Flotte
rechargeable
Camions lourds

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

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

Date : 27 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 2429 18
8. Scénario d'électrification pour le camion 2429 21
9. Analyse du camion 2423 27
10. Scénario d'électrification pour le camion 2423 30
11. Analyse du camion 2375 34
12. Scénario d'électrification pour le camion 2375 37
13. Conclusions et recommandations 42
14. Sources des données 44
15. Informations et contact 45
16. Remerciements 46

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 Acam Transport 14
Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 2429 19
Tableau 4 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 2429 20
Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 2429..... 24
Tableau 6: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 2429 24
Tableau 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 2423 28
Tableau 8: Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 2423 29
Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 2423..... 32
Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 2423 32
Tableau 11 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 2375 ... 35
Tableau 12 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 2012 36
Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 2375..... 39
Tableau 14: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 2375 39
Tableau 15: Recommandation d'électrification des camions de Acam Transport..... 42

Liste des figures

Figure 1 : Échelle de dénivelé allant du plus petit dénivelé au plus grand 8
Figure 2 : Camions utilisés durant la période d'instrumentation, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 2429, 2423 et 2375..... 13
Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 2429 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Acam Transport 18
Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 2423 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Acam Transport 27
Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 2375 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Acam Transport 34

Liste des graphiques

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion 15
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Acam Transport 16
Graphique 3 : Heures par jour au dépôt, sans les fins de semaine et les fériés 17
Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 2429 20
Graphique 5: Journées de mesure du camion 2429, 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 2429 22
Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 2429 23
Graphique 8: Émission sur la vie du camion 2429, Diesel vs. Électrique 25
Graphique 9: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 2423 29
Graphique 10: Journées de mesure du camion 2423, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh) 30
Graphique 11 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 2423 31
Graphique 12 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 2423 32
Graphique 13: Émission sur la vie du camion 2423, Diesel vs. Électrique 33
Graphique 14: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 2375 36
Graphique 15: Journées de mesure du camion 2375, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh) 37
Graphique 16 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 2375 38
Graphique 17 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 2375 39
Graphique 18: Émission sur la vie du camion 2375, Diesel vs. Électrique 40

À PROPOS DE L'IVI

Cumulant plus de 25 ans d'expérience dans le développement de prototypes de véhicules électriques, autonomes et connectés, l'Institut du véhicule innovant (IVI) est un accélérateur d'innovation qui aide l'industrie québécoise à se positionner rapidement dans un marché en pleine croissance.

Au sein de l'IVI, le Groupe applications technologiques réalise des mandats de déploiement ou d'expérimentation de technologies, de formation et de sensibilisation afin de favoriser l'adoption de nouvelles technologies véhiculaires.

L'Institut du véhicule innovant est un Centre collégial de transfert de technologie (CCTT) affilié au Cégep de Saint-Jérôme. Il détient un statut d'organisme à but non lucratif (OBNL) et est accrédité comme centre de recherche par le CRSNG.

Le projet Flotte rechargeable – Camions lourds vise à soutenir gratuitement les propriétaires et exploitants de véhicules lourds à la venue de camions 100 % électriques sur le marché québécois.

L'objectif du projet est d'encourager les entreprises québécoises à prendre le virage de l'énergie propre et de fournir aux gestionnaires les outils et les connaissances qui leur permettront de mettre en marche le plan d'électrification de leur parc de véhicules lourds.

Pour ce projet d'une durée de trois ans, l'IVI s'associe avec des partenaires de choix de l'écosystème des transports pour aller à la rencontre de transporteurs routiers, élaborer des rapports d'analyses de faisabilité pour une trentaine d'entreprises ciblées, en plus de coordonner des périodes d'essais de modèles de camions lourds électriques en condition réelle d'utilisation commerciale.

Ce projet est réalisé grâce à la participation financière du gouvernement du Québec dans le cadre du programme Action-Climat Québec afin de rejoindre les objectifs du Plan pour une économie verte 2030 et par le soutien des partenaires du projet.

Une subvention de 1 245 560 $ a été accordée pour la mise en œuvre de ce projet.

1. Faits saillants

Le présent rapport a pour but de mesurer la pertinence d'électrifier trois camions de la compagnie Acam Transport, à Saint-Hyacinthe.

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

Les camions roulent beaucoup : ils parcourent 525 km ou moins, 92 % des jours

91 % des arrêts de nuit au terminal durent 10 heures ou plus, permettant de réduire la puissance de la borne de recharge autant que possible

Camion 2429 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	**Valeur**	
Distances	**Longues**	-
Constance	**Varié**	-
Dénivelé	**Faible**	+
Recharge en journée	**Possible**	+
Chargement	**Lourd**	-
Accessoires	**Chauffage**	-

Estimation de consommation électrique en été	199 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	244 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Oui
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	1977 kWh
Batterie disponible ?	Non

Camion 2423 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	**Valeur**	
Distances	**Longues**	-
Constance	**Variées**	-
Dénivelé	**Faible**	+
Recharge en journée	**Possible**	+
Chargement	**Lourd**	-
Accessoires	**Aucun**	+

Estimation de consommation électrique en été	179 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	218 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Oui
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	1153 kWh
Batterie disponible ?	Non

Camion 2375 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	**Valeur**	
Distances	**Longues**	-
Constance	**Variées**	-
Dénivelé	**Faible**	+
Recharge en journée	**Possible**	+
Chargement	**Lourd**	-
Accessoires	**Aucun**	+

Estimation de consommation électrique en été	187 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	230 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Oui
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	1044 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 potentiel et la retourner à la batterie, mais ce n'est pas la totalité de cette énergie qui sera restituée.

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

3. Méthodologie : Scénarios d'électrification

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

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

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

L'énergie requise calculée dans les trois scénarios ci-dessous est comparée aux capacités nominales d'énergie contenue dans les batteries, ou l'énergie totale. Cette valeur est utilisée, car c'est la spécification qui est le plus souvent annoncée par les 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 1995, Acam Transport est une entreprise spécialisée dans le transport par citerne de marchandises alimentaires liquides. Basée à Saint-Hyacinthe, Acam opère plus de 100 camions et transporte les marchandises d’autres entreprises qui sont ses clients, plutôt que ses propres produits ou ceux d’une société mère.

Les chargements transportés sont des marchandises alimentaires, qu’elles soient liquides, solides transportées en citerne, ou solides en boîte réfrigérée. Certaines citernes sont simplement isolées, alors que d’autres sont munies d’un système de chauffage alimenté par le liquide de refroidissement du moteur du camion.

Plusieurs routes sont dédiées à un client, voir à une seule usine d’un client. Les camions effectuent des déplacements pendulaires, c’est-à-dire de point à point entre deux destinations. D’autres sont en chargement partiel (*LTL*, *Less-Than-Truck Load*) où le camion part chargé de chez un client et se décharge au fur et à mesure des livraisons. Le poids des chargements transportés varie, mais généralement en début de trajet les camions sont chargés près de la limite permise.

6. Véhicules analysés

Suite aux discussions avec le gestionnaire du parc, les trois camions retenus pour l'analyse sont les unités 2429, 2423 et 2375. Ce sont tous des tracteurs classe 8, deux Freightliner Cascadia et un Kenworth W900, respectivement.

Figure 2 : Camions utilisés durant la période d'instrumentation, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 2429, 2423 et 2375

Ces camions ont été retenus, car ils répondaient aux critères généraux de sélection quant aux distances approximatives parcourues et au retour au dépôt lorsqu'ils sont inactifs. Les trois véhicules ont des routes très intenses, mais ils font de fréquents allers-retours dans un court rayon de leur point d'attache. Le camion 2429 a remplacé l'unité 2393 qui était restée immobile longtemps. Il fait des allers-retours vers la frontière du Vermont pour livrer du chocolat. Le camion 2423 fait des livraisons LTL dans les environs de Acam Transport. Le camion 2375, finalement, fait la navette entre une usine de sucre à Montréal et un client à Granby.

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 Acam Transport.

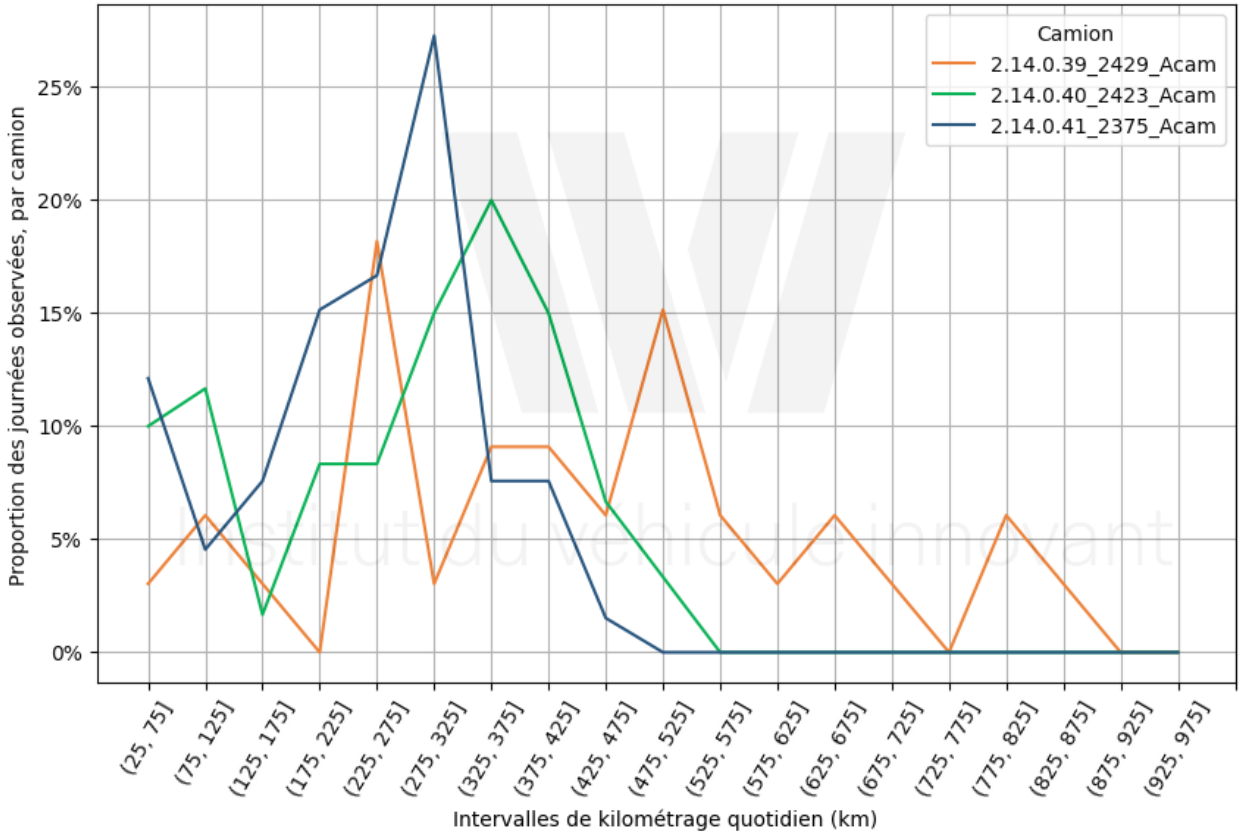
Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation des véhicules de Acam Transport

Camion #	2429	2423	2375
Distance parcourue			
Durant le test	16 561 km	18 151 km	16 949 km
Annuellement (estimée)	147 029 km	72 606 km	67 797 km
Carburant			
Consommé durant le test	6 451 L	6 856 L	7 272 L
Consommé annuellement (estimé)	57 269 L	27 425 L	29 089 L
Consommation moyenne	37,9 L/100 km	36,6 L/100 km	39,4 L/100 km
Ralenti			
Temps par jour en moyenne	1,8 h	1,2 h	4,6 h
Carburant consommé au ralenti par jour	4,4 L	3,1 L	8,4 L
Carburant consommé par année (estimé)	711 L	871 L	2 384 L
Opérations			
Vitesse moyenne en déplacement	59,4 km/h	29,0 km/h	59,4 km/h
Nombre de jours actifs durant l'analyse	32 jours	60 jours	64 jours
Masse totale moyenne	28 480 kg	22 986 kg	26 464 kg

Il est possible de constater dans le tableau ci-haut que le camion 2423, qui fait plusieurs livraisons variées par jour, roule à une vitesse moyenne beaucoup moins élevé. Ceci pourrait expliquer sa consommation plus basse. Il est aussi moins chargé que le camion 2429. Ce dernier roule beaucoup, selon les quelques journées de mesures ayant permis d'estimer son kilométrage annuel. Les résultats de son scénario d'électrification seront à surveiller car il pourrait permettre une excellente rentabilité. Finalement, la consommation du 2375 est plus élevée. Ceci est possiblement causé par son année de fabrication et son design moins aérodynamique que les deux autres.

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

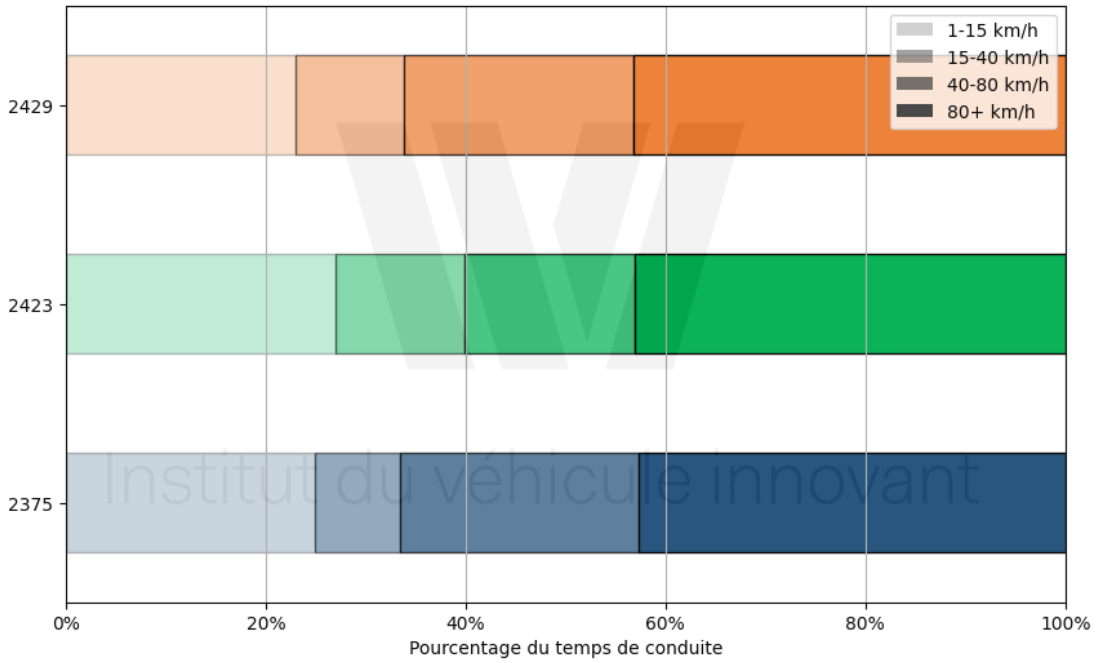


Les camions 2423 et 2375 font principalement des journées de 275 – 325 km. Le camion 2423, selon le nombre d'allers-retours vers le Vermont, a une distribution des distances beaucoup plus variées pouvant dépasser 800 km par jour.

Pour 92 % des journées de prise de mesure, les camions ont effectué moins de 525 km. Le camion 2429 atteint jusqu'à 625 km à cette fréquence, alors que les deux autres ne dépassent pas 425 km, 94 % 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.

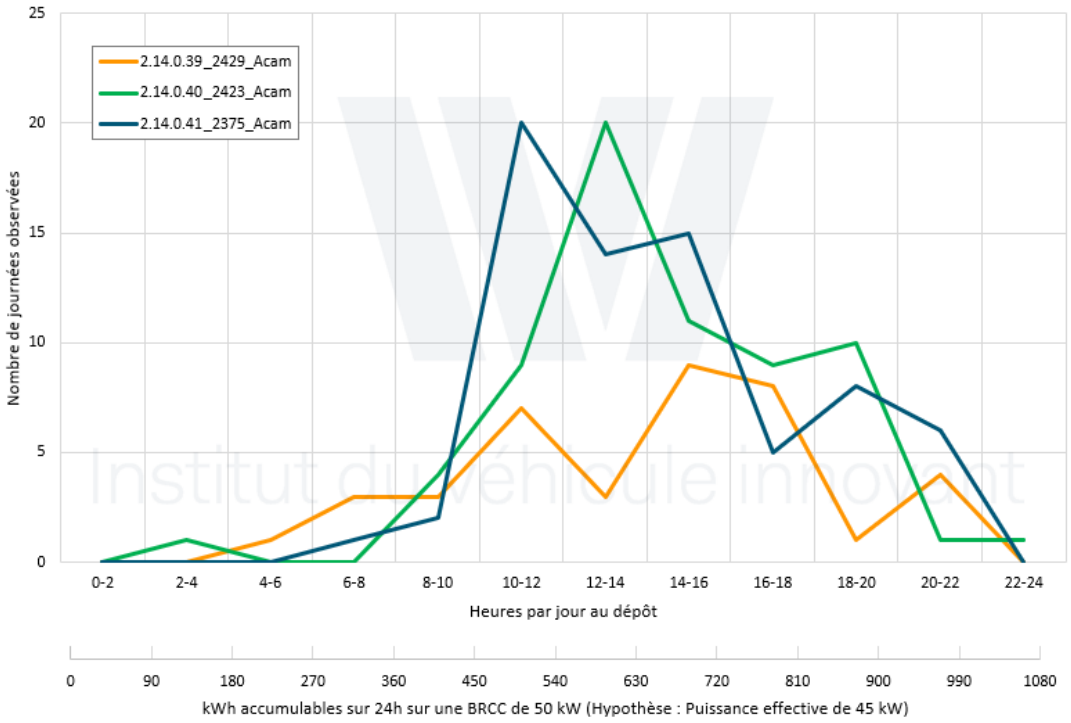
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Acam Transport



Les trois camions ont des profils de vitesse très semblables. Ceux-ci passent près de 45 % du temps de conduite à vitesse d'autoroute. C'est le temps passé dans cette zone qui influencera le plus la consommation des camions électriques à la hausse. La valeur obtenue par les camions de Acam Transport est dans la moyenne élevée des camions étudiés par le projet.

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. Deux des trois camions reviennent et passent plusieurs heures la nuit, majoritairement plus de 8 heures par jour. Le camion 2429 passe aussi plusieurs heures par jour au dépôt de Acam Transport, mais la tendance est moins claire. Cela s'explique en partie par le fait que ce camion a été ajouté en deuxième moitié d'analyse, alors il y a moins de données. Le Graphique 3 montre la répartition des heures passées sur le terrain de Acam Transport à l'arrêt.

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



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

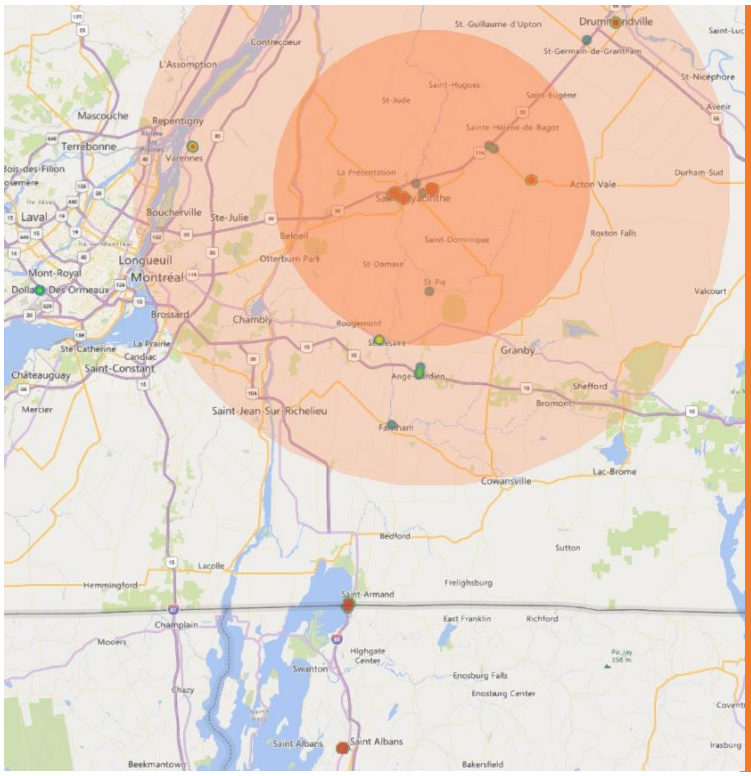
Les trois camions analysés disposent d'une durée d'arrêt au dépôt de Acam Transport supérieur à 10 heures par jour et ce, 91 % des jours. Cette durée a été mesurée 82 % des jours pour le camion 2429.

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 2429

Le camion au diesel 2429 est utilisé pour livrer du chocolat à une entreprise située tout juste l'autre côté de la frontière canadienne, au Vermont. Il effectue cette route aller-retour plusieurs fois par jour. Un aller simple vers son unique destination est 110 km.

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



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

La figure à droite montre bien ce qui est expliqué précédemment. Le camion s'arrête soit à Saint-Hyacinthe, soit à Saint-Albans au Vermont. Un arrêt fréquent se produit aussi à Saint-Armand, car il doit s'arrêter pour passer la frontière.

Quelques autres endroits sont visités fréquemment, présumément lors de journées exceptionnelles lorsque le camion est attitré à d'autres routes.

Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 2429 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Acam Transport

Le dénivelé du territoire parcouru est un critère important dans l'évaluation de la consommation d'énergie. Comme le camion se déplace dans la vallée du Saint-Laurent, il ne parcourt pas un terrain très montagneux. Une bonne partie de l'indice calculé pour celui-ci est probablement dû à la route au sud de la frontière.

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

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

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

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

Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 2429

Les premières semaines de l'essai sont vides, puisque le camion 2393 originalement utilisé pour cette route n'a jamais dépassé 20 kilomètres dans une journée. À compter du 10 mai, le camion 2429 a pris le relais.

Celui-ci a effectué en moyenne 414 km par jour, soit environ 2 allers-retours jusqu'au client au Vermont. Les journées plus longues, jusqu'au 90e percentile de 687 km, sont souvent expliquées par une route différente, en plus d'une ou deux livraisons au Vermont. En ce sens, elles sont différentes du scénario habituel d'utilisation du camion.

Le véhicule 2429 est utilisé 7 jours par semaine. Les dimanche et mercredis ont été ses journées moins longues lors de la période d'instrumentation et les lundi et samedis les plus longues, mais l'échantillon de données est petit pour juger de ces tendances.

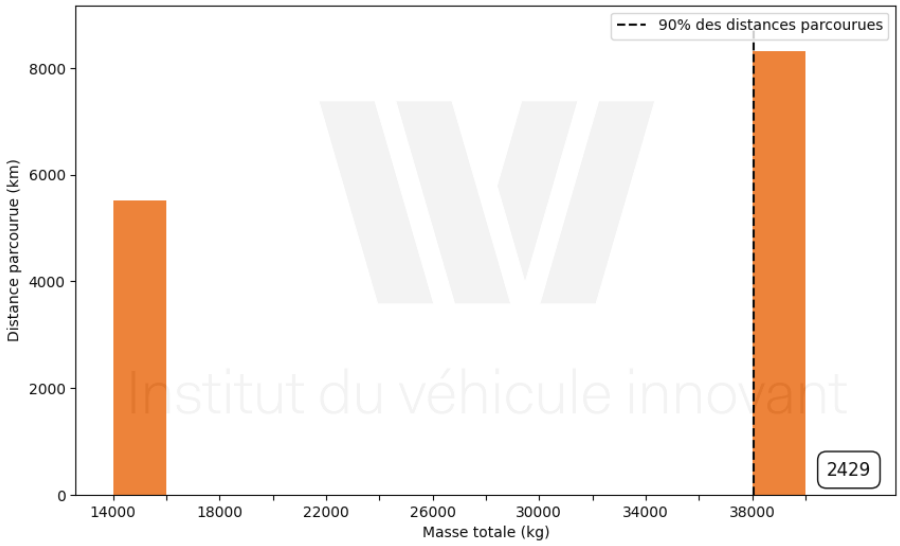
La journée du 27 mai, où le camion a parcouru 921 km, représente 4 aller-retours jusqu'au Vermont. Cette journée est exceptionnelle et n'a pas été traitée dans le scénario régulier, cependant elle fait partie de l'analyse du scénario de mobilité pendulaire à la fin.

Max	921	km
90%	687	km
Med	404	km
Moy	414	km
σ	203	km
CV	49%	

	D	L	M	M	J	V	S
	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
avr.	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
mai	-	-	-	244	249	478	474
	236	480	249	318	240	-	-
	-	330	782	516	363	462	921
	120	517	563	422	404	253	473
juin	400	477	251	336	692	644	680
	478	754	120	28	392	143	-

L'énergie requise pour chaque accélération et chaque montée est directement proportionnelle à la masse totale du véhicule, incluant son chargement. Le gestionnaire a précisé que le camion était soit chargé à une masse totale de 90 000 lbs transportée avec une remorque à 3 essieux, ou vide. L'IVI a réparti ces chargements sur les routes correspondantes et déterminé le nombre de kilomètres parcourus dans les deux cas :

Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 2429



En suivant les informations d'Acam Transport, l'IVI a déterminé que le camion a parcouru près de 6000 km vide, et plus de 8000 km pleins. Sa consommation à l'aller sera bien différente de celle au retour.

Utiliser un camion électrique nécessitant une lourde batterie pour ces livraisons augmenterait le poids total d'environ 2000 kg. Une remorque à 3 essieux permettrait de se rendre à ce poids, mais les camions actuellement offerts par les manufacturiers ne sont pas certifiés pour transporter plus de 82 000 lbs au États-Unis, et 80 000 lbs au Canada. Une réduction du chargement transporté pourrait donc être à prévoir jusqu'à ce que les camions permettent ce chargement. Les estimations de rentabilité ne tiennent pas compte d'un chargement réduit.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 2429 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 2429

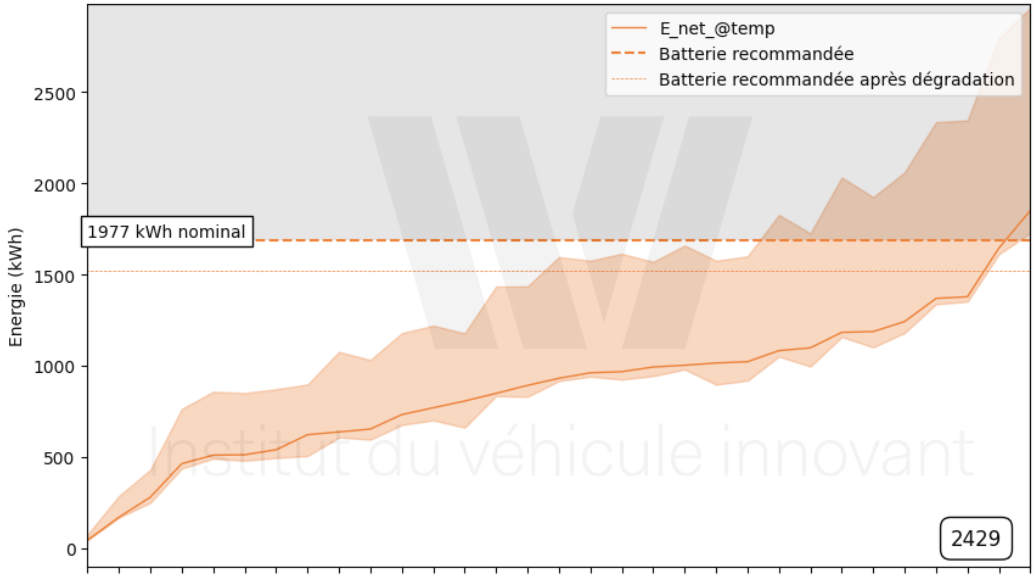
Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	**Longues**	-
Constance	**Varié**	-
Dénivelé	**Faible**	+
Recharge en journée	**Possible**	+
Chargement	**Très lourd**	-
Accessoires	**Chauffage**	-

8. Scénario d'électrification pour le camion 2429

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

Le Graphique 5 montre la distribution de ces énergies pour chaque journée durant la période d'instrumentation. Celles-ci 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 2429, 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 1977 kWh total disposerait de 1690 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 2429 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.

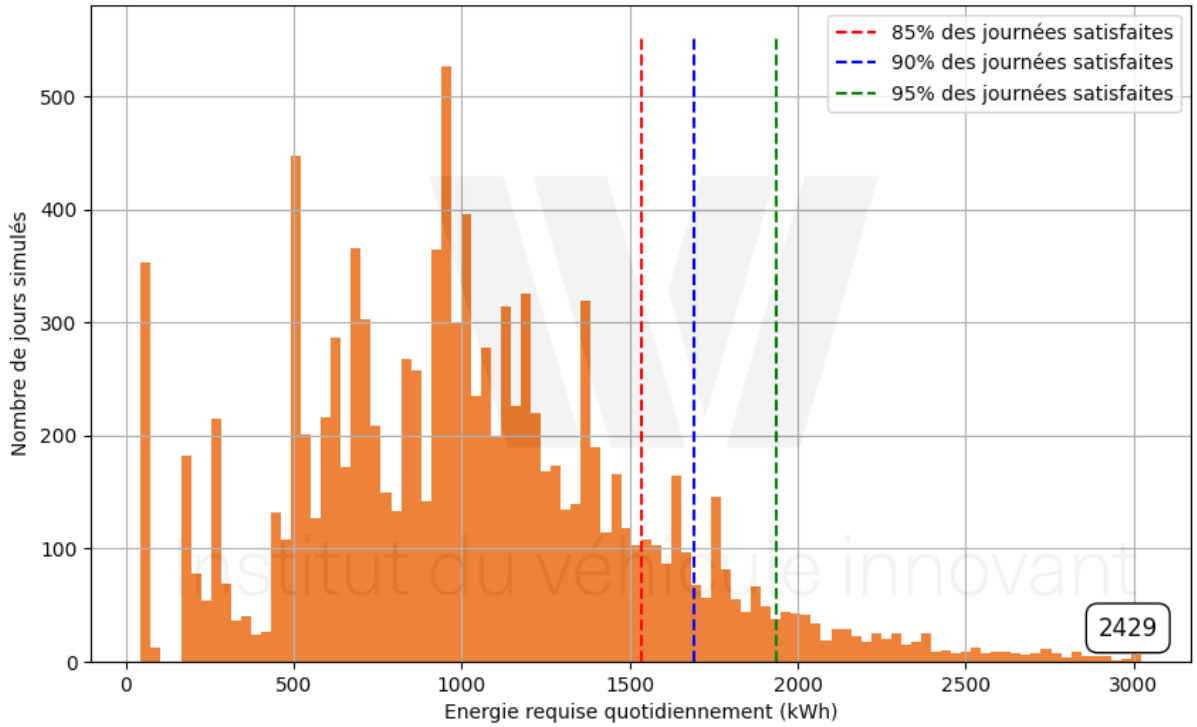
La consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 200 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

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

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

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

Graphique 6 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 2429



Pour compléter l'entièreté des trajets d'une journée 90 % du temps sur une année complète, l'IVI estime que la batterie requise devrait avoir une capacité utilisable avec marge de 1690 kWh, ce qui équivaut à une batterie dotée d'une énergie nominale 1977 kWh.

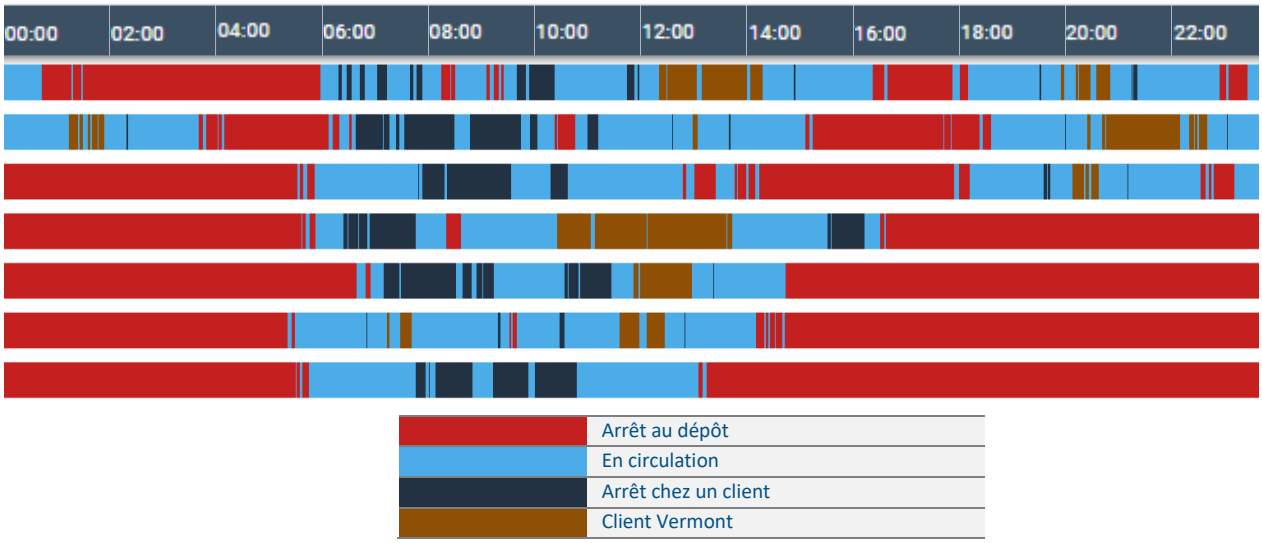
Pour compléter 95 % des journées, la capacité nominale est de 2263 kWh.

Pour compléter 85 % des journées, la capacité nominale est de 1797 kWh.

Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classe 8 vont d'environ 250 à 650 kWh. La recommandation émise pour le camion 2429 dépasse largement ces capacités.

Le Graphique 7 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 2429. 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 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 2429



Le camion 2429 a un horaire plutôt irrégulier. Parfois il est utilisé de jour, et parfois de jour et de soir. Il parcourt souvent la route entre son dépôt et le client au Vermont, mais il arrive fréquemment qu'il soit utilisé pour d'autres trajets, ce qui peut être observé en constatant les nombreux arrêts bleu foncé.

Dans les deux scénarios, il revient fréquemment au terminal durant le jour, mais pas systématiquement. Il s'arrête aussi au Vermont. La durée de ces arrêts est variable.

En divisant l'énergie consommée par la durée de recharge généralement disponible, on obtient la puissance de recharge requise. Celle-ci serait donc d'au moins 1977 kWh / 10 h = 198 kW. Une borne de 250 kW pourrait répondre de façon fiable à ce besoin.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 2429 seraient donc les suivants :

Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 2429

Capacité de la batterie embarquée	1977 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 250 kW
90 % des opérations remplies ?	**Non**

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

Tableau 6: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 2429

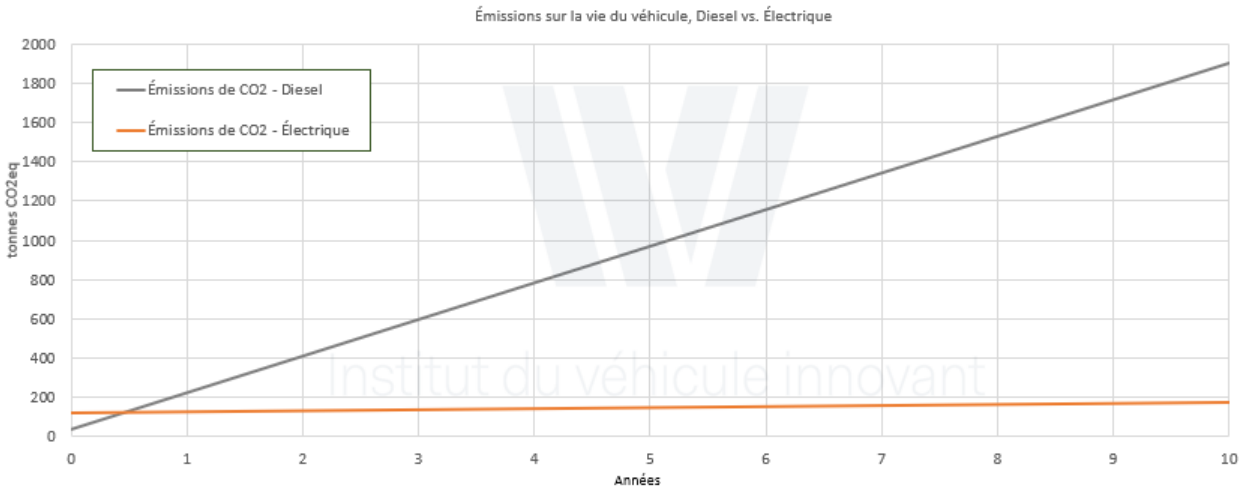
Coût annuel de carburant avant électrification	114 212 $
Coût annuel d'électricité	58 720 $
Économie annuelle de coûts d'énergie	55 492 $
Économie potentielle après 10 ans	**554 920 $**

En date de la rédaction de ce rapport, aucun produit existant ne propose une batterie ayant la capacité nominale requise pour électrifier le camion 2429. La plus grosse batterie sur le marché est d'environ 650 kWh, ce qui limiterait le nombre de journées possibles à compléter.

Les bénéfices financiers ne peuvent pas être calculés pour un camion inexistant. Cependant, une hypothèse sur l'économie possible du coût énergétique d'un camion avec une batterie de 1977 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 qu'avec une borne de base de 50 kW, car la recharge s'effectuerait à 250 kW) dû à l'utilisation d'une borne de haute puissance. Les économies potentielles totales s'élèvent à 554 920 $ après 10 ans. Il faudrait alors s'assurer que le surcoût dû à l'installation de l'infrastructure de recharge et l'achat du camion après incitatifs serait inférieur à cette économie potentielle.

Il est toutefois possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 1731 tonnes de CO2 équivalent. Un camion électrique est plus polluant à produire, mais définitivement moins polluant à utiliser que son équivalent au diesel. Le point d'équivalence d'émission cumulées de GES arriverait après seulement 66 162 km. Ces valeurs viennent des analyses indépendantes de l'IVI, basées sur des études de *l'International Council on Clean Transportation* (ICCT) et tiennent compte des émissions de GES de la production d'électricité par barrages hydro-électriques.

Graphique 8: Émission sur la vie du camion 2429, Diesel vs. Électrique



Camion # 2429

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

L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification de l'entièreté des trajets du camion 2429 tel que mesurés. Cependant, suite aux discussions avec le gestionnaire de flotte, une analyse plus détaillée du scénario de mobilité pendulaire entre Acam Transport et St-Albans (Vermont) s'impose :

La demande énergétique des trajets Acam – St-Albans et St-Albans – Acam a été analysée séparément, pour évaluer la possibilité d'utiliser un camion électrique exclusivement pour faire cette route. L'aller et le retour, chacun d'environ 117 km, ont été analysés séparément puisque le premier se fait à pleine charge, et le second avec une citerne vide. Puis, ces valeurs ont été combinées pour évaluer la possibilité de faire un aller-retour sans recharger. Voici un tableau qui résume cette étude :

Route	Énergie nominale requise par trajet		Consommation en été
	Été	Hiver	
Aller (vers St-Albans, VT)	338 kWh	506 kWh	246 kWh/100 km
Retour (vers Acam)	193 kWh	289 kWh	138 kWh/100 km
Aller-retour	531 kWh	796 kWh	192 kWh/100 km

Ce tableau montre qu'il serait possible d'effectuer l'aller-retour en été, mais seulement l'aller en hiver. Il serait donc nécessaire de recharger à St-Albans avant de revenir au terminal d'Acam Transport en période hivernale. Lors de discussions avec le gestionnaire, il fut mentionné que cette option serait possiblement acceptée par le client. La durée d'arrêt devrait être suffisante pour permettre la recharge. Une analyse des arrêts chez ce client montre que les arrêts sont d'une durée moyenne de 17 minutes, ce qui est très peu. Sur les 160 arrêts répertoriés durant la prise de mesures, seuls 12 arrêts ont duré plus d'une heure. **Pour revenir à Saint-Hyacinthe en hiver, deux heures de recharge à 150 kW seraient nécessaires, ou environ 1h15 avec une borne 250 kW si le camion accepte une telle puissance.** Aussi, le camion devra attendre pour recharger chez Acam Transport avant de repartir, ce qui n'est pas toujours le cas actuellement. Pour minimiser cette attente, une borne très puissante serait nécessaire.

Alternativement, il pourrait être envisagé de considérer un scénario d'échange de tracteurs aux deux bouts de la route. Par exemple, lorsqu'un chauffeur arrive au Vermont avec un camion dont la batterie est déchargée, un camion aurait été laissé auparavant par un autre chauffeur et serait pleinement chargé, prêt à reprendre la route immédiatement.

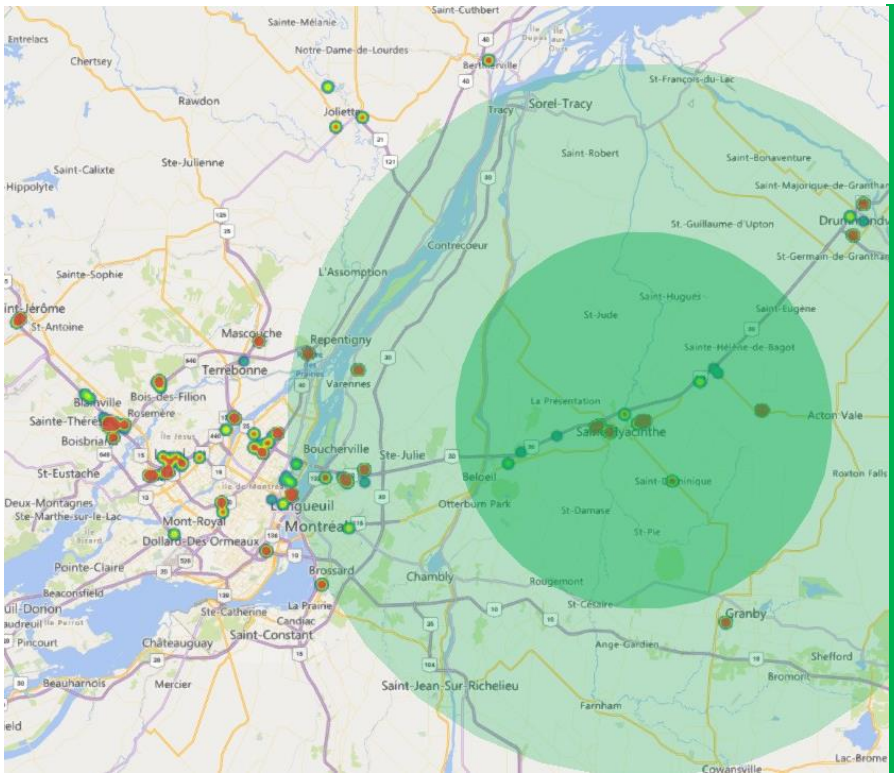
Acam disent avoir un départ de leur terminal vers le Vermont à toutes les deux heures, 24 heures par jour. 3 camions sont requis pour compléter ces trajets, avec un changement de conducteurs le soir. **Il serait possible, et extrêmement avantageux, de remplacer ces 3 véhicules diesel par 4 camions électriques**. Les bénéfices de ce scénario après 10 ans seraient les suivants, et ce en considérant l'achat du véhicule supplémentaire et l'installation de deux BRCC, une à Saint-Hyacinthe et l'autre au Vermont. Les tarifs d'électricité applicables au client de St-Albans ont été considérés.

Capacité de la batterie embarquée	535 kWh
Puissance de la borne de recharge, Acam Transport	250 kW
Puissance de la borne de recharge, Vermont	150 kW
Bénéfice net après 10 ans	**652 077 $**
Tonnes de CO_2 équivalent évités	**5 395 t**
Période de retour sur investissement	**5,5 années**

9. Analyse du camion 2423

Le camion au diesel 2423 est utilisé pour effectuer des livraisons diverses en charge partielle autour du terminal de Acam Transport. Il se rend souvent à Montréal et les environs, ainsi qu'à Drummondville. Il tire une remorque réfrigérée contenant des aliments congelés. L'unité de réfrigération fonctionnant au diesel, elle n'aura pas d'impact sur l'analyse de la consommation électrique du véhicule.

La carte suivante permet de visualiser la fréquence des arrêts à différents endroits. Plus les points tendent vers le rouge, plus les arrêts du camion y sont fréquents :



Le camion 2423 fait très peu d'arrêts dans un rayon de 25 kilomètres de son terminal. La grande majorité de ses livraisons ou cueillettes se font même en-dehors du rayon de 50 km, soit dans l'est de Montréal, à Laval et sur la rive-nord de Montréal.

Les quelques arrêts à Drummondville sont à l'intérieur de 50 km.

Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 2423 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Acam Transport

Le camion 2423 circule presque exclusivement dans le Grand-Montréal, et le long de l'autoroute 20. Ces zones constituent la vallée du Saint-Laurent et sont très peu montagneux. Ceci explique son faible indice de côtes, signifiant qu'il dépense moins d'énergie que d'autres camions à monter des côtes.

Camion # 2423

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

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

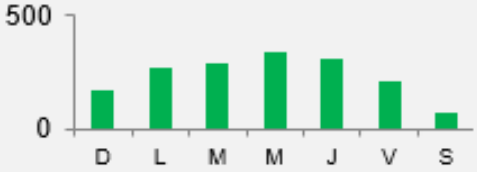
Tableau 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 2423

Le camion 2423 est principalement utilisé 5 jours par semaine, du lundi au vendredi. Il arrive toutefois qu'il sorte le samedi ou le dimanche.

Sa journée moyenne est de 268 km et la médiane 301 km. Le 90e percentile est situé à 428 km. Cette dernière valeur sera plus représentative pour juger du potentiel d'électrification étant donné que le camion opère en LTL, et parcourt donc des trajets irréguliers d'un jour à l'autre.

Les mercredis et jeudis semblent être les journées plus longues de ce véhicule, mais la variation par rapport aux autres journées est faible.

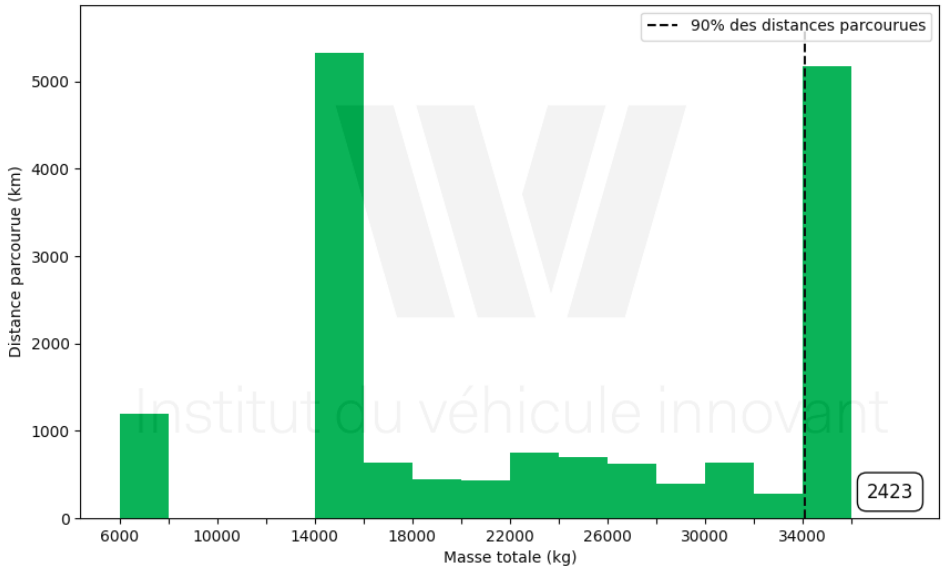
Max	516	km
90%	428	km
Med	301	km
Moy	268	km
σ	140	km
CV	52%	



	D	L	M	M	J	V	S
avr.	-	56	299	388	302	235	-
	194	325	297	337	88	-	-
	-	-	32	92	32	-	-
	-	205	327	396	469	195	-
	-	355	296	325	463	321	44
	44	358	332	388	477	187	-
mai	-	272	399	356	435	386	-
	88	319	403	370	447	259	-
	212	341	411	326	256	237	88
	-	-	143	-	-	-	-
juin	-	397	516	397	32	125	92
	301	40	9	-	-	32	-
	-	329	298	366	463	158	-

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 estimé pour chaque trajet selon les informations données par Acam Transport. Le graphique suivant résume le chargement typiquement transporté.

Graphique 9: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 2423



Le camion 2423 débute la journée sans remorque. Il se rend à son premier point de cueillette où il attelle une remorque chargée à 20 000 kg. Il décharge celle-ci graduellement jusqu'à la fin de la journée, la ramène à son point de départ et retourne au dépôt sans remorque. Il est donc conséquent de voir deux modes principaux de chargement, soit une remorque vide et une remorque pleine. Ces deux niveaux totalisent chacun le tiers de la distance parcourue durant la période d'instrumentation.

Puisque le camion est souvent chargé près de la limite permise pour un tracteur et une remorque à deux essieux, il est possible qu'un tracteur électrique, plus lourd, **nécessite de diminuer un peu le chargement transporté en début de journée**.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 2423 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 2423

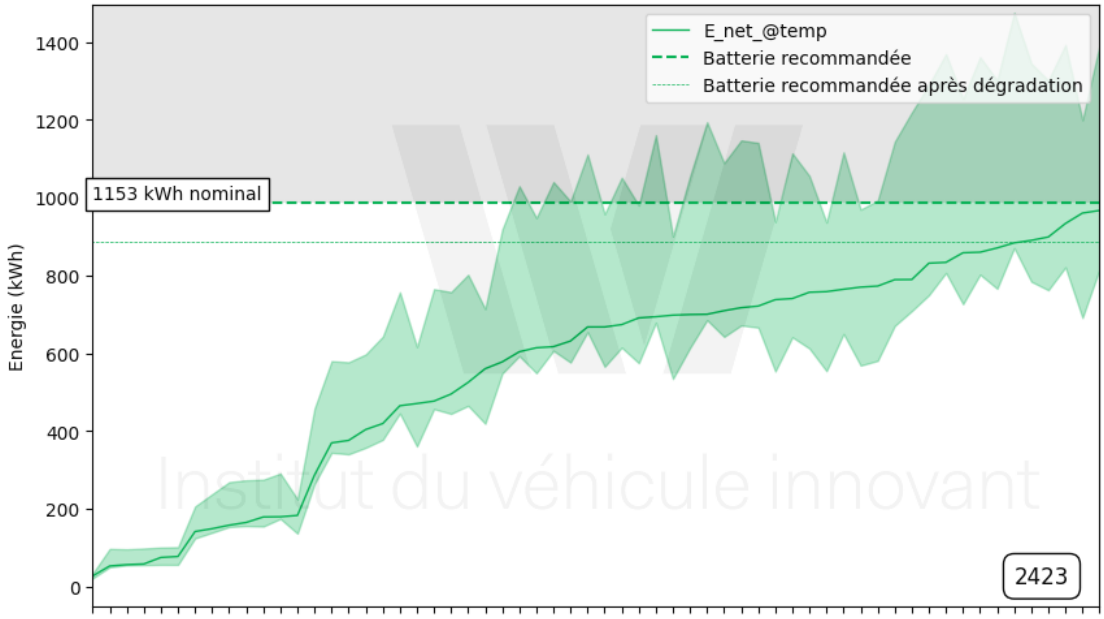
Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	**Longues**	**-**
Constance	**Variées**	**-**
Dénivelé	**Faible**	**+**
Recharge en journée	**Possible**	**+**
Chargement	**Lourd**	**-**
Accessoires	**Aucun**	**+**

10. Scénario d'électrification pour le camion 2423

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

Le Graphique 10 montre la distribution de ces énergies pour chaque journée de la période d'instrumentation. Ces journées ont été réordonnées en ordre croissant de besoin énergétique quotidien. Ceci permet de mieux visualiser à quel point la configuration de batterie répondra au besoin.

Graphique 10: Journées de mesure du camion 2423, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



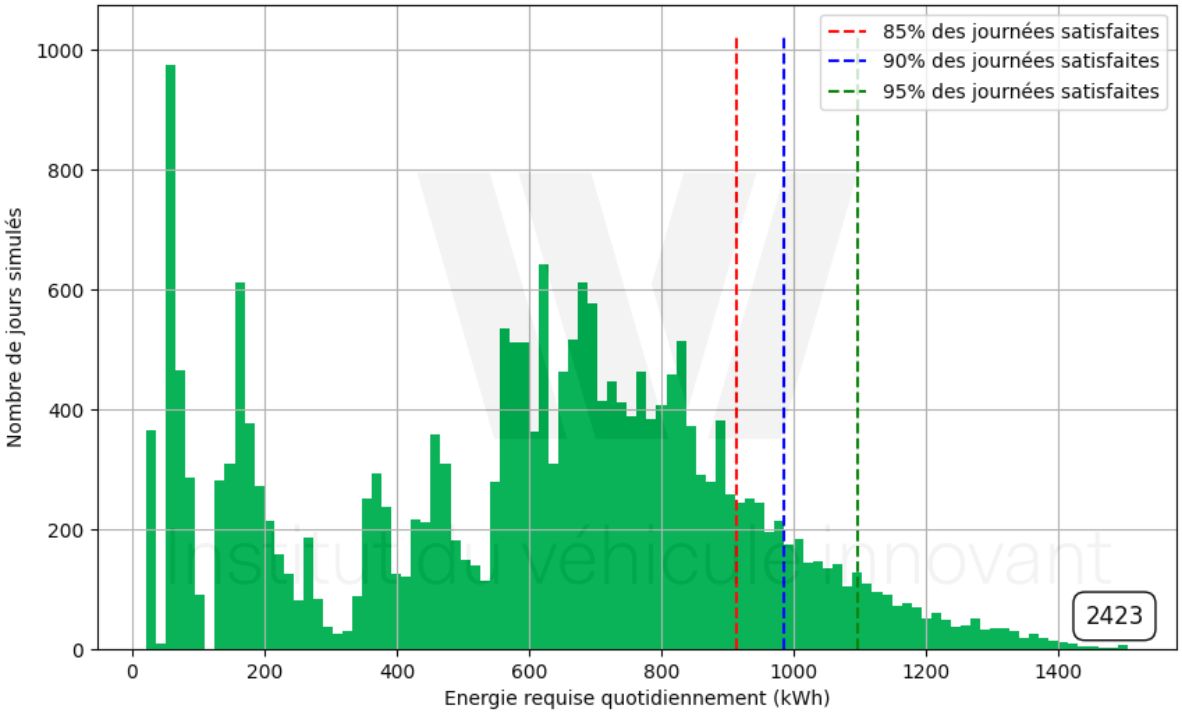
Guide d'interprétation du Graphique 10 :

- La courbe verte du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire verte montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20°C) ou très froid. La valeur plus élevée représente l'énergie lors d'une journée froide (-20°C).
- La zone sous la ligne pointillée horizontale représente les journées où le camion dispose d'assez d'énergie pour compléter tous les trajets de la journée.
- Un camion avec une batterie de capacité nominale de 1153 kWh disposerait de 986 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 2423 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 179 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

Le Graphique 11 représente les tailles de batteries recommandées pour accomplir 85%, 90% ou 95% des journées d'une année, sans que le camion électrique n'ait recours à la recharge en cours de journée. Pour obtenir ce graphique, l'IVI a considéré que toutes les journées de l'année ont des chances égales de se faire attribuer les routes de l'une ou l'autre des journées valides de l'échantillon récolté. L'IVI a développé une méthode pour propager sur une année les données récoltées en trois mois. Cette méthode est expliquée en détail au-dessus du Graphique 6.

Graphique 11 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 2423



Une batterie de 1153 kWh nominale permettrait alors de réaliser 90 % des journées sur une année moyenne en un seul cycle de décharge de la batterie, tandis qu'une batterie de 1069 et de 1284 kWh pourrait respectivement satisfaire 85 et 95 % des journées sur une année moyenne.

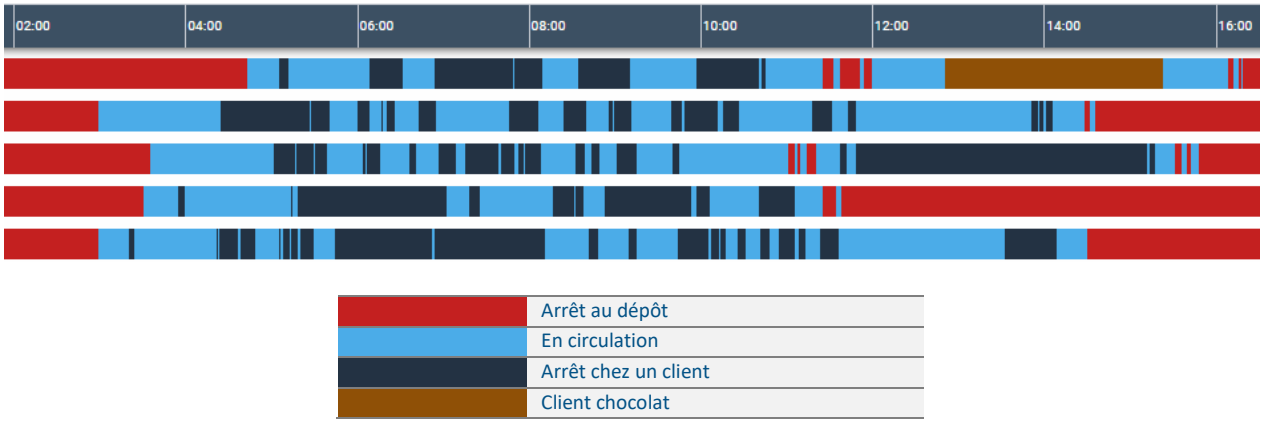
Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classe 8 vont d'environ 250 à 650 kWh. Puisque celle-ci constitue une importante partie du prix du véhicule, il est important de sélectionner la plus petite batterie qui répondra aux besoins énergétiques à long terme. À ce sujet, il est prudent de prévoir une dégradation de la batterie qui pourrait diminuer l'autonomie d'environ 10% sur la durée d'utilisation du véhicule dans la flotte.

Le Graphique 12 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 2423. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée. Les nuits ont été coupées, car il n'y avait aucun déplacement.

Camion # 2423

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

Graphique 12 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 2423



Le camion 2423 débute normalement sa journée à 3h, et il termine entre midi et 16h. Il est donc arrêté au terminal d'Acam Transport toutes les nuits. Il y repasse parfois, tout comme il visite parfois les mêmes clients que d'autres camions.

Ces arrêts durant la journée ne sont pas assez fréquents et réguliers pour permettre de planifier la recharge au courant d'une journée.

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 1153 kWh / 10 h = 115 kW. Une borne de 150 kW pourrait répondre de façon fiable à ce besoin. Cette puissance est plus élevée que le minimum généralement utilisé pour les camions lourds, et il en va de même pour les coûts associés.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 2423 seraient donc les suivants :

Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 2423

Capacité de la batterie embarquée	1153 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 150 kW
90 % des opérations remplies ?	**Non**

Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 10, si une batterie d'une taille suffisante était disponible. Les économies potentielles sont comptabilisées sur une période de 10 ans, puisque Acam Transport conservent leurs camions le plus longtemps possible.

Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 2423

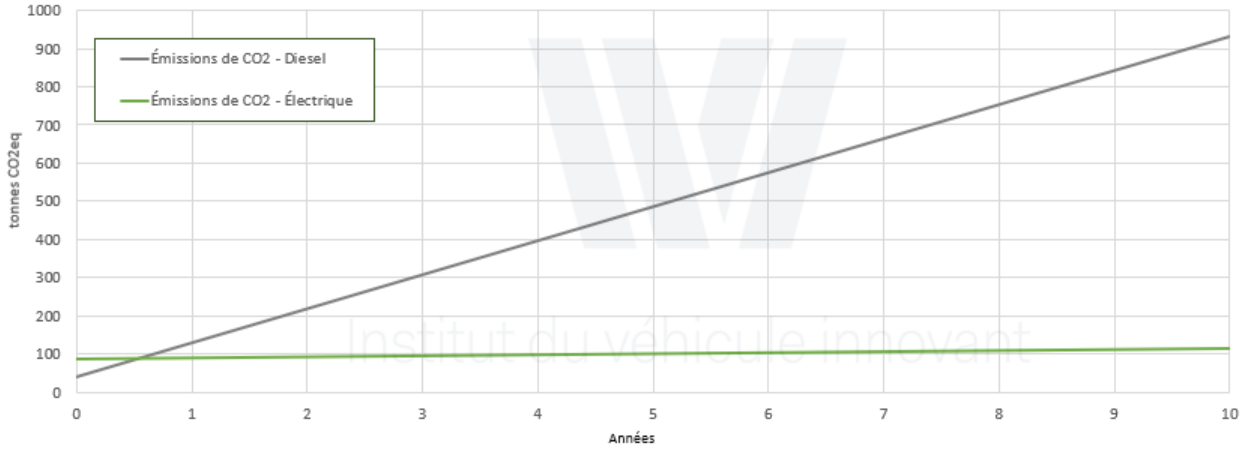
Coût annuel de carburant avant électrification	54 472 $
Coût annuel d'électricité	26 013 $
Économie annuelle de coûts d'énergie	28 459 $
Économie potentielle après 10 ans	**284 590 $**

En date de la rédaction de ce rapport, aucun produit existant ne propose une batterie ayant la capacité nominale requise pour électrifier le camion 2423. La plus grosse batterie sur le marché est d'environ 650 kWh, ce qui limiterait le nombre de journées possibles à compléter.

Les bénéfices financiers ne peuvent pas être calculés pour un camion inexistant. Cependant, une hypothèse sur l'économie possible du coût énergétique d'un camion avec une batterie de 1153 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 150 kW) dû à l'utilisation d'une borne de haute puissance. Les économies potentielles totales s'élèvent à 284 590 $ après 10 ans. Il faudrait alors s'assurer que le surcoût dû à l'installation d'une infrastructure de recharge et l'achat d'un camion après incitatifs serait inférieur à cette économie potentielle.

Il est quand même possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 815 tonnes de CO2 équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 40 563 km. Ces valeurs viennent des analyses indépendantes de l'IVI, basées sur des études de *l'International Council on Clean Transportation (ICCT)* et tiennent compte des émissions de GES de la production d'électricité par barrages hydro-électriques.

Graphique 13: Émission sur la vie du camion 2423, Diesel vs. Électrique



L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification du camion 2423 pour l'instant, puisque la taille de batterie requise n'est pas encore offerte sur le marché. Également, celui-ci ne dispose pas de temps d'arrêts fréquents et réguliers à son port d'attache pour recharger en cours de journée.

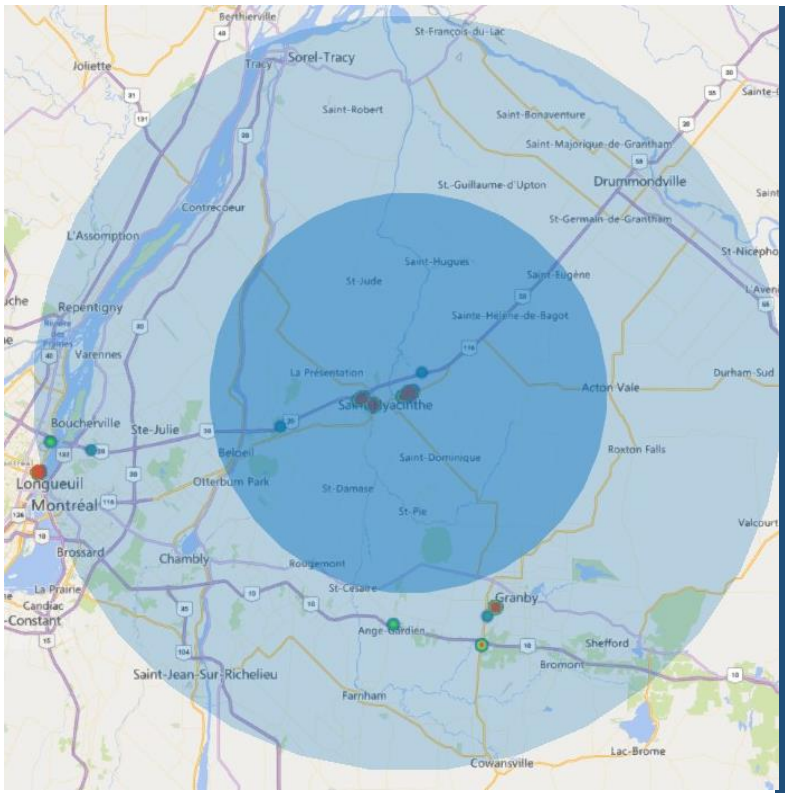
Pour réussir à effectuer tous ces trajets avec un camion doté d'une batterie plus petite que celle recommandée, il faudrait le recharger au courant de la journée. Ceci pourrait être fait sur une borne de recharge publique adaptée aux camions, qui verront bientôt le jour. Autrement, il serait nécessaire de négocier l'installation d'infrastructure de recharge chez les clients qui sont visités fréquemment, longtemps et régulièrement.

Cette analyse ne tient pas compte du système de réfrigération, qui ferait augmenter la consommation s'il était alimenté par le véhicule.

11. Analyse du camion 2375

Le camion 2375 est utilisé pour livrer du sucre en citerne, d'une provenance unique à une seule place d'affaire de son client. Il s'agit donc d'une route dédiée non seulement au client, mais pour un seul produit et à un endroit de livraison.

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 carte des déplacements du camion 2375 est très peu fournie, tant son utilisation est régulière. Celui-ci se rend dans le sud de Montréal chercher du sucre, livre à Granby et recommence, ou bien il s'arrête à Saint-Hyacinthe en fin de quart de travail.

Ses livraisons se font donc à la toute limite du rayon de 50 km de son terminal, mais il ne dépasse à peu près jamais cette distance.

Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 2375 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Acam Transport

Puisqu'il se déplace lui aussi dans la vallée du Saint-Laurent exclusivement, l'indice de dénivelé du camion 2375 est très semblable à celui du 2423, et il est donc peu élevé.

Camion # 2375

Kenworth W900 2011 | Tracteur Classe 8– PNB 36 364 kg

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

Tableau 11 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 2375

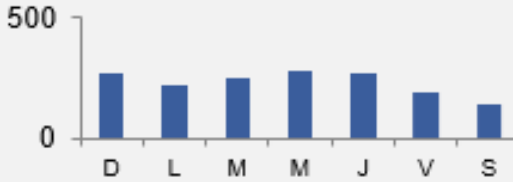
Le camion 2375 est lui aussi utilisé 5 jours par semaine du lundi au vendredi, avec quelques exceptions. Ces fins de semaine exceptionnelles semblent avoir une période de récurrence de une fois par mois, lors de la dernière fin de semaine du mois.

La distance moyenne par jour de semaine varie, mais très peu.

Le camion parcourt en moyenne 239 km par jour, et peut aller jusqu'à 363 km pour 90% des jours analysés.

Il n'y a pas de journée récurrente, par contre le kilométrage total est presque toujours la somme de trajets effectués entre trois points, c'est-à-dire entre l'usine de sucre à Montréal, le client à Granby et Acam Transport à Saint-Hyacinthe.

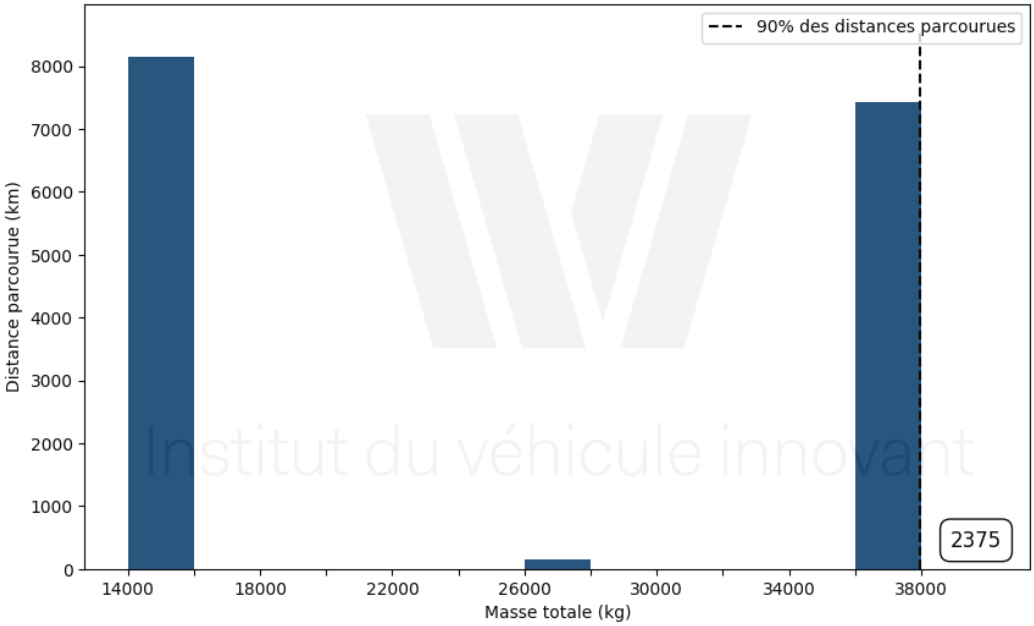
Max	447	km
90%	363	km
Med	244	km
Moy	239	km
σ	97	km
CV	40%	



	D	L	M	M	J	V	S
	-	255	274	293	206	126	-
	-	248	311	140	158	374	215
avr.	340	358	294	198	241	-	-
	-	125	-	-	281	54	-
	-	49	162	287	312	158	-
	-	244	304	402	198	403	105
	164	346	189	404	198	158	-
mai	-	243	185	311	293	69	-
	-	150	303	408	293	44	-
	-	180	198	282	317	411	105
	316	150	262	299	447	159	-
juin	-	249	352	244	205	165	
	-	256	216	117	324	158	-

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

Graphique 14: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 2375



Encore une fois selon l'explication fournie par Acam Transport, il est estimé que le camion roule vide un peu plus que la moitié du temps, et qu'il est chargé tout près du PNB permis le reste du temps.

L'utilisation d'un camion électrique plus lourd ferait dépasser le PNB autorisé pour une remorque à deux essieux pour 50 % des trajets de cette route. Ainsi, il faudrait réduire le chargement d'environ 2500 kg, affectant la rentabilité. Utiliser une remorque à 3 essieux deviendra possiblement bientôt une option, cependant en ce moment les manufacturiers n'autorisent pas ce niveau de chargement.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 2375 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

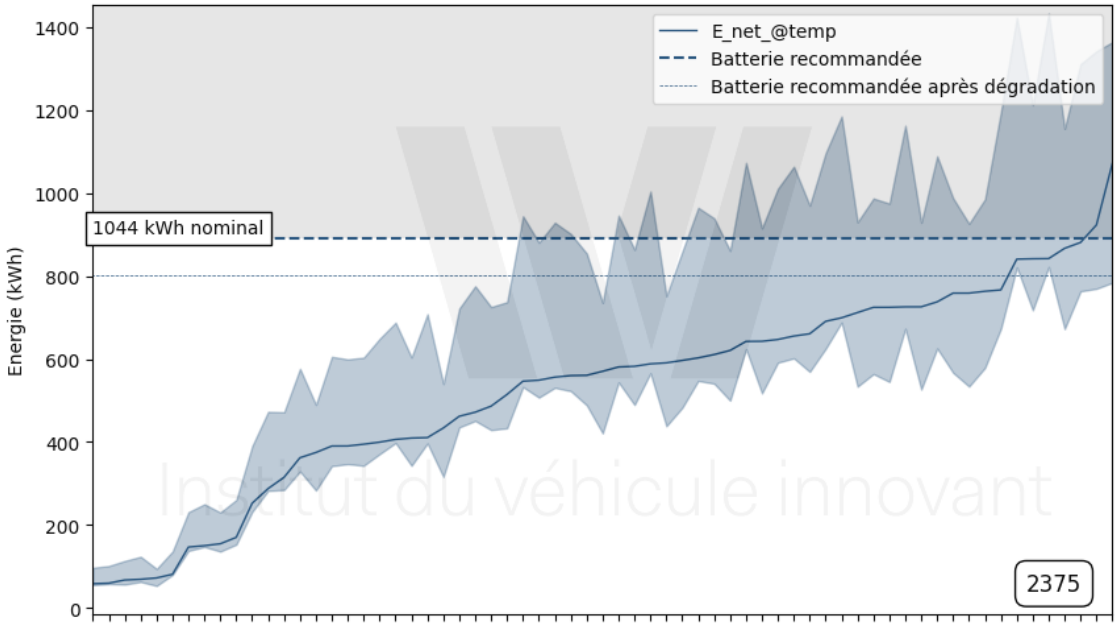
Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	**Longues**	-
Constance	**Variées**	-
Dénivelé	**Faible**	+
Recharge en journée	**Possible**	+
Chargement	**Lourd**	-
Accessoires	**Aucun**	+

12. Scénario d'électrification pour le camion 2375

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

Le Graphique 15 montre la distribution de ces énergies pour chaque journée de l'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 15: Journées de mesure du camion 2375, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



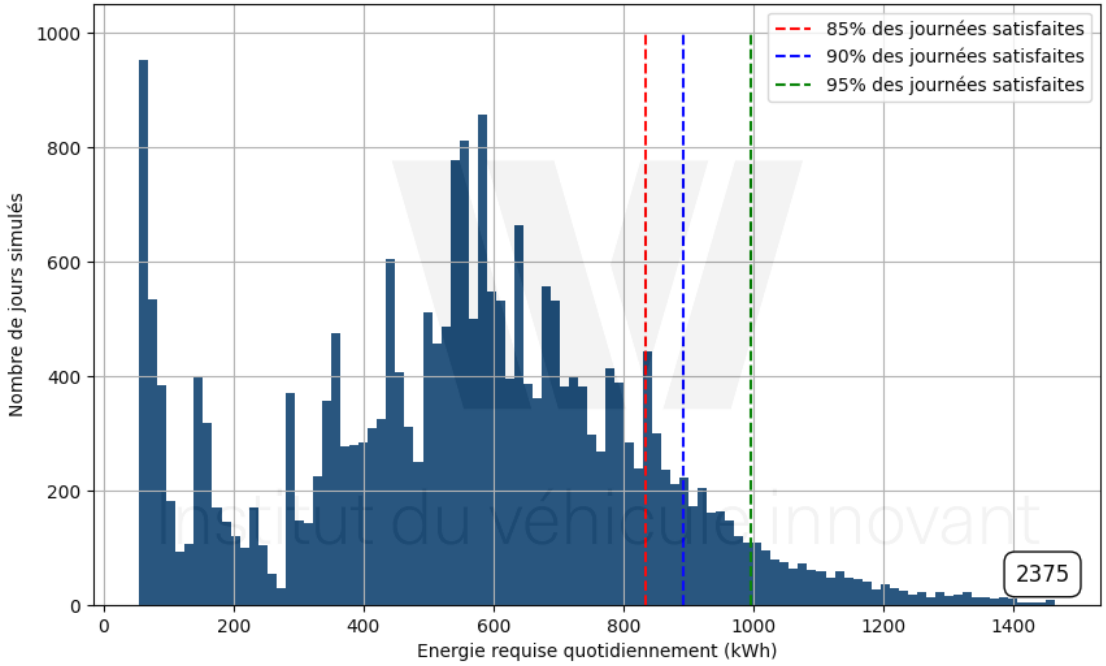
Guide d'interprétation du Graphique 15 :

- 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 1044 kWh disposerait de 892 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 2375 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 187 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

Le Graphique 16 représente les tailles de batteries recommandées pour accomplir 85%, 90% ou 95% des journées d'une année, sans que le camion électrique n'ait recours à la recharge en cours de journée. Pour obtenir ce graphique, l'IVI a considéré que toutes les journées de l'année ont des chances égales de se faire attribuer les routes de l'une ou l'autre des journées valides de l'échantillon récolté. L'IVI a développé une méthode pour propager sur une année les données récoltées en trois mois. Cette méthode est expliquée en détail au-dessus du Graphique 6.

Graphique 16 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 2375

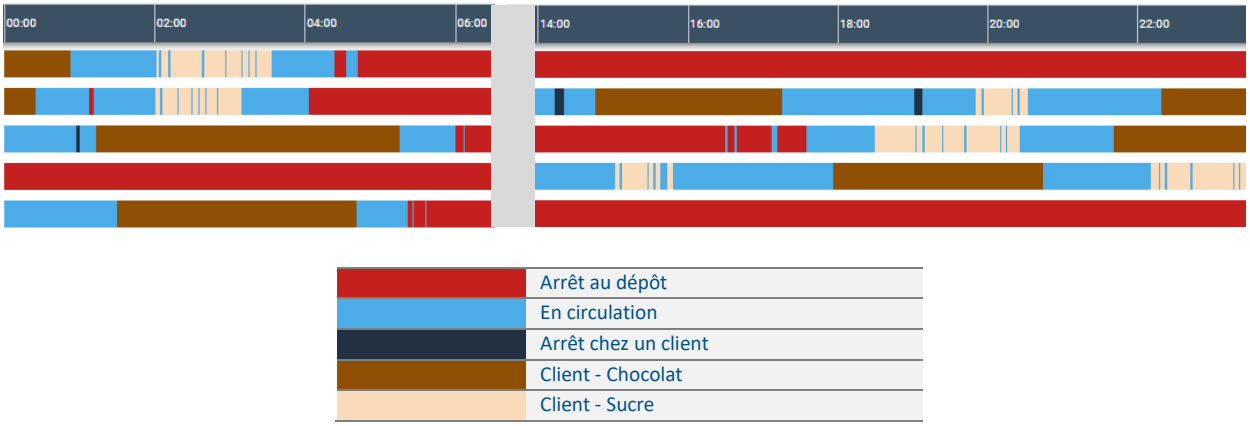


Une batterie de 1044 kWh nominale permettrait alors de réaliser 90 % des journées sur une année moyenne en un seul cycle de décharge de la batterie, tandis qu'une batterie de 976 et de 1166 kWh pourrait respectivement satisfaire 85 % et 95 % des journées sur une année moyenne.

Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classe 8 vont d'environ 250 à 650 kWh. Puisque celle-ci constitue une importante partie du prix du véhicule, il est important de sélectionner la plus petite batterie qui répondra aux besoins énergétiques à long terme. À ce sujet, il est prudent de prévoir une dégradation de la batterie qui pourrait diminuer l'autonomie d'environ 10% sur la durée d'utilisation du véhicule dans la flotte.

Le Graphique 17 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 2375. 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 heures entre 6h30 et 13h30 ont été coupées à la visualisation, car il n'y avait aucun déplacement.**

Graphique 17 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 2375



Le camion 2375 circule principalement de soir et de nuit. Cette représentation permet de bien visualiser à quel point il s'arrête exclusivement aux trois endroits mentionnés précédemment.

Les arrêts à l'usine de chocolat sont longs et le camion ne bouge pas. Ce lieu constituerait donc un excellent site de recharge additionnel, si le client désirait y installer une infrastructure pour la recharge. Les arrêts à l'usine de sucre sont plus courts et le camion s'y déplace souvent, rendant la recharge plus difficile.

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 1044 kWh / 10 h = 104 kW. Une borne de 120 kW pourrait répondre de façon fiable à ce besoin. Cette puissance est plus élevée que le minimum généralement utilisé pour les camions lourds, et il en va de même pour les coûts associés.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 2375 seraient donc les suivants :

Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 2375

Capacité de la batterie embarquée	1044 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 120 kW
90 % des opérations remplies ?	**Non**

Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 14, si une batterie d'une taille suffisante était disponible. Les économies potentielles sont calculées sur 10 ans.

Tableau 14: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 2375

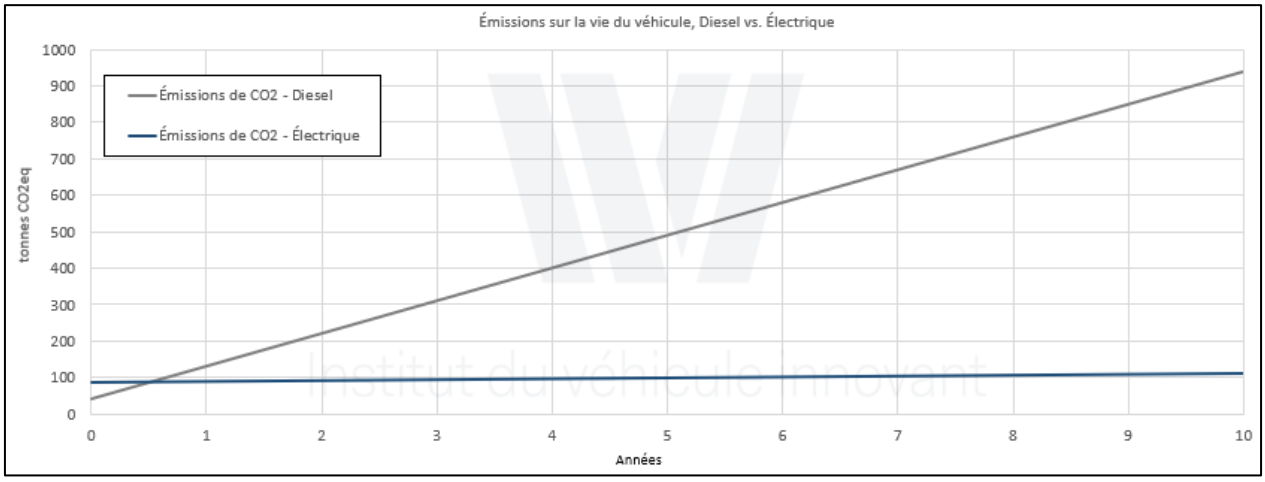
Coût annuel de carburant avant électrification	54 762 $
Coût annuel d'électricité	25 633 $
Économie annuelle de coûts d'énergie	29 129 $
Économie potentielle après 10 ans	**291 290 $**

En date de la rédaction de ce rapport, aucun produit existant ne propose une batterie ayant la capacité nominale requise pour électrifier le camion 2375. La plus grosse batterie sur le marché est d'environ 650 kWh, ce qui limiterait le nombre de journées possibles à compléter.

Les bénéfices financiers ne peuvent pas être calculés pour un camion inexistant. Cependant, une hypothèse sur l'économie possible du coût énergétique d'un camion avec une batterie de 1044 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. Les économies potentielles totales s'élèvent à 291 290 $ après 10 ans. Il faudrait alors s'assurer que le surcoût dû à l'installation d'une infrastructure de recharge et l'achat d'un camion après incitatifs serait inférieur à cette économie potentielle.

Il est quand même possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 826 tonnes de CO2 équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 34 261 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 18: Émission sur la vie du camion 2375, Diesel vs. Électrique



Camion # 2375

Kenworth W900 2011 | Tracteur Classe 8– PNB 36 364 kg

L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification des opérations actuelles du camion 2375, s'il faut considérer la nécessité de compléter l'entièreté de ses opérations tel quel. Cependant, la route très régulière et l'ouverture possible des clients visités à installer une infrastructure de recharge sur leur site pourrait changer ce diagnostic. L'encadré suivant énonce un scénario d'électrification possible et les conditions pour sa réalisation :

Le camion 2375 visite deux clients presque exclusivement, un à Montréal et l'autre à Granby. Lors des cueillettes à Montréal le camion semble suivre une file d'attente, il doit donc se déplacer fréquemment dans une très petite cour. Pour cette raison, ce site n'aurait probablement pas un bon potentiel pour la recharge. À Granby, 80 % des arrêts ont une durée supérieure à 2h30. Dans l'optique où le camion pourrait s'y recharger, il n'aurait alors besoin d'une capacité de batterie lui permettant de compléter qu'un seul aller-retour. Les besoins énergétiques de cet aller-retour typique sont détaillés ci-dessous :

Route	Distance	Énergie nominale requise		Consommation en été
		Été	Hiver	
Granby – Montréal - Granby	190 km	421 kWh	632 kWh	188 kWh/100 km

Lors des journées les plus froides d'hiver, le camion aurait une énergie nette de 537 kWh à recharger à Granby. En considérant qu'il bénéficierait de 2h30, il serait nécessaire d'y installer une borne de recharge d'une puissance de 250 kW. Le scénario d'électrification serait donc le suivant :

Capacité nominale de la batterie embarquée	632 kWh
Puissance de la borne de recharge, Acam Transport	BRCC 60 kW
Puissance de la borne de recharge, Client Granby	BRCC 250 kW

La rentabilité de ce scénario serait donc dépendante du coût d'installation d'une BRCC de très haute puissance chez un client. Celle-ci serait négative si la borne était utilisée seulement pour ce camion. Une alternative serait de dételer la remorque et se rendre à une borne de recharge publique lorsque celles-ci seront disponibles à proximité. Ceci permettrait d'éviter un investissement de quelques centaines de milliers de dollars additionnel et une gestion complexe de l'électricité consommée chez un client.

De plus, au moment de parution de ce rapport, un seul véhicule est équipé d'une batterie de capacité suffisante, laissant peu de choix au gestionnaire.

Ce nouveau scénario comporte toujours beaucoup d'incertitude, et pour cette raison l'IVI ne peut toujours pas le recommander en priorité. D'importantes vérifications s'imposent auprès des clients de Acam, des manufacturiers de camions, et des développeurs de réseaux de recharge publique pour camions. De plus, l'évaluation des bénéfices ne tient pas compte de la réduction du chargement transporté par le camion.

Cependant, en proposant un scénario requérant une batterie qui est présentement offerte, le gestionnaire pourrait dès lors débuter les démarches car la livraison du véhicule et de l'infrastructure prendront plus d'un an. Les négociations avec un client ou l'attente d'une infrastructure de recharge publique placée stratégiquement auront grandement le temps d'évoluer durant ce délai.

13. Conclusions et recommandations

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

Véhicule		Camion 2429	Camion 2423	Camion 2375
Potentiel d'électrification (/10)		**4**	**2**	**5**
Recommandation d'électrification de l'IVI		Non	Non	Non
Capacité totale de la batterie nécessaire pour effectuer un certain pourcentage des déplacements annuels	85 %	1797 kWh	1069 kWh	976 kWh
	90 %	**1977 kWh**	**1153 kWh**	**1044 kWh**
	95 %	2263 kWh	1284 kWh	1166 kWh
Puissance de la borne de recharge afin d'effectuer 90 % des déplacements annuels		250 kW	150 kW	120 kW

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

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

Le camion 2429 semble nécessiter une batterie de très grande taille si l'on considère le besoin de compléter l'entièreté des opérations d'une journée. Cependant, en considérant ses déplacements pendulaires et la possibilité, tel qu'énoncé par le participant, de recharger chez le client visité, ce scénario est tout à fait réalisable dès aujourd'hui. Les bénéfices financiers et environnementaux seraient d'une grande importance. La seule raison de ne pas considérer cette option comme scénario principal fut le fait que le participant doit être en mesure de venir à un accord pour l'installation d'une borne de recharge chez le client. Il faudrait aussi être confortable avec l'idée d'ajouter un camion pour fournir le même niveau de service. Bien que la rentabilité ait été démontrée, cette idée est contre-intuitive et des raisons autres que la rentabilité peuvent faire en sorte que le gestionnaire ne puisse considérer cette option. Dans ce cas, il faudrait prévoir des arrêts plus longs, ce qui n'est peut-être pas envisageable non plus.

Le camion 2423 a tout simplement des routes trop longues pour l'autonomie réelle des camions actuellement sur le marché. Si des infrastructures de recharge venaient disponible chez Acam et ses clients fréquents, la possibilité de recharger en journée pourrait diminuer la capacité de batterie requise, mais il pourrait être nécessaire d'adapter les opérations en allongeant ou en ajoutant des arrêts à ces endroits.

Le camion 2375 est électrifiable si on ne regarde que les chiffres des besoins énergétiques du scénario avec recharge chez le client. Cependant, un point important à considérer est le besoin d'installer une

infrastructure de recharge sur un site n'appartenant pas à Acam Transport. La borne requise étant de puissance très élevée, son coût d'achat et d'installation sont très élevés ce qui rend ce scénario non rentable, à moins de partager l'infrastructure avec d'autres camions. Cette possibilité demande une analyse beaucoup plus approfondie que l'étendue de ce rapport.

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.

Dans son analyse, l'IVI a considéré chaque minute passée au dépôt de Acam 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. Il faudrait toutefois faire attention de positionner une borne à un endroit permettant de recharger le véhicule pendant qu'on y ajoute les marchandises, ou de le rebrancher après. Aussi, plusieurs bornes de recharge rapide publiques pour les camions lourds apparaîtront sous peu au Québec. L'utilisation de ces bornes pourrait être avantageuse pour un camion qui n'a pas l'habitude de repasser au dépôt durant la journée ou qui nécessite des recharges très puissantes.

Le présent rapport fait l'état des possibilités d'électrification pour trois camions de la flotte de Acam 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 Acam 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

Données utilisées pour évaluer le coût de l'électricité au Vermont :

- https://greenmountainpower.com/wp-content/uploads/2019/03/GMP-Rates-Explained-Rates-Effective-10-1-22.pdf

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 :