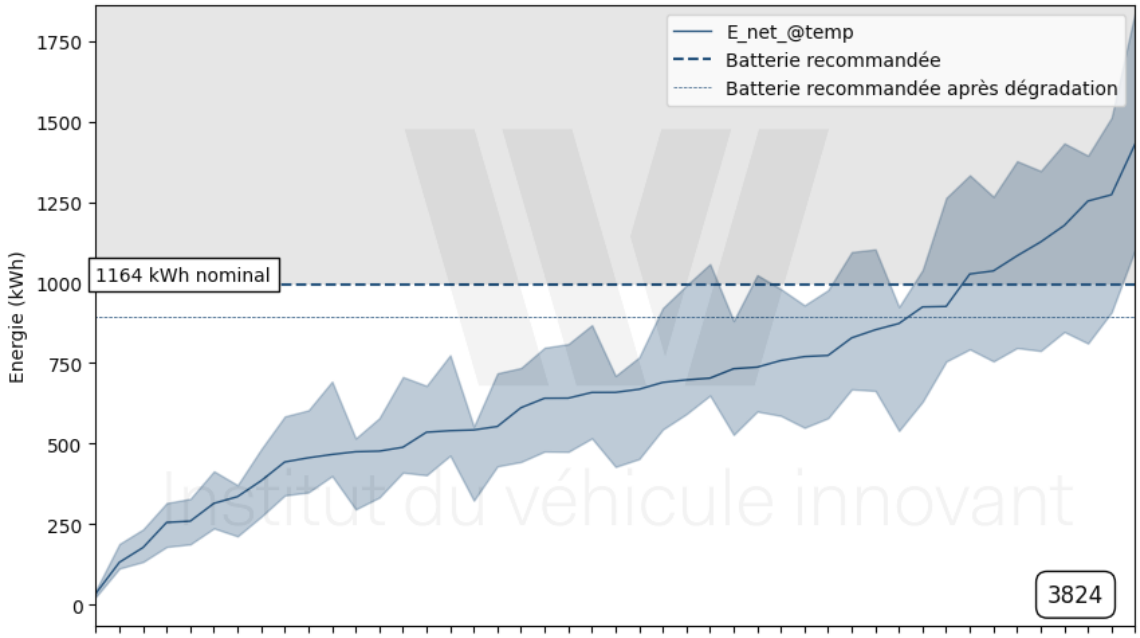
Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	**Longues**	**-**
Constance	**Varié**	**-**
Dénivelé	**Faible**	**+**
Recharge en journée	**Oui**	**+**
Chargement	**Variable**	**+/-**
Accessoires	**Aucun**	**+**

12. Scénario d'électrification pour le camion 3824

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

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

Graphique 17: Journées de mesure du camion 3824, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



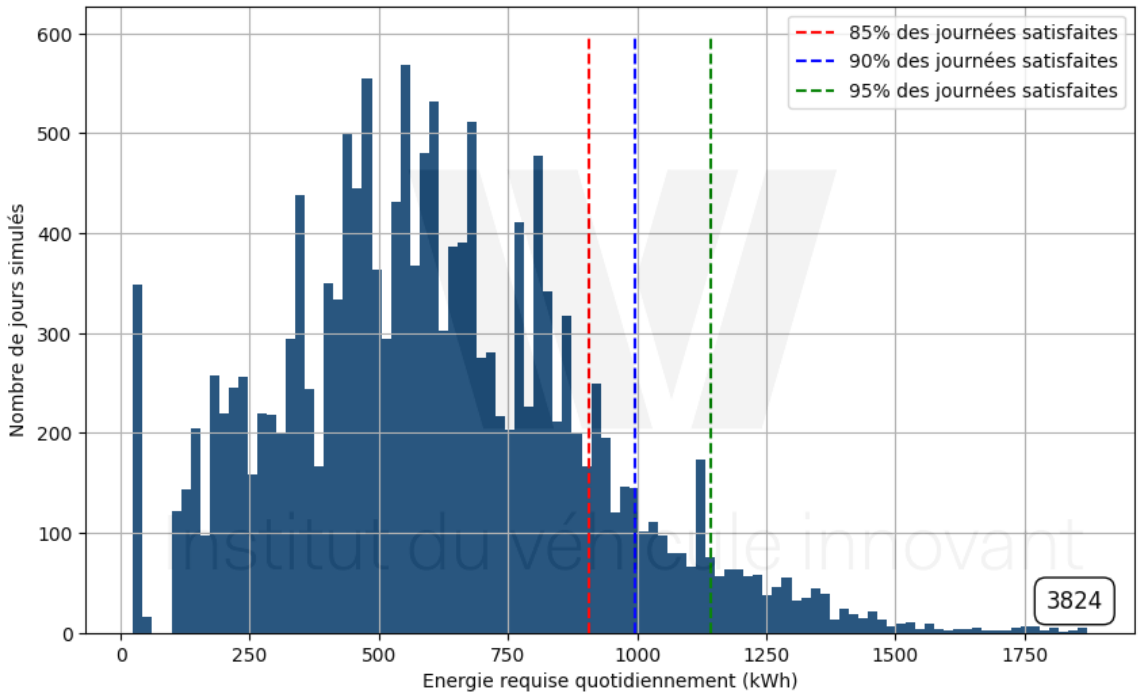
Guide d'interprétation du Graphique 17 :

- La courbe bleue du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire bleue montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20°C) ou très froid. La valeur plus élevée représente l'énergie lors d'une journée froide (-20°C).
- La zone sous la ligne pointillée horizontale représente les journées où le camion dispose d'assez d'énergie pour compléter tous les trajets de la journée.
- Un camion avec une batterie de capacité nominale de 1164 kWh disposerait de 995 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 145 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

Le Graphique 18 représente les tailles de batteries recommandées pour accomplir 85%, 90% ou 95% des journées d'une année, sans que le camion électrique n'ait recours à la recharge en cours de journée. Pour obtenir ce graphique, l'IVI a considéré que toutes les journées de l'année ont des chances égales de se faire attribuer les routes de l'une ou l'autre des journées valides de l'échantillon récolté. L'IVI a développé une méthode pour propager sur une année les données récoltées en trois mois. Cette méthode est expliquée en détail au-dessus du Graphique 6.

Graphique 18 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 3824

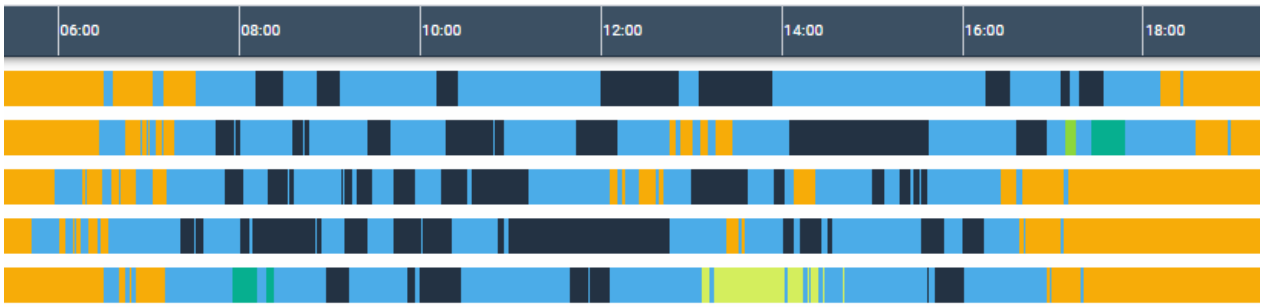


Une batterie de 1164 kWh nominale permettrait alors de réaliser 90 % des journées sur une année moyenne en un seul cycle de décharge de la batterie.

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 19 permet de visualiser les arrêts lors d'une journée typique du camion 3824. 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 19 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 3824



	Arrêt au dépôt (Viau)
	En circulation
	Arrêt chez un client
	Brossard
	Candiac
	Kingsey Falls

Le camion 3824 a un horaire relativement stable, de jour entre 6h et 18h au plus. Il revient à son terminal quelques fois par semaine, et il arrive qu'il visite les entrepôts où les camions 3771 et 3823 sont stationnés. Ces lieux pourraient aussi être visés par l'installation d'infrastructure de recharge dans le futur.

Cependant, l'irrégularité et le moment de la journée de ces visites ne permet pas d'apporter une certitude que visiter ces lieux selon les horaires présentés ici permettrait d'ajouter une quantité d'énergie suffisante pour terminer les journées. De plus, l'addition de la durée de ces visites n'est pas suffisante non plus pour adéquatement remplir une batterie déchargée.

En divisant l'énergie consommée par la durée de recharge disponible, on obtient la puissance de recharge requise. Celle-ci serait donc d'au moins 1164 kWh / 12 h = 97 kW. La puissance disponible répondant de façon fiable à ce besoin est de 120 kW. Cette puissance est plus élevée que le minimum généralement utilisé pour les camions lourds, et il en va de même pour les coûts associés. Une modification des opérations permettrait de réduire la quantité d'énergie requise dans le véhicule et aussi la puissance de la borne de recharge.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 3824 seraient donc les suivants :

Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 3824

Capacité nominale requise pour satisfaire 90% des journées	1164 kWh
Batterie recommandée disponible sur le marché ?	Non

Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 14. L'économie potentielle a été calculée sur 10 ans, car c'est la durée que Cascades Transport prévoit conserver un camion électrique.

Tableau 14: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 3824

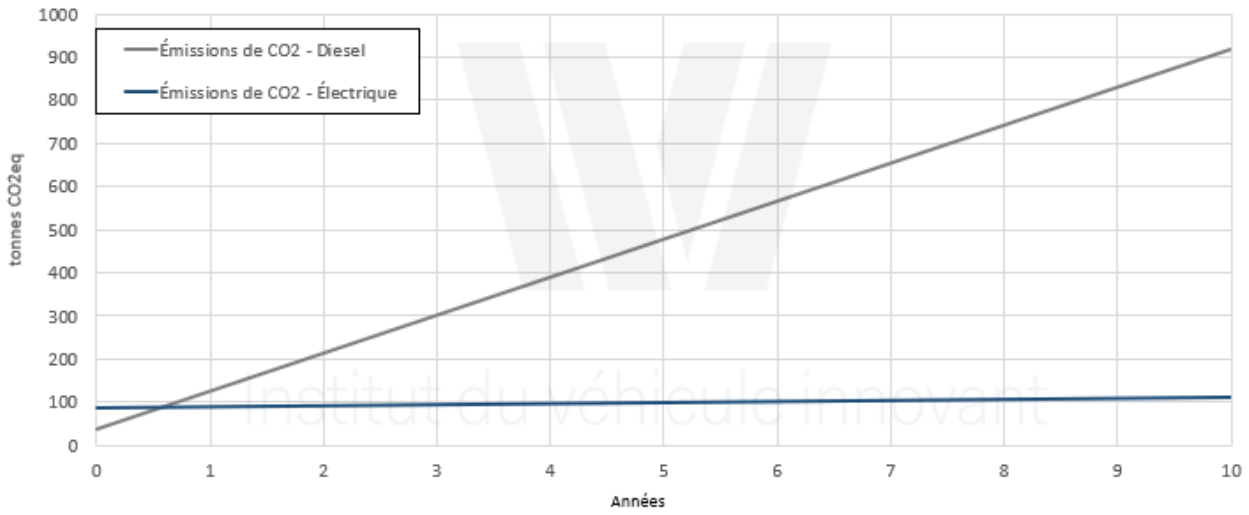
Coût annuel de carburant avant électrification	51 072 $
Coût annuel d'électricité	17 472 $
Économie annuelle de coûts d'énergie	33 600 $
Économie potentielle après 10 ans	**336 000 $**

En date de la rédaction de ce rapport, aucun produit existant ne propose une batterie ayant la capacité nominale requise pour électrifier le camion 3824. La plus grosse batterie disponible sur le marché est d'environ 650 kWh, ce qui limiterait le nombre de journées possibles à compléter, à peine suffisant pour compléter environ 50 % des journées observées.

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 1164 kWh peut être posée. Le coût du diesel considéré est 2,00 $/L et le coût de l'électricité est estimé à 0,16 $/kWh (plus élevé pour ce camion, car la recharge s'effectuerait à 120 kW) dû à l'utilisation d'une borne de haute puissance. Une économie de 336 000 $ 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.**

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 805 tonnes de CO2 équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 41 631 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 20: Émission sur la vie du camion 3824, Diesel vs. Électrique



L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification de cette route en considérant les véhicules offerts sur le marché au moment de publier ce rapport, puisque ceux-ci ont des capacités de batteries insuffisantes.

Cependant, dans beaucoup de cas, le véhicule reste dans un rayon très court de son terminal. Prévoir un retour en journée et une permutation avec un deuxième tracteur, ou avoir ce deuxième camion stationné à une autre usine sur le trajet permettrait de compléter ses journées.

Cette dernière suggestion revient à dire que **deux camions électriques pourraient être utilisés pour remplacer un camion diesel.** Cela peut paraître contre-intuitif, mais le camion 3824 roule beaucoup et donc les économies potentielles sont très élevées.

Les incitatifs à l'électrification en place actuellement font en sorte que **le surcoût à l'achat d'un camion, d'une infrastructure de recharge peu puissante ET le coût d'un camion additionnel pourraient être moins élevés que les économies potentielles de 336 000 $ estimées pour les dix prochaines années.**

En observant le Graphique 20, on y voit que l'ajout d'un deuxième camion électrique porterait le total des émissions de CO2 équivalent à un peu plus de 200 tonnes, toujours bien en-dessous des 900 tonnes émises par le camion diesel sur sa durée de vie.

13. Conclusions et recommandations

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

Véhicule	Camion 3771	Camion 3823	Camion 3824
Potentiel d'électrification (/10)	**8**	**9**	4
Recommandation d'électrification de l'IVI	**Oui**	**Oui**	Non
Capacité totale de batterie requise	**550 kWh**	**339 kWh**	1164 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.

Le camion 3824 est le plus facile à analyser. Celui-ci requiert beaucoup d'énergie et passe très rarement durant la journée à un entrepôt de Cascades où il pourrait recharger. Un changement important des opérations serait nécessaire pour arriver à électrifier cette route avec les camions disponibles sur le marché, tel que de le remplacer par deux véhicules et revenir au dépôt en milieu de journée. Bien que cette possibilité paraisse farfelue, les économies potentielles sont assez importantes pour croire qu'elle puisse tout de même être avantageuse, tant sur le point financier qu'environnemental.

Le camion 3823 serait facile à électrifier pour ses trajets entre les deux entrepôts de Candiac. Il serait en mesure de compléter un quart de travail complet sans recharger, 100 % des jours avec une batterie relativement petite. En installant des bornes aux entrepôts de Candiac en plus de Brossard, il pourrait être rechargé tout au long de la journée, conservant son état de charge près de 100 %. Ainsi, le camion pourrait repartir le soir pour d'autres entrepôts de Cascades où des bornes de recharge seraient installées.

Les déplacements de jour du camion 3771 pourraient être électrifiés, mais celui-ci aurait besoin d'une batterie de plus grande. Il faudrait donc faire attention au modèle de véhicule sélectionné, car tous n'offrent pas la même capacité maximale. Aussi, la rentabilité serait moins élevée que pour le camion 3823.

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 souvent arrêtés longtemps la nuit, et parfois ils visitent fréquemment les mêmes quelques endroits. Ceci 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 à un dépôt de Cascades 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. Une borne de 50 kW serait suffisante pour les camions 3771 et 3823 utilisés un quart de travail par jour, mais pour les autres scénarios étudiés une analyse plus approfondie sera requise. Aussi, plusieurs bornes de recharge rapide publiques pour les camions lourds apparaîtront sous peu au Québec. L'utilisation de ces bornes pourrait être avantageuse pour un camion qui n'a pas l'habitude de repasser au dépôt durant la journée.

Le présent rapport fait l'état des possibilités d'électrification pour trois camions de la flotte de Cascades Transport. Ces véhicules ont été choisis sur le volet par l'IVI et le participant pour répondre aux questionnements des gestionnaires de flotte et pour leurs déplacements limités pouvant produire des candidats à l'électrification. Il ne faut donc pas utiliser ces résultats comme généralisation quant au potentiel d'électrification de l'entièreté du parc de Cascades 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://www.ghgenius.ca/index.php

Coût des véhicules électriques :

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

Données scientifiques pour les calculs énergétiques :

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

15. Informations et contact

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

Institut du véhicule innovant

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

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

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

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

16. Remerciements

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

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

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

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