



Flotte rechargeable Camions lourds

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

Rapport phase 2 – Entreposage JSMG

Par : Philippe Louiseize, ing.

Révisé par : Mathieu Chevigny et Charles Trudel, ing.

Date : 27 février 2024



Institut du véhicule innovant

Table des matières

1. Faits saillants	6
2. Méthodologie	7
3. Méthodologie : Scénarios d'électrification	9
4. Limites de l'analyse	11
5. Présentation de l'entreprise.....	12
6. Véhicules analysés.....	13
7. Analyse du camion 33.....	18
8. Scénario d'électrification pour le camion 33.....	21
9. Analyse du camion 113.....	26
10. Scénario d'électrification pour le camion 113.....	29
11. Analyse du camion 115.....	34
12. Scénario d'électrification pour le camion 115.....	37
Scénario d'électrification avec recharge en journée.....	40
13. Conclusions et recommandations	45
14. Sources des données	47
15. Informations et contact.....	48
16. Remerciements	49



Attribution, pas d'utilisation commerciale, partage dans les mêmes conditions

(CC BY-NC-SA) : Cette licence permet à d'autres personnes de remixer, arranger et adapter l'œuvre à des fins non commerciales tant que le crédit à l'auteur est attribué en citant son nom et que les nouvelles œuvres sont diffusées selon les mêmes conditions. Pour consulter le code juridique encadrant cette licence, visitez creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.fr

Liste des tableaux

Tableau 1 : Énergie nominale vs. Utilisable d'un camion électrique à différents stades de vie	10
Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation des véhicules d'Entreposage JSMG.....	14
Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 33	19
Tableau 4 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 33	20
Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 33.....	24
Tableau 6: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 33	24
Tableau 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 113	27
Tableau 8: Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 113	28
Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 113.....	31
Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 113	32
Tableau 11 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 115	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 33.....	39
Tableau 14 : Stratégies d'opérations pour compléter les journées du camion 115	42
Tableau 15: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 115.....	42
Tableau 16: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 115	43
Tableau 17: Recommandation d'électrification des camions de Transport JSMG.....	45

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 33, 113 et 115.....	13
Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 33 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt d'Entreposage JSMG.....	18
Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 113 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt d'Entreposage JSMG.....	26
Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 115 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt d'Entreposage JSMG.....	34

Liste des graphiques

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion	15
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Entrepôt JSMG.....	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 33	20
Graphique 5: Journées de mesure du camion 33, 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 33	22
Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 33.....	23
Graphique 8: Émission sur la vie du camion 33, Diesel vs. Électrique	25
Graphique 9: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 113.....	28
Graphique 10: Journées de mesure du camion 113, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh).....	29
Graphique 11 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 113	30
Graphique 12 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 113.....	31
Graphique 13 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 113	32
Graphique 14: Émission sur la vie du camion 113, Diesel vs. Électrique	33
Graphique 15: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 115.....	36
Graphique 16: Journées de mesure du camion 115, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh).....	37
Graphique 17 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 115	38
Graphique 18 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 115.....	40
Graphique 19 : Effet de la recharge en journée pour le camion 115.....	41
Graphique 20 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 115	43
Graphique 21: Émission sur la vie du camion 115, Diesel vs. Électrique	44

À PROPOS DE L'IVI

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

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

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

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

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

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

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

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

Québec 

 Hydro Québec

1. Faits saillants

Le présent rapport a pour but de mesurer la pertinence d'électrifier trois camions de la compagnie Entrepotage JSMG, basée à Acton Vale.

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 :

91 % des journées se terminent en ayant parcouru moins de 275 km pour les camions 113 et 115

87 % des arrêts de nuit au terminal durent 8 heures ou plus, permettant une recharge lente

Camion 33 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification		
Critère	Valeur			
Distances	Longues	-	Estimation de consommation électrique en été	167 kWh / 100 km
Constance	Intermittent	+/-	Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	202 kWh / 100 km
Dénivelé	Faible	+	Pénalité de chargement ?	Non
Recharge en journée	Non	-	Capacité nominale requise pour 90 % des journées	1545 kWh
Chargement	Léger	+	Batterie disponible ?	Non
Accessoires	Aucun	+		

Camion 113 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification		
Critère	Valeur			
Distances	Courtes	+	Estimation de consommation électrique en été	135 kWh / 100 km
Constance	Constant	+	Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	168 kWh / 100 km
Dénivelé	Moyen	+/-	Pénalité de chargement ?	Non
Recharge en journée	Non	-	Capacité nominale requise pour 90 % des journées	385 kWh
Chargement	Léger	+	Batterie disponible ?	Oui
Accessoires	Aucun	+		

Camion 115 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification		
Critère	Valeur			
Distances	Longues	-	Estimation de consommation électrique en été	140 kWh / 100 km
Constance	Constant	+	Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	175 kWh / 100 km
Dénivelé	Moyen	+/-	Pénalité de chargement ?	Non
Recharge en journée	Possible	+	Capacité nominale requise pour 90 % des journées	550 kWh
Chargement	Léger	+	Batterie disponible ?	Oui
Accessoires	Aucun	+		

2. Méthodologie

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

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

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

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

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

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

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

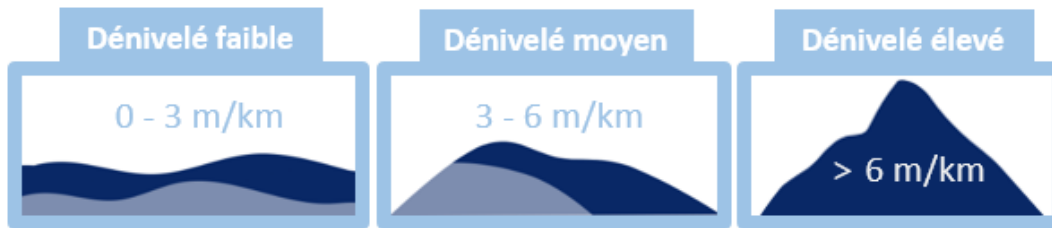


Figure 1 : Échelle de dénivelé allant du plus petit dénivelé au plus grand

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

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

3. Méthodologie : Scénarios d'électrification

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Capacité totale (nominale), telle qu'annoncer à la vente	Capacité réelle utilisable, camion neuf	Capacité avec marge confort, camion neuf	Capacité approximative restante avec marge de confort, long terme
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 2006 à Acton Vale en Montérégie, Entreposage JSMG est une entreprise familiale spécialisée dans le transport et l'entreposage. Tout comme de nombreuses autres entreprises similaires, elle a débuté modestement avec un seul camion, pour ensuite évoluer jusqu'à aujourd'hui, disposant d'une flotte de 13 tracteurs et de 30 remorques en activité.

JSMG offre le transport et l'entreposage de marchandises réfrigérées, mais aussi de marchandises sèches variées. Elle offre du transport en chargement partiel (*LTL, Less Than Truck-Load*) et en chargement complet (*TL, Total Load*). Certaines routes sont dédiées à un client, jour après jour, mais avec de multiples arrêts.

Les camions desservent des clients locaux, mais aussi jusqu'à Montréal et Québec. Ceux-ci partent souvent de chez JSMG sans remorque (*Bobtail*) pour aller en cueillir une déjà chargée chez un client. Leur chargement est typiquement peu élevé.

6. Véhicules analysés

Suite aux discussions avec le gestionnaire du parc, les trois camions retenus pour l'analyse sont les unités 33, 113 et 115. Les trois camions sont de la marque Freightliner, un modèle Classic et deux Cascadia.



Figure 2 : Camions utilisés durant la période d'instrumentation, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 33, 113 et 115

Ces camions ont été retenus car ils répondaient aux critères généraux de sélection quant aux distances approximatives parcourues et au retour au dépôt la nuit. Les trois véhicules reviennent à leur port d'attache la nuit et ils effectuent des livraisons locales. De plus, ils étaient tous trois censés avoir une route dédiée en mobilité pendulaire, où chaque camion ne visite qu'un client local à répétition.

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 d'Entreposage JSMG.

Un problème de connectivité entre le camion 33 et l'appareil de télématique, possiblement dû à l'âge du véhicule, a empêché la communication des données de consommation.

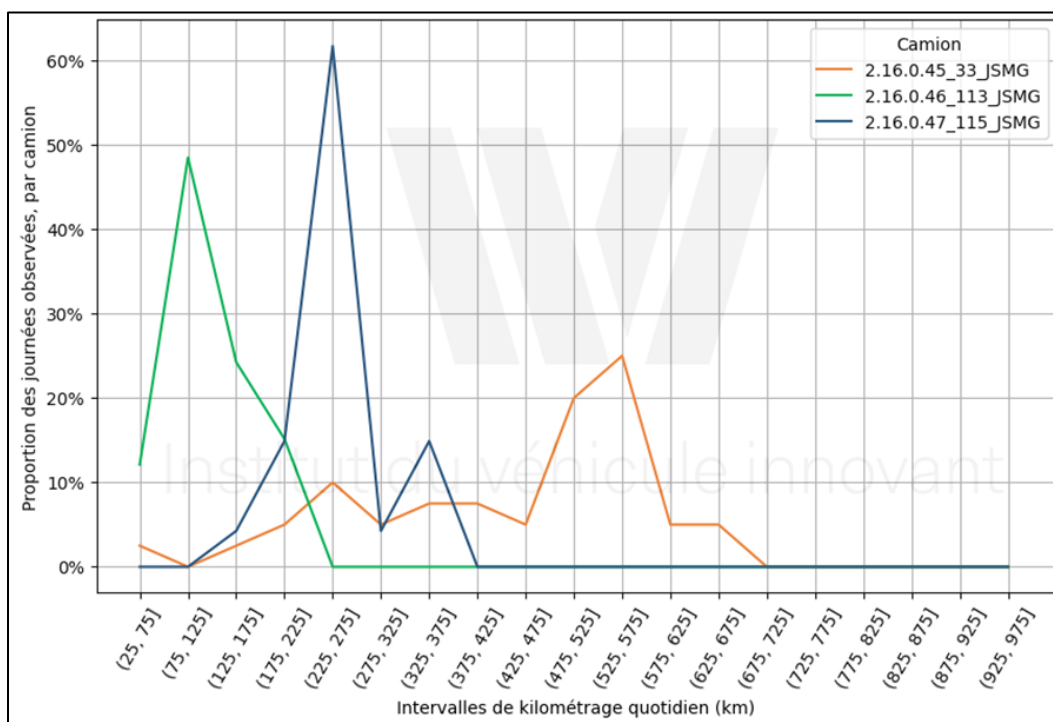
Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation des véhicules d'Entreposage JSMG

Camion #	33	113	115
Distance parcourue			
Durant la prise de données	17 817 km	4 526 km	12 092 km
Annuellement (estimée)	71 268 km	18 103 km	48 366 km
Carburant			
Consommé durant la prise de données	n/a L	2 345 L	5 552 L
Consommé annuellement (estimé)	n/a L	9 380 L	22 208 L
Consommation moyenne	n/a L/100 km	51,8 L/100 km	45,9 L/100 km
Ralenti			
Temps par jour en moyenne	n/a h	1,6 h	2,8 h
Carburant consommé au ralenti par jour	n/a L	15,53 L	15,3 L
Carburant consommé par année (estimé)	n/a L	2361 L	2936 L
Opérations			
Vitesse moyenne en déplacement	71,6 km/h	38,6 km/h	30,3 km/h
Nombre de jours actifs durant l'analyse	58 jours	38 jours	48 jours
Masse totale moyenne	18 471 kg	15 925 kg	17 356 kg

Le tableau ci-haut permet d'observer que le camion 113 parcourt de très courtes distances. La consommation du camion 33 aurait possiblement été plus élevée vu la vitesse moyenne, le chargement et l'âge plus avancé du véhicule. Quant au camion 115, les chiffres présentés ci-haut le placent entre les deux autres.

Le facteur le plus déterminant de la consommation quotidienne d'énergie est la distance parcourue. Le graphique suivant montre la distribution des distances quotidiennes parcourues par camion.

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion

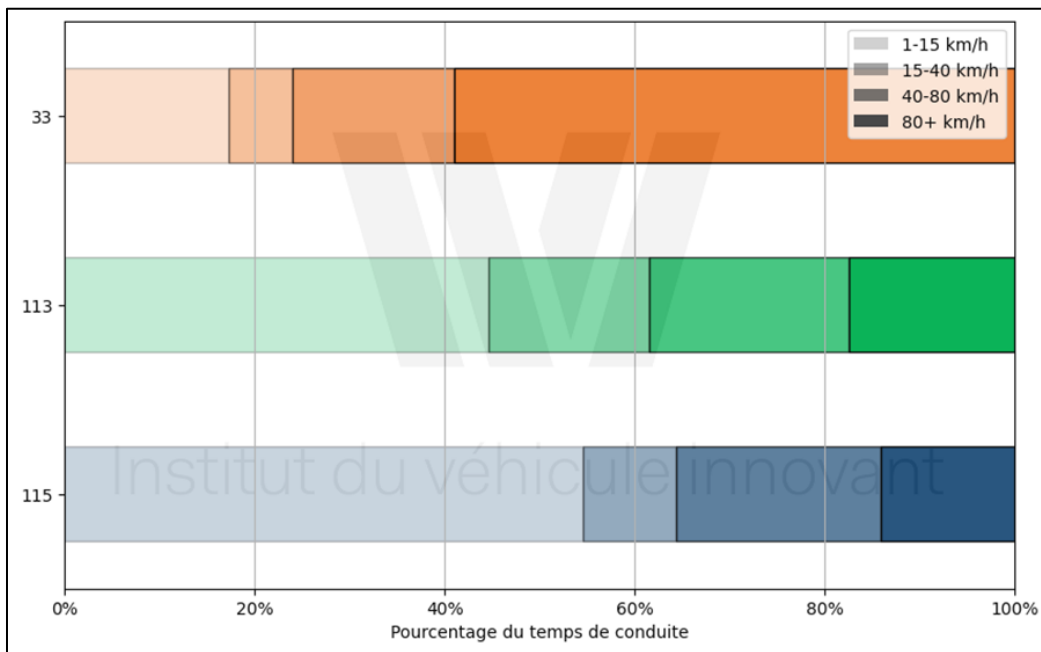


En observant le Graphique 1, il est possible de remarquer que les camions 113 et 115 parcourent des distances moins élevées, le premier ayant toujours fait moins de 225 km et le second, moins de 275 km 82 % du temps. Le camion 33 a des trajets plus variés, et parcourt majoritairement entre 325 et 575 km par jour.

Les camions 113 et 115 terminent 91 % de leurs journées en ayant parcouru moins de 275 km.

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.

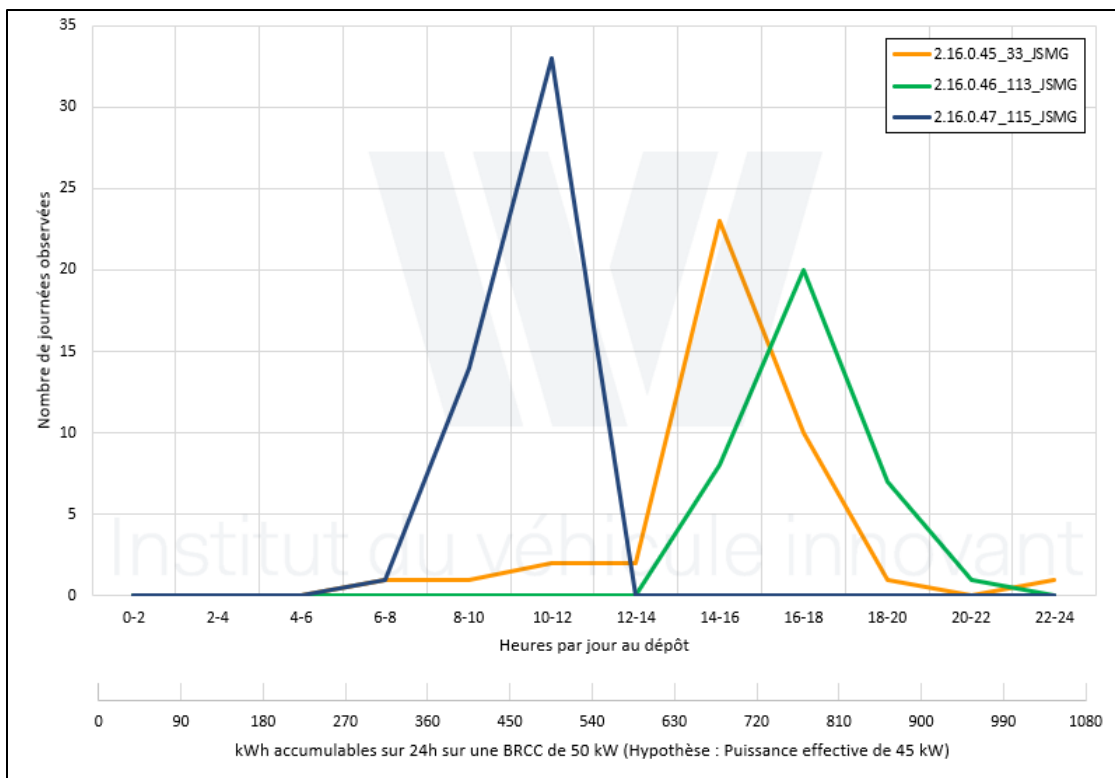
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Entreposage JSMG



Ce graphique permet de visualiser que le camion 33 roule 60 % du temps à vitesse d'autoroute, alors que les deux autres y passent moins de 20 %. Le temps passé et donc la distance parcourue à ces vitesses élevées à un effet important à la hausse sur la consommation d'un véhicule électrique. Il serait donc logique de s'attendre à une consommation estimée plus importante pour le camion 33.

Le mode de ravitaillement des véhicules électriques est complètement différent de celui des véhicules à combustion interne. En effet, la méthode la plus efficace et la moins coûteuse d’opérer commercialement un véhicule électrique consiste à charger le véhicule à la borne de recharge la plus lente possible, au dépôt, durant ses périodes d’inactivité. Il va donc de soi que plus ce temps est long, plus la borne peut être lente (moins puissante). L’IVI préconise la sélection d’infrastructures de recharge les moins puissantes possibles pouvant satisfaire les besoins (incluant les marges de sécurité et de confort), car celles-ci sont moins coûteuses à acquérir, installer puis opérer. Les trois véhicules suivis reviennent au terminal de JS MG en fin de journée et y passent la nuit. Le Graphique 3 montre la répartition des heures passées sur le terrain d’entreposage JS MG à l’arrêt.

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



Le Graphique 3 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 disposent d’un arrêt au dépôt d’une durée minimale de 8 heures, 87 % du temps. Pour les camions 33 et 113, cet arrêt est d’au moins 12 heures, 94 % du temps.

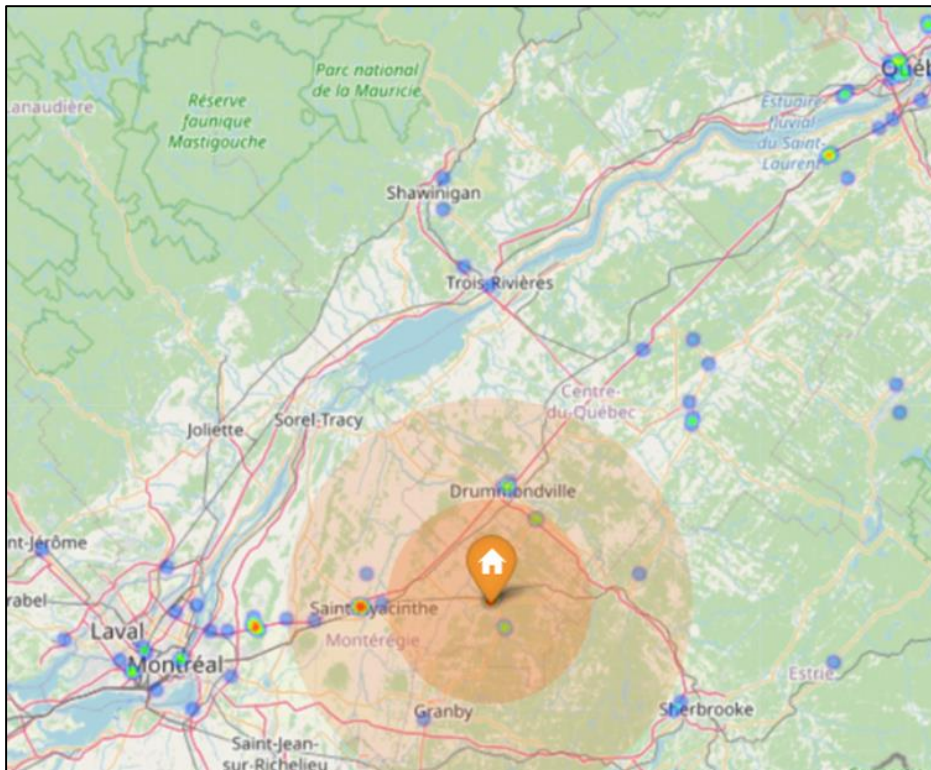
Les pages suivantes présentent en détail l’analyse des déplacements de chaque camion, qui conduira à déterminer leurs besoins énergétiques si ceux-ci étaient remplacés par des camions électriques, dans la portion scénario d’électrification de ce rapport.



7. Analyse du camion 33

Le camion au diesel 33 est utilisé pour faire du transport varié en charge divisée à des clients multiples. Lors de la période de mesure, il a aussi parcouru durant deux jours une route entre Granby et Saint-Hyacinthe qui devrait être appelée à se répéter très souvent dans le futur. Cet itinéraire recevra une considération spéciale en conclusion.

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 33 a parcouru des trajets variés lors de sa période d'instrumentation. Il a circulé à Montréal, dans les Laurentides, en Montérégie, en Estrie et dans les environs de la ville de Québec.

Il a fait plusieurs arrêts à Saint-Georges, Acton Vale et Saint-Hyacinthe.

Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 33 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt d'Entreposage JSMG



Le dénivelé du territoire parcouru par le camion 33 est faible, mais il est proche de la plage de dénivelé moyen.

Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 2,7 mètres pour chaque kilomètre parcouru.



Camion # 33

Freightliner Classic 2004 | Tracteur classe 8– PNB 36 364 kg

Le détail des distances parcourues chaque jour de la période de collecte de données est présenté dans le Tableau 3. Celui-ci comporte trois sections pour couvrir l'entièreté des détails des déplacements du camion. En haut, la distance maximale, au 90^e 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 33

La donnée la plus importante du premier tableau est celle du 90^e percentile puisqu'il représente la valeur maximale dans plus de 90 % des journées de l'analyse. L'IVI suggère au gestionnaire de flotte d'utiliser cette valeur comme valeur maximale réelle. Il est également possible d'observer la moyenne de kilomètres parcourus quotidiennement qui est de 441 km. Cette valeur est très élevée pour considérer un scénario d'électrification avec les batteries disponibles sur le marché actuel.

En observant le graphique à bande, il est possible de constater que le camion circule quatre jours par semaine, soit du lundi au jeudi.

Les valeurs des distances quotidiennes représentées dans le calendrier sont très variées les lundi et mercredi, ce qui indique que les livraisons du camion ne sont pas constantes. Les mardis et jeudis, le camion se rend plus fréquemment dans d'autres régions. Ses distances sont plus stables, mais les destinations ne sont pas constantes.

Les journées surlignées en gris foncé sont celles où les données de chargements n'ont pas été récoltées.

Max	643	km
90%	565	km
Med	489	km
Moy	441	km
σ	145	km
CV	33%	



	D	L	M	M	J	V	S
	-	-	351	223	624	16	-
	-	643	172	229	243	67	-
	-	335	489	379	249	-	-
	-	276	560	434	204	-	-
mai	-	489	541	275	494	-	-
	-	543	580	629	476	-	-
	-	-	517	524	537	-	-
	-	405	564	294	567	-	-
juin	-	483	566	358	560	-	-
	-	384	530	519	529	-	-
	-	431	545	461	530	-	-

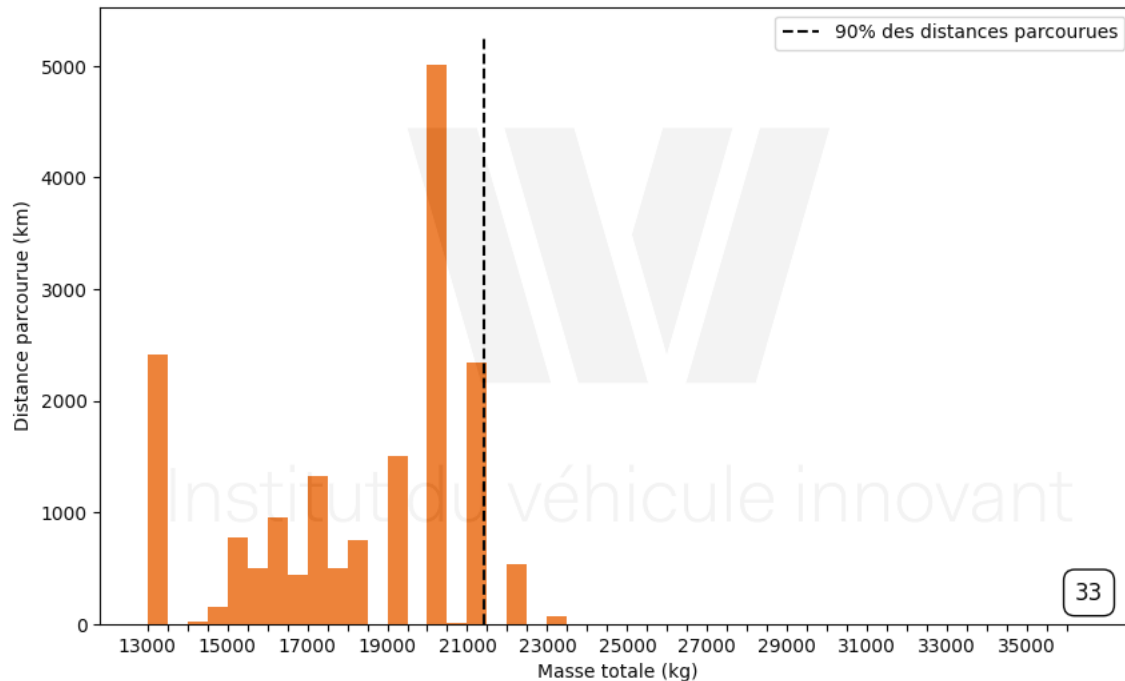


Camion # 33

Freightliner Classic 2004 | Tracteur classe 8– PNB 36 364 kg

L'énergie requise pour chaque accélération et chaque montée est directement proportionnelle à la masse totale du véhicule, incluant son chargement. Puisque le camion 33 effectue plusieurs livraisons avec un chargement varié durant la journée, sa masse totale a été notée pour chaque trajet effectué durant la période d'analyse. Le graphique suivant montre le chargement typiquement transporté.

Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 33



Le camion 33 circule avec un chargement varié. Durant la période d'instrumentation, sa masse totale est toujours restée inférieure à 23 000 kg, ce qui est plutôt bas pour un tracteur de classe 8.

Un véhicule électrique, plus lourd à cause du poids de sa batterie, n'entraînerait pas de pénalité de chargement pour la route de ce camion.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 33 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 33

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

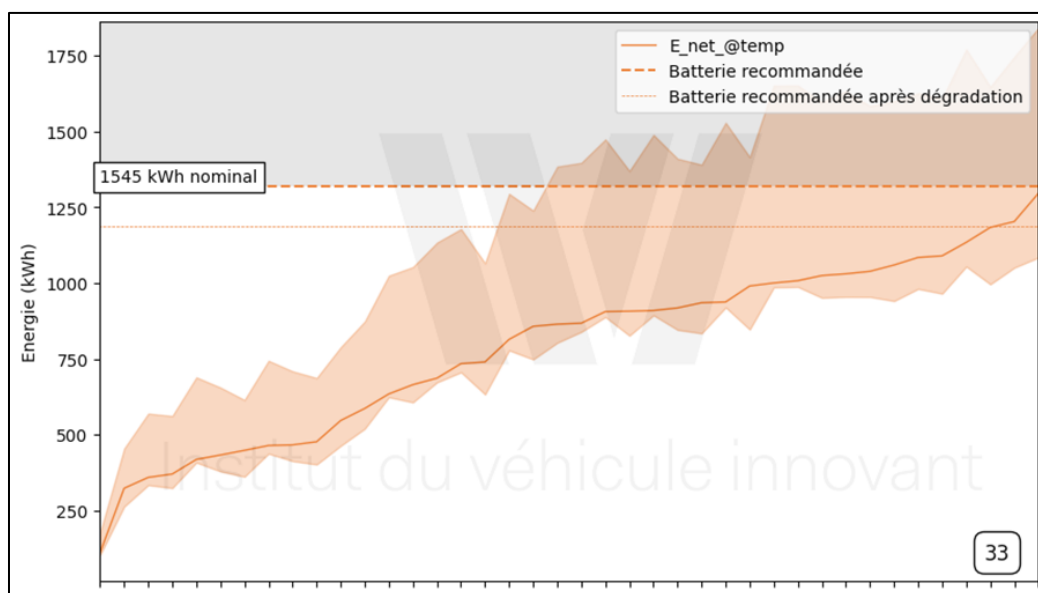


8. Scénario d'électrification pour le camion 33

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

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

Graphique 5: Journées de mesure du camion 33, 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 1545 kWh total disposerait de 1321 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 33 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.



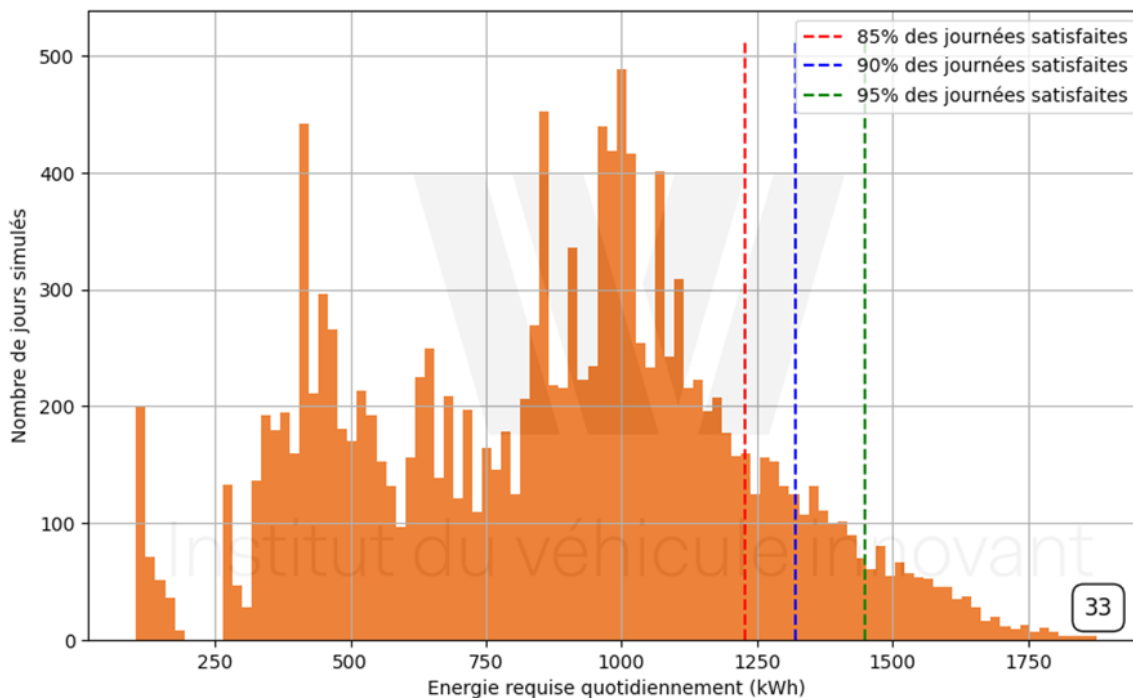
La consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 167 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

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 *Application Programming Interface* (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 33





Camion # 33

Freightliner Classic 2004 | Tracteur classe 8– PNB 36 364 kg

Pour compléter l'entièreté des trajets d'une journée 90 % du temps sur une année complète, l'IVI estime que la batterie requise devrait avoir une capacité utilisable avec marge de 1321 kWh, ce qui équivaut à une batterie dotée d'une énergie nominale 1545 kWh.

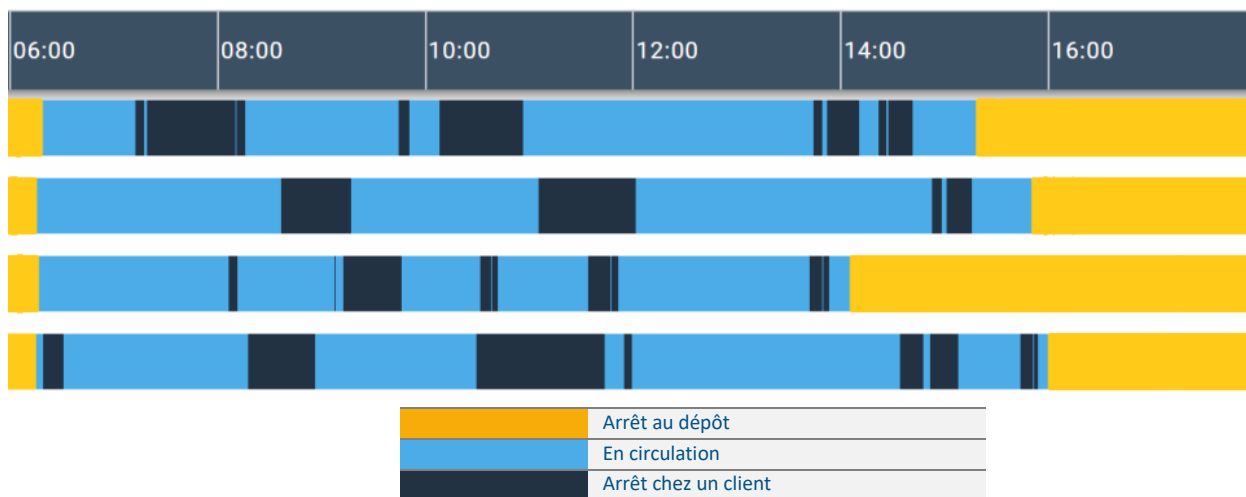
Pour compléter 95 % des journées, la capacité nominale est de 1693 kWh.

Pour compléter 85 % des journées, la capacité nominale est de 1437 kWh.

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

Le Graphique 7 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 33. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au jeudi, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée. Les nuits ont été coupées, car il n'y avait aucun déplacement. La semaine représentée est celle du 15 au 18 mai 2023.

Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 33



Le camion 33 quitte du dépôt de JSMG vers 6h puis il effectue plusieurs arrêts durant la journée. Il revient au dépôt entre 15 h et 16 h. Donc, le camion passe au moins 14 h à l'entrepôt de JSMG durant la nuit, ce qui est corroboré par le Graphique 3



Camion # 33

Freightliner Classic 2004 | Tracteur classe 8– PNB 36 364 kg

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 répond aux besoins.

Afin de calculer la puissance requise pour cette application, la capacité réelle utilisable de la batterie est divisée par le nombre d'heures que le camion passe au dépôt (1545 kWh / 14 h). Une puissance effective d'au moins 110 kW serait donc nécessaire afin de remplir la batterie nécessaire pour ce camion. Une borne de 120 kW pourrait fournir cette puissance effective de façon fiable.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 33 seraient donc les suivants :

Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 33

Capacité de la batterie embarquée	1545 kWh
Borne de recharge requise	120 kW
Batterie disponible sur le marché actuel ?	Non

La capacité nominale de la batterie embarquée est bien au-dessus de la capacité maximale disponible en ce moment sur le marché. Pour cette raison, l'électrification de cette route telle qu'elle ne pourrait pas être envisagée en date de l'écriture de ce rapport. Par conséquent, les bénéfices financiers n'ont pas pu être calculés pour un camion non existant. Cependant, les économies possibles ont été évaluées concernant les coûts d'énergies et ils sont indiqués au Tableau 6.

Tableau 6: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 33

Coût annuel de carburant avant électrification	58 440 \$
Coût annuel d'électricité	23 562 \$
Économie annuelle de coûts d'énergie	34 878 \$
Économies possibles après 10 ans	348 780 \$

Sur une période de 10 ans, les économies de coûts énergétiques potentielles sont de 348 780 \$. Le surcoût à l'achat d'un véhicule et d'une infrastructure de recharge après incitatifs devrait donc être inférieur à cette valeur pour rester intéressant au niveau financier. Le coût du diesel considéré est 2,00 \$/L et le coût de l'électricité est fixé à 0,16 \$/kWh.

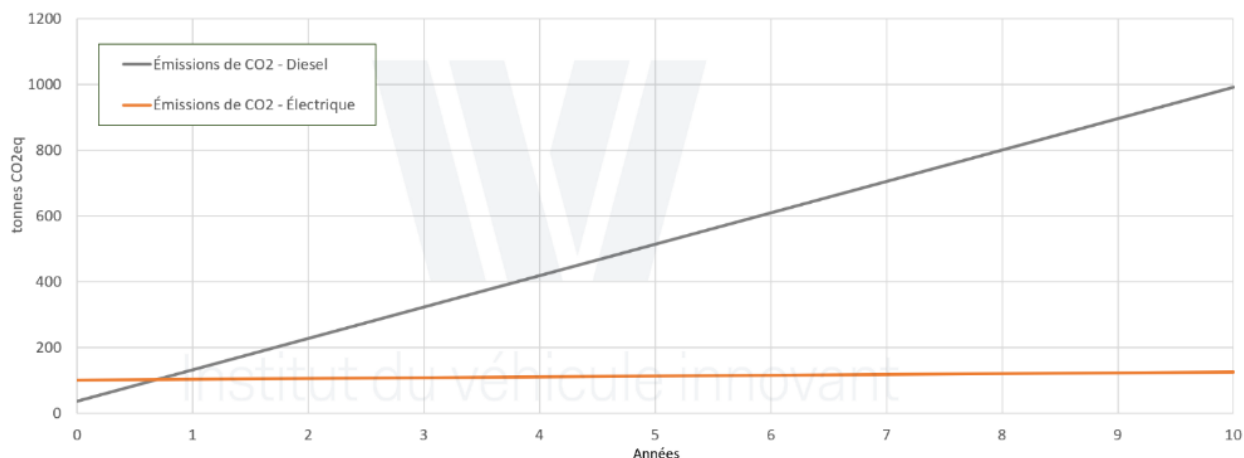
Il est possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 865 tonnes de CO2 équivalent. Un camion électrique est plus polluant 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 49 109 km. Ces valeurs viennent des analyses indépendantes de l'IVI, basées sur des études de l'*International Council on Clean Transportation* (ICCT) et tiennent compte des émissions de GES de la production d'électricité par barrages hydro-électriques.



Camion # 33

Freightliner Classic 2004 | Tracteur classe 8– PNB 36 364 kg

Graphique 8: Émission sur la vie du camion 33, Diesel vs. Électrique



L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification pour ce camion en considérant l'ensemble des routes parcourues lors de la prise de mesures, car la batterie qu'il nécessiterait n'existe pas encore sur le marché actuel pour un camion tracteur de classe 8.

Cependant, une route dédiée a été parcourue à quelques reprises. Ce parcours pendulaire devrait éventuellement être le seul réalisé par ce véhicule. Bien que seulement une poignée d'aller-retours aient été effectués, les besoins énergétiques de cette route ont été évalués et sont détaillés ici :

Le camion 33 devait faire exclusivement une route pendulaire entre un client à Saint-Hyacinthe et à Granby. Cette route fait 48 km, et les deux lieux visités sont approximativement à cette distance du terminal d'Entreposage JSMG. Cette route aurait les besoins énergétiques suivants :

Période	Aller Simple	Aller-Retour
Été	65 kWh	130 kWh
Hiver	98 kWh	196 kWh

Un camion électrique pourrait faire au moins deux aller-retours avant de nécessiter une recharge. De plus, lorsque le camion a enchaîné quelques aller-retours, un arrêt de 1h30 a été enregistré chez le client de Granby. L'installation d'une borne de recharge de 50 kW à cet endroit permettrait de restituer environ 75 kWh à la batterie à chaque aller-retour, soit environ la consommation d'un aller. Une borne de 150 kW restituerait plus de 200 kWh durant cet arrêt, assez pour permettre d'effectuer cette route toute la journée sans recharge additionnelle et ce, en plein hiver.

Un tel scénario permettrait de faire 3 allers-retours par jour, ce qui équivaldrait à 375 km quotidiennement. En installant une borne de recharge de 50 kW chez JSMG et une de 150 kW chez le client, répéter cette route à tous les jours ouvrables coûterait 28 % moins cher sur la durée de vie d'un camion pour un véhicule électrique, comparé à un diesel. Les bénéfices économiques et environnementaux estimés sont détaillés ici :

Retour sur investissement	Bénéfices estimés, 10 ans	Bénéfices environnementaux
4,8 ans	276 000 \$	1235 t CO ₂ eq évitées



9. Analyse du camion 113

Le camion au diesel # 113 est utilisé pour un contrat dédié à un client situé à Acton Vale, tout près de JSMG. Ce client a plusieurs adresses visitées dans la localité.

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 :



Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 113 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt d'Entreposage JSMG



Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 3,2 mètres pour chaque kilomètre parcouru.



Camion # 113

Freightliner Cascadia 2013 | 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 113

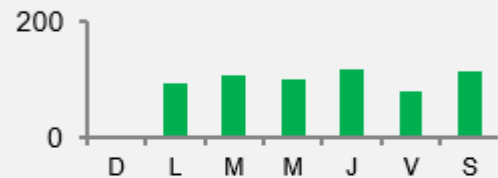
En observant le tableau suivant, il est possible de remarquer que le 90^e percentile est très bas, à 182 km. Cette valeur est très importante puisqu'elle représente la valeur maximale pour 90 pour cent des journées de l'analyse. La moyenne est également très basse pour un trajet d'un camion de classe 8 à 103 km par jour.

Durant la période de mesure, le véhicule a circulé cinq jours par semaine.

Il est possible de remarquer une certaine constance dans les distances quotidiennes parcourues qui sont représentées dans le calendrier suivant. Les distances de 100 – 103 km sont souvent observées, mais pas lors de journées régulières.

Les journées surlignées en gris foncé sont celles où les données de chargements n'ont pas été récoltées.

Max	203	km
90%	182	km
Med	103	km
Moy	102	km
σ	60	km
CV	59%	



	D	L	M	M	J	V	S	
mai	-	77	106	99	190	23	-	
	-	15	114	74	165	10	-	
	-	72	203	129	82	169	-	
	-	17	167	68	97	100	-	
	-	113	103	108	177	103	-	
	-	193	101	115	192	103	-	
	-	-	96	172	-	12	-	
	-	160	16	14	17	30	-	
	juin	-	-	-	-	-	-	-
		-	88	23	6	161	143	-
-		111	184	148	7	-	-	

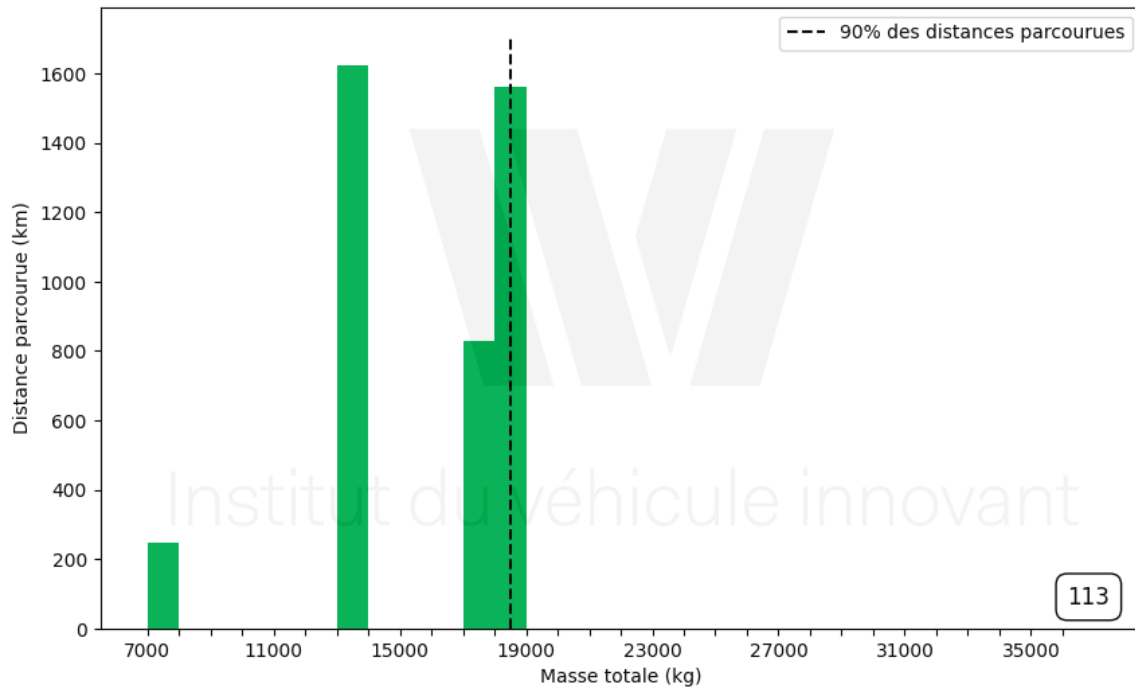


Camion # 113

Freightliner Cascadia 2013 | Tracteur classe 8 – PNB 36 364 kg

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

Graphique 9: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 113



Le camion 113 a principalement deux modes de chargements. Le premier à 13 000 kg de masse totale survient lorsque le tracteur tire une remorque vide, puis le second est avec un chargement de 4000 – 6000 kg. Le temps passé à 7000 kg de masse totale représente des déplacements sans remorque (*bobtail*), entre Entrepôt JSMG et le client.

La masse totale de ce camion est loin du PNB, donc la masse ajoutée par des batteries ne serait pas un problème pour les déplacements du camion 113.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 113 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 113

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

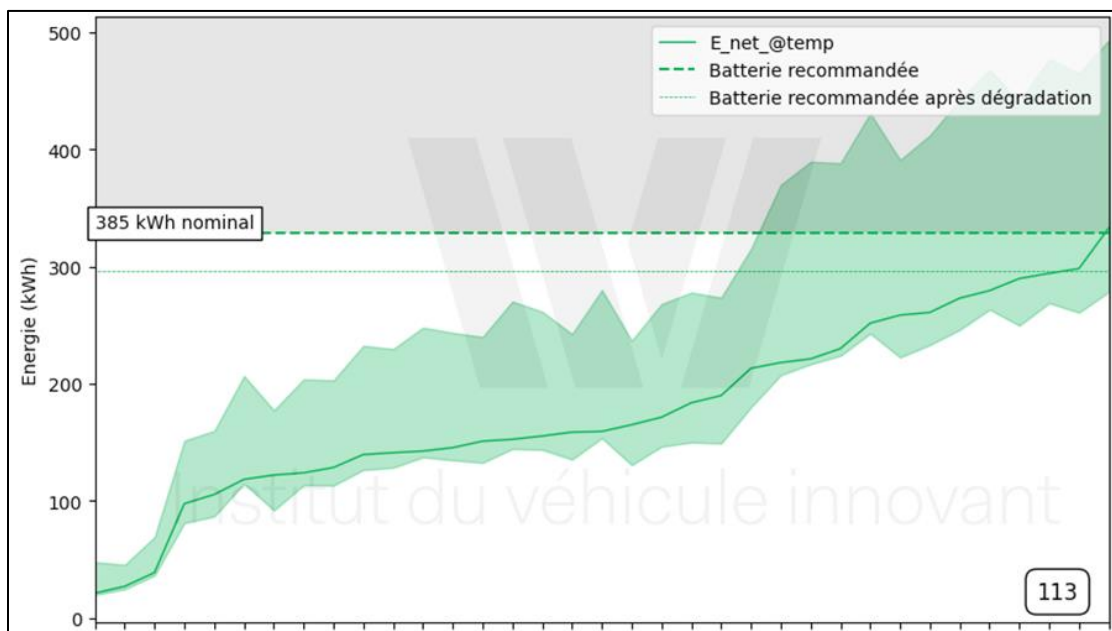


10. Scénario d'électrification pour le camion 113

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 113, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



Guide d'interprétation du Graphique 10 :

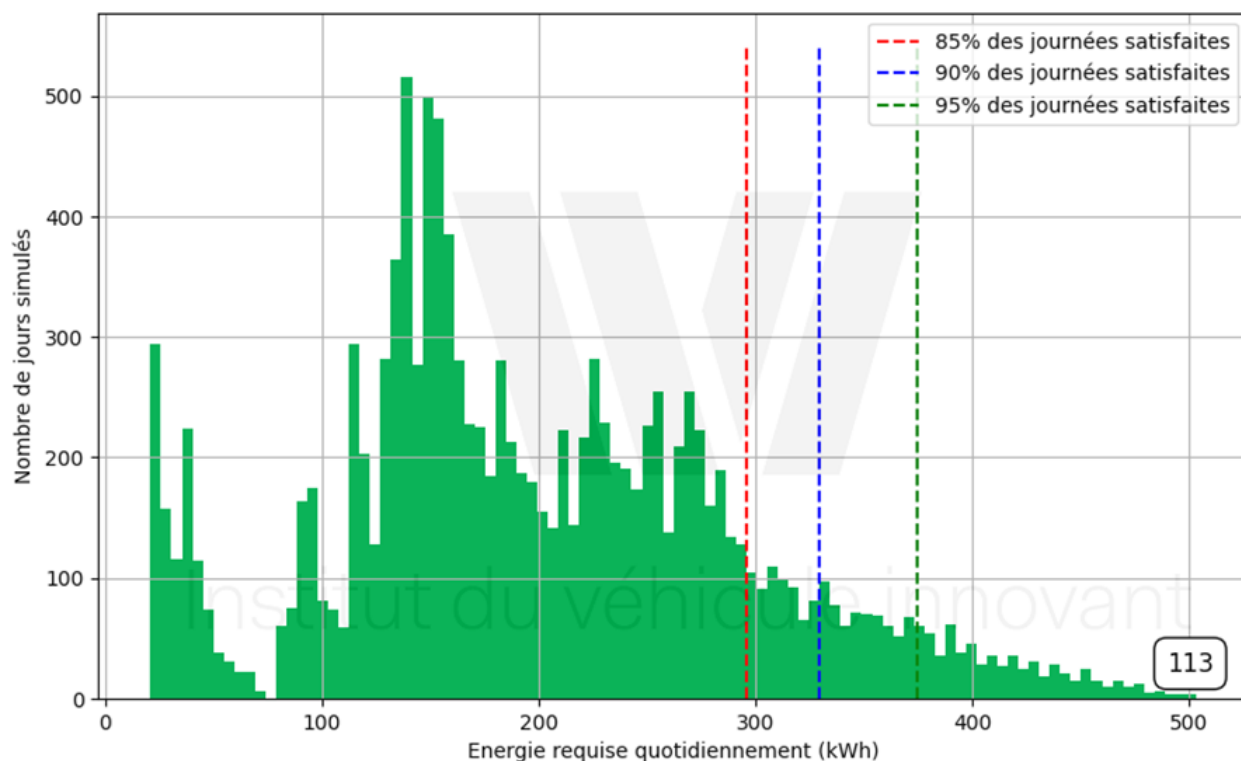
- La courbe verte du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire verte montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20°C) ou très froid. La valeur plus 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 385 kWh disposerait de 329 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 113 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 136 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 113



Une batterie de 385 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 346 et de 438 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 classes 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.

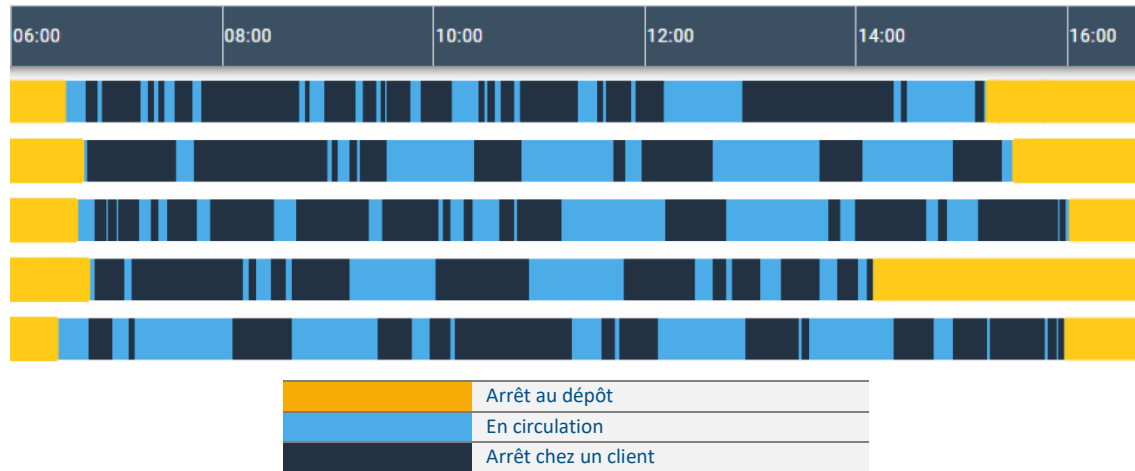


Camion # 113

Freightliner Cascadia 2013 | Tracteur classe 8 – PNB 36 364 kg

Le Graphique 12 permet de visualiser les arrêts lors d’une semaine typique du camion 113. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, de bas en haut. L’échelle en haut du graphique représente l’heure de la journée. Les nuits ont été coupées, car il n’y avait aucun déplacement. La semaine représentée est celle du 15 au 19 mai 2023.

Graphique 12 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 113



On observe que le camion 113 débute ses journées vers 6h30-7h puis il finit vers 15h30-16h. Durant la journée, il effectue plusieurs arrêts.

Le camion passe au moins 14 h par jour à l’entrepôt de JSMG, cette plage horaire peut servir pour la recharge du camion.

Une puissance de 50 kW est généralement considérée comme le standard minimal pour un camion lourd. Cette borne fournira une puissance réelle au véhicule d’environ 45 kW. Comme pour les batteries, la stratégie consiste à sélectionner la borne de recharge la moins puissante qui réponde aux besoins.

En multipliant la puissance par le nombre d’heures, on arrive à l’énergie ajoutée quotidiennement. Celle-ci serait donc d’au moins 630 kWh (14 h * 45 kW). Cette valeur est plus que suffisante pour effectuer une charge complète.

Les paramètres retenus pour un scénario d’électrification du camion 113 seraient donc les suivants :

Tableau 9: Paramètres d’électrification retenus pour le camion 113

Capacité de la batterie embarquée	385 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 50 kW
90 % des opérations remplies ?	Oui



Camion # 113

Freightliner Cascadia 2013 | Tracteur classe 8 – PNB 36 364 kg

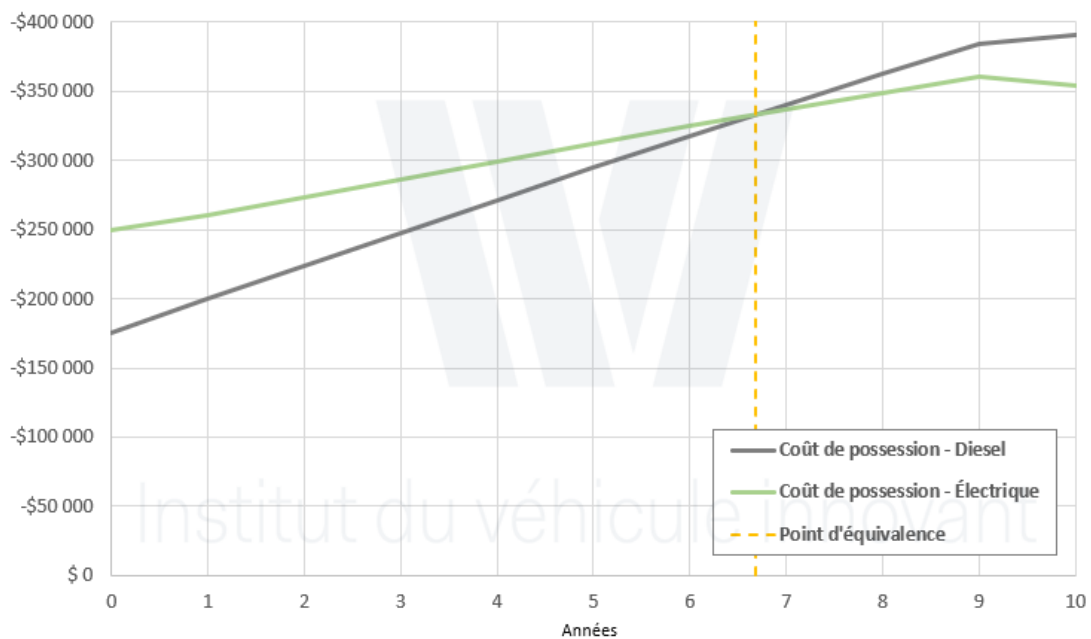
Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 10.

Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 113

Coût annuel de carburant avant électrification	14 325 \$
Coût annuel d'électricité	3 197 \$
Économie annuelle de coûts d'énergie	11 128 \$
Surcoût total à l'achat (après subventions)	75 000 \$
Période de retour sur investissement	6,7 années
Bénéfice net après 10 ans	36 871 \$

Sur une période de 10 ans, le coût du camion électrique serait d'environ 353 700 \$ tandis que les coûts du camion diesel serait d'environ 390 600 \$. Une économie de 9 % serait atteignable en électrifiant la route du camion 113. 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, 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 13 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 113



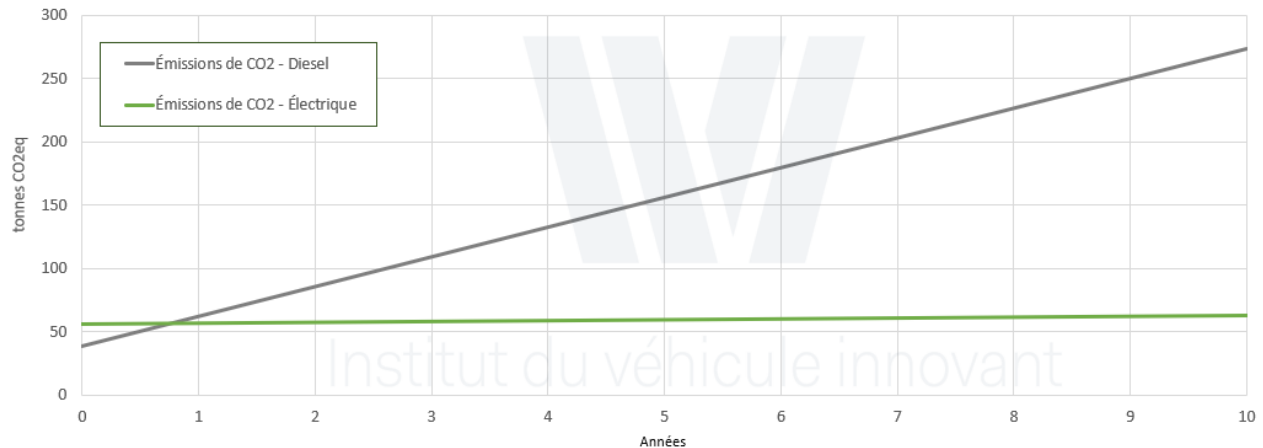


Camion # 113

Freightliner Cascadia 2013 | Tracteur classe 8 – PNB 36 364 kg

Il est possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 210 tonnes de CO₂ équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 13 640 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 14: Émission sur la vie du camion 113, Diesel vs. Électrique



L'IVI recommande l'électrification de la route de ce camion. Cette route est facilement électrifiable, et tous les camions offerts actuellement proposent une capacité de batterie suffisante. De plus, une borne de puissance minimale est requise, soit 50 kW. Ce scénario est aussi avantageux sur le plan environnemental, évitant l'émission de 210 tonnes de CO₂ équivalent sur 10 ans.

Dans l'éventualité où Entrepasage JSMG décidait de garder ce véhicule encore plus longtemps que 10 ans, alors les bénéfices financiers seraient beaucoup plus élevés, amenant une économie additionnelle de 11 000 \$ par année supplémentaire.



11. Analyse du camion 115

Le camion 115 est utilisé pour livrer des marchandises sèches à un seul client, situé à Valcourt. Ces marchandises sont cueillies plusieurs fois par jour chez un fournisseur situé à Acton Vale, elles ne transitent donc pas par l'entrepôt de JSMG.

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 :

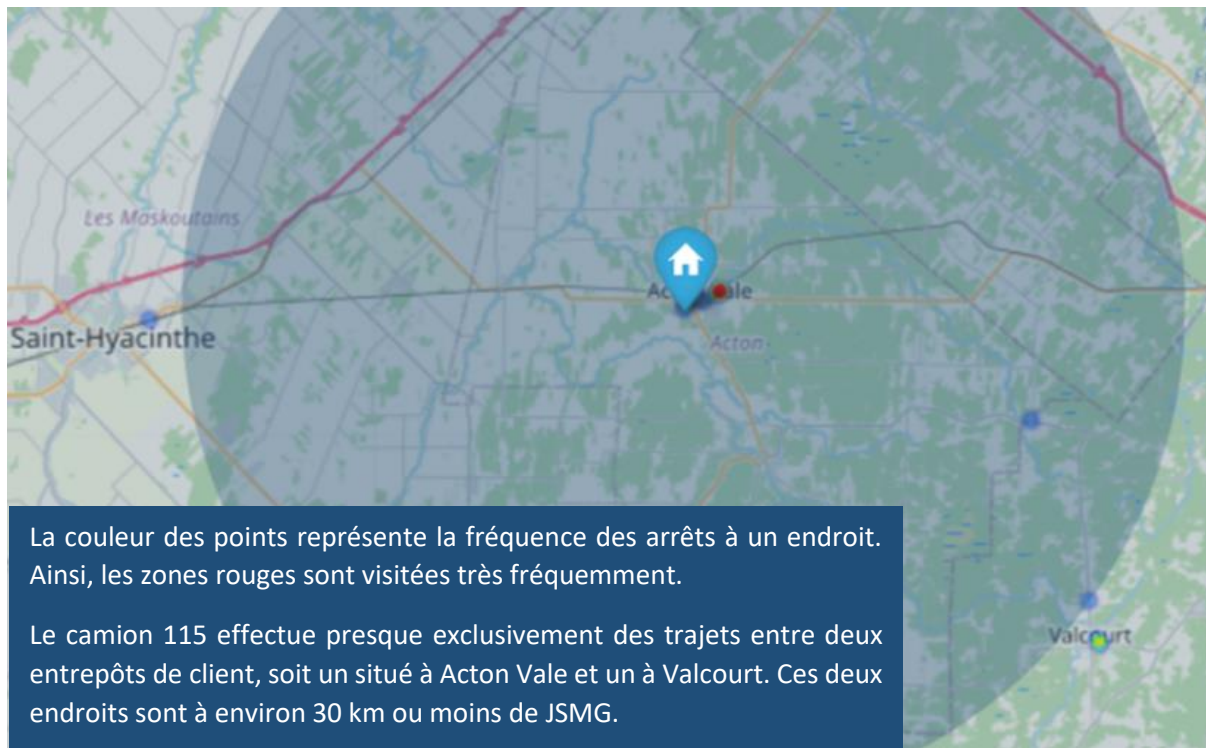


Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 115 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt d'Entreposage JSMG



Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 4,6 mètres pour chaque kilomètre parcouru. Cette valeur est considérée moyenne, mais elle s'approche de la zone élevée. La consommation du camion pourrait être un peu plus élevée qu'un camion opérant sur des distances et chargements similaires ailleurs au Québec.



Camion # 115

Freightliner Cascadia 2013 | 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 115

Le camion 115 a roulé en moyenne 250 km par jour, jusqu'à 325 km. En regardant le dégradé de couleurs du calendrier à droite, on comprend qu'il fait soit une route de 180 km, soit 250 km, ou sinon 325 km.

Étant donné la nature des opérations décrites précédemment et plus précisément le fait qu'il fasse exclusivement des aller-retours entre Acton Vale et Valcourt, on comprend que ces distances représentent un nombre de répétitions de sa route pendulaire. Cette route mesure environ 38 km, donc les distances observées seraient équivalentes au nombre d'aller-retours suivants :

- 180 km : 2 aller-retours
- 250 km : 3 aller-retours
- 325 km : 4 aller-retours

Puisque le camion s'arrête exclusivement à trois endroits, la recharge durant la journée pourrait être étudiée pour aider lorsque certaines journées seront trop longues pour un véhicule électrique selon le temps d'arrêt.

Les journées surlignées en gris foncé sont celles où les données de chargements n'ont pas été récoltées.

Max	334	km
90%	325	km
Med	251	km
Moy	248	km
σ	51	km
CV	20%	



	D	L	M	M	J	V	S
-	-	-	182	251	254	325	-
-	248	253	248	334	250	-	-
-	174	176	249	190	251	-	-
-	250	251	251	180	254	-	-
mai	-	254	254	327	181	325	-
-	323	176	252	253	255	-	-
-	-	252	251	251	325	-	-
-	248	250	250	252	325	-	-
juin	-	331	170	248	249	-	-
-	253	252	182	252	-	-	-
-	330	250	252	253	-	-	-

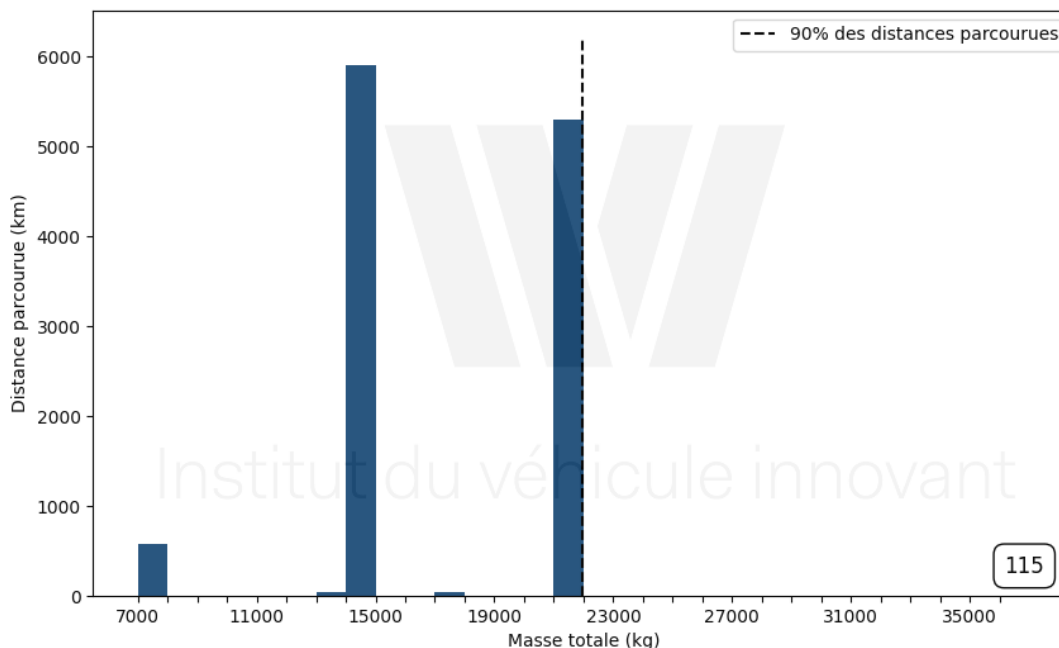


Camion # 115

Freightliner Cascadia 2013 | Tracteur classe 8– PNB 36 364 kg

L'énergie requise pour les accélérations et montées varie fortement avec la masse totale du véhicule, 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 15: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 115



Le véhicule a principalement deux modes de chargement : soit chargé, soit vide. La bande autour de 15 000 kg du Graphique 14 représente le camion à vide tandis que la bande à 21 000 kg représente le camion chargé. La petite bande à 7000 kg indique que le camion a effectué quelques déplacements sans remorque (*bobtail*), entre JSMG et son point de départ.

La masse totale ne sera pas un enjeu pour le camion 115 lors de l'électrification puisque celui-ci n'est jamais chargé près du Poids Nominal Brut (PNB) autorisé, situé à 36 364 kg.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 115 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	Élevé	-
Constance	Constant	+
Dénivelé	Moyen	+/-
Recharge en journée	Possible (chez un client)	+
Chargement	Léger	+
Accessoires	Aucun	+

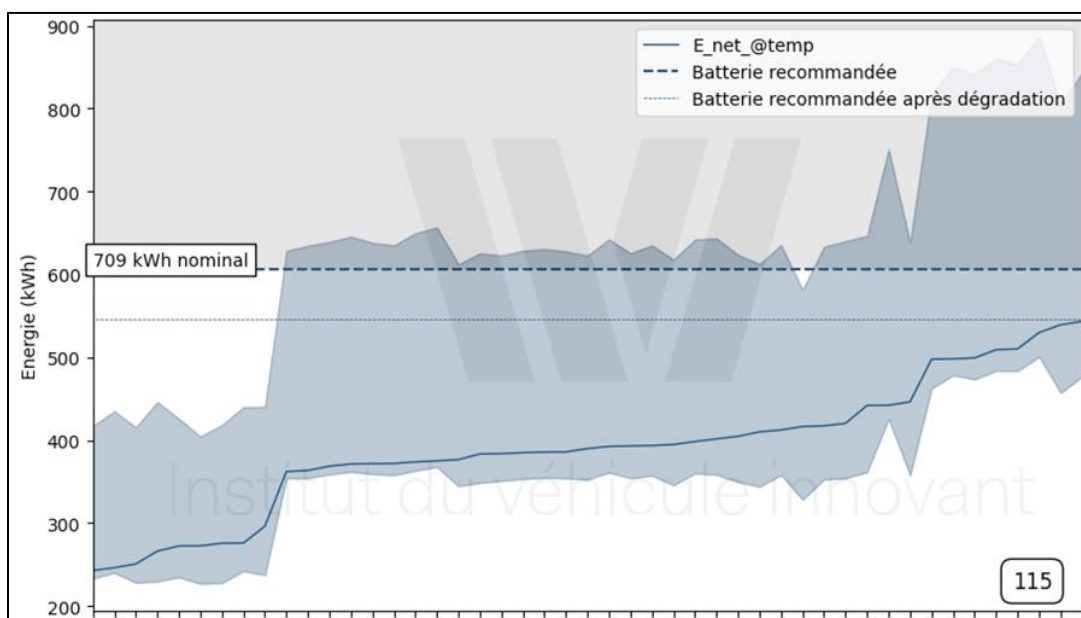


12. Scénario d'électrification pour le camion 115

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 16 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 16: Journées de mesure du camion 115, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



Guide d'interprétation du Graphique 16:

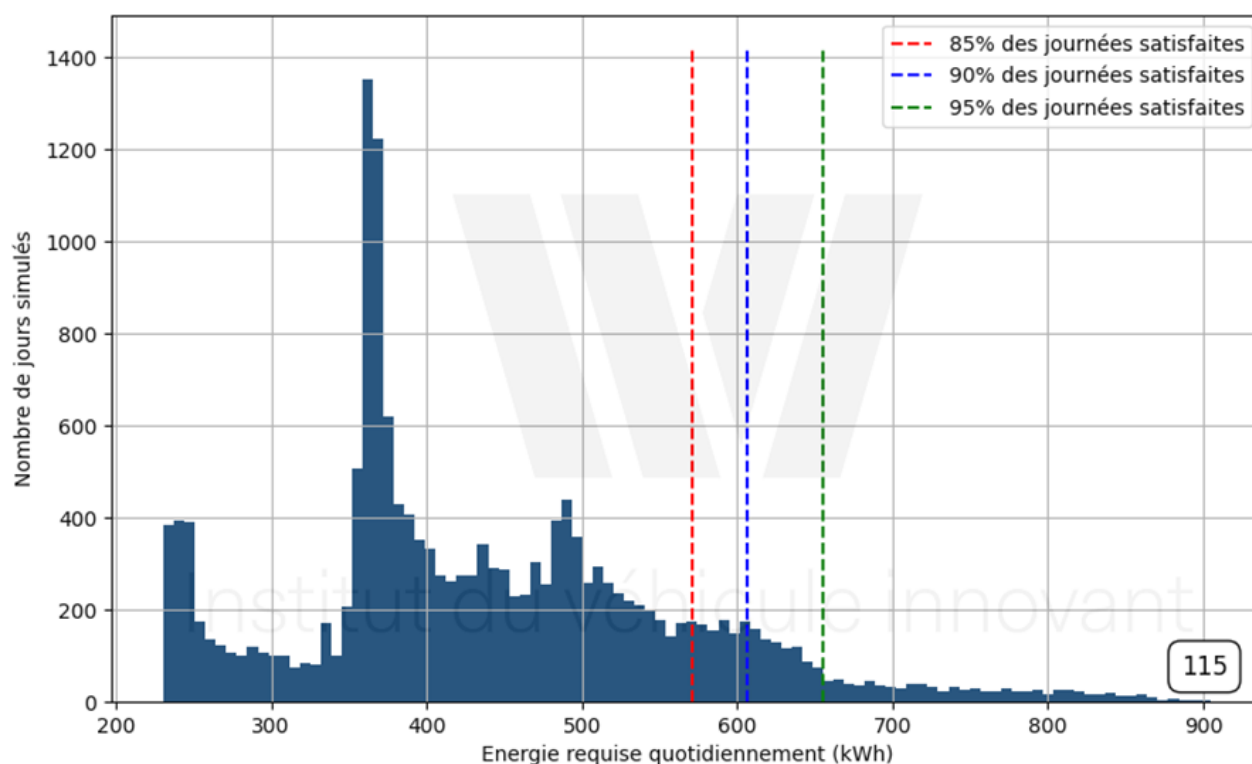
- La courbe bleue du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire bleue montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20°C) ou très froid. La valeur plus 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 709 kWh disposerait de 606 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 115 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 Graphique 17 représente les tailles de batteries recommandées pour accomplir 85%, 90% ou 95% des journées d'une année, sans que le camion électrique n'ait recours à la recharge en cours de journée. Pour obtenir ce graphique, l'IVI a considéré que toutes les journées de l'année ont des chances égales de se faire attribuer les routes de l'une ou l'autre des journées valides de l'échantillon récolté. L'IVI a développé une méthode pour propager sur une année les données récoltées en trois mois. Cette méthode est expliquée en détail au-dessus du Graphique 6.

Graphique 17 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 115



Une batterie de 709 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 667 et de 766 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 classes 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.



Camion # 115

Freightliner Cascadia 2013 | Tracteur classe 8– PNB 36 364 kg

Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 33

Capacité de la batterie embarquée	709 kWh
Batterie disponible sur le marché actuel ?	Non

La capacité nominale de la batterie embarquée est légèrement au-dessus de la capacité maximale disponible en ce moment sur le marché. Pour cette raison, essayer de compléter toutes les journées de 2, 3 et 4 aller-retours sans aucune recharge durant la journée serait difficilement envisageable en date de l'écriture de ce rapport. Toutefois, l'ajout d'une recharge en journée selon les temps d'arrêt permettrait de rendre ce scénario d'électrification réalisable. La section suivante explique ce scénario.

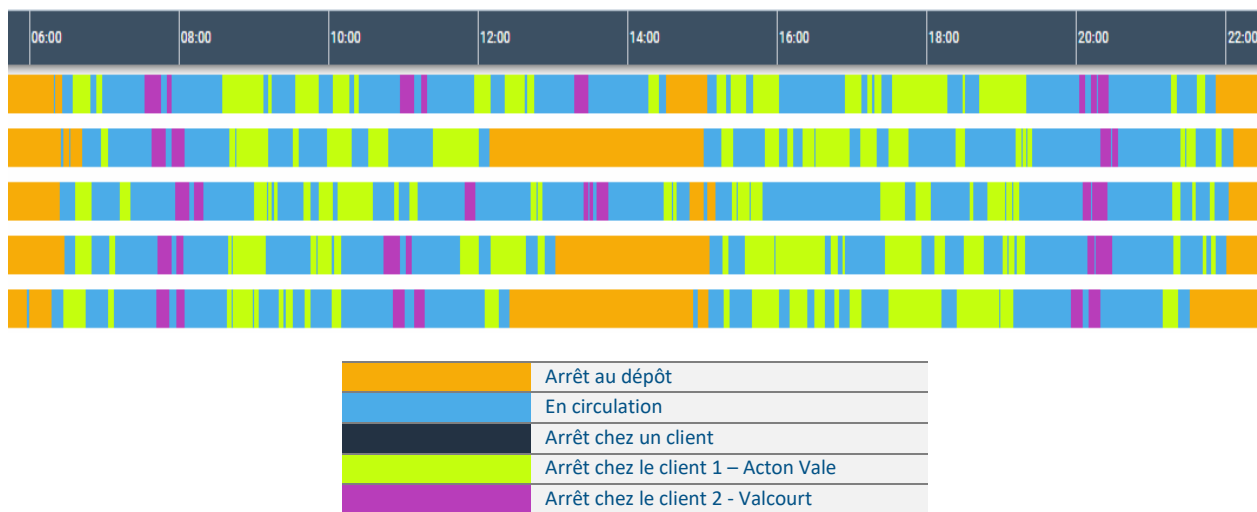


Scénario d’électrification avec recharge en journée

L’analyse précédente démontre qu’il serait difficile d’intégrer un camion électrique actuellement sans le recharger au courant de la journée. Une analyse plus approfondie de l’opération particulière de ce véhicule pourrait permettre de trouver un ajustement minime permettant de trouver un compromis intéressant.

Le Graphique 18 permet de visualiser les arrêts lors d’une semaine typique du camion 115. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, de bas en haut. L’échelle en haut du graphique représente l’heure de la journée. Les nuits ont été coupées, car il n’y avait aucun déplacement. La semaine représentée est celle du 8 au 12 mai 2023.

Graphique 18 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 115



Le camion 115 effectue une route entre l’entrepôt ou usine de deux clients. Il effectue 1, 2 ou 3 aller-retours en avant-midi. Lorsqu’il en fait un seul, il complète le matin en déplaçant des remorques chez le client à Acton Vale. Lorsqu’il en fait un ou deux, il s’arrête autour de midi au dépôt de JSMG pour au moins 2 heures. À 15 heures il déplace des remorques à Acton Vale, puis il repart à 19h pour un dernier aller-retour à Valcourt.

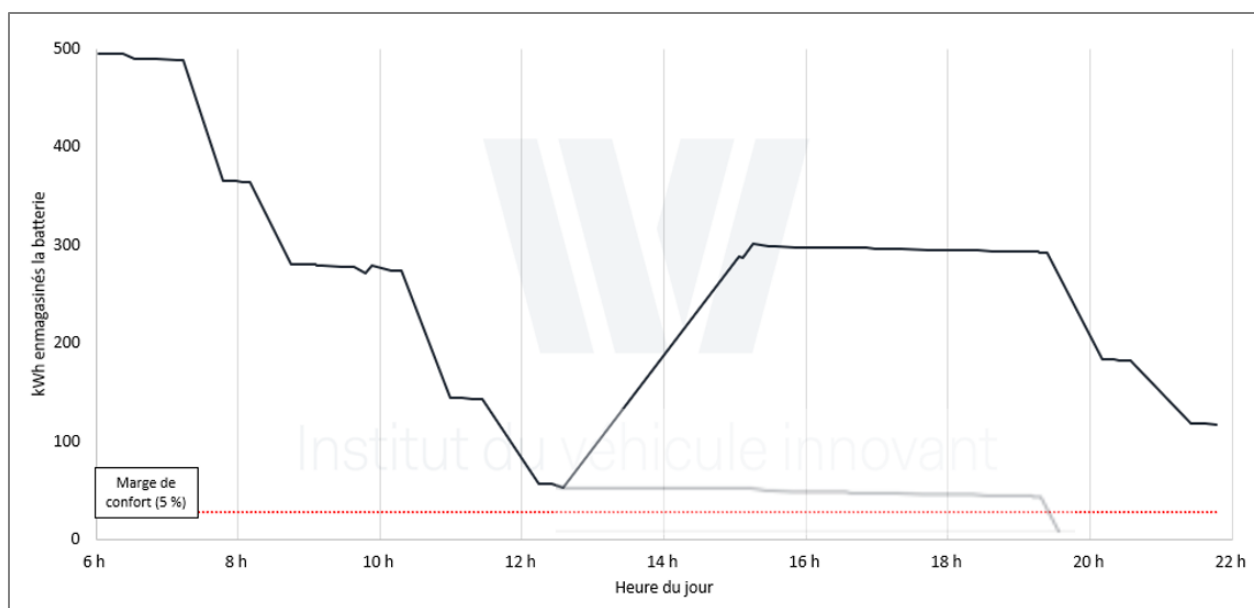
Le camion revient à l’entrepôt de JSMG vers 22 h puis, il repart vers 6 h ce qui lui laisse 8 h pour la recharge durant la nuit chez JSMG.

Le camion 115 effectue des aller-retours entre son client à Valcourt et le fournisseur de ce dernier à Acton Vale. Un aller-retour requiert 120 kWh en été, donc environ jusqu’à 180 kWh par temps très froid. Il effectue 2, 3 ou 4 aller-retours par jour. Le reste du temps, il déplace des remorques dans la cour du fournisseur à Acton Vale.



Les journées de 2 ou 3 aller-retours avec arrêt au terminal de JSMG en début d’après-midi représentent 80 % des journées de prise de mesure. Rentabiliser cette pause en rechargeant permettrait de réduire la batterie requise pour remplir ces besoins. En effet, puisque le camion effectue un maximum de 2 aller-retours le matin dans ce scénario, il utiliserait un maximum de 360 kWh par temps froid avant de revenir charger. Il remettrait ensuite assez d’énergie dans la batterie pour repartir et terminer sa dernière livraison de début de soirée. Le graphique suivant illustre la différence entre une journée de 3 aller-retours avec et sans recharge en milieu de journée. Celui-ci montre les déplacements effectués le 8 mai 2023, mais estime l’énergie qui aurait été requise s’il faisait -20°C. La borne de recharge utilisée pour cette simulation est d’une puissance de 100 kW.





Graphique 19 : Effet de la recharge en journée pour le camion 115





Puisque les deux scénarios d’opération mentionnés précédemment représentent 80 % des journées observées, il en manque très peu pour répondre au critère mentionné dans la méthodologie qui est de compléter 90 % des opérations sur l’année. Les journées à 4 aller-retours peuvent être complétées en été, et avec un court arrêt tel qu’il fut souvent observé, cela serait probablement possible aussi lorsque les températures chutent un peu. Une adaptation des opérations permettrait de compléter ces journées également, tel que précisé au tableau ci-bas :

Tableau 14 : Stratégies d’opérations pour compléter les journées du camion 115

Mode d’opération	Fréquence	Possible ?	Stratégie d’adaptation
2 aller-retours	20 % des jours observés		Fonctionne tel quel
3 aller-retours	60 % des jours observés		Recharger lors de l’arrêt en début PM chez JSMG
4 aller-retours	20 % des jours observés		Été : Recharger lors de l’arrêt en début PM chez JSMG
			Hiver : 3 ^e livraison en début PM : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Déléguer à un camion diesel, OU ▪ Recharger en début PM et faire la 3^e livraison après 15h. Déléguer les déplacements de cour à un autre camion.

En résumé, il serait donc possible d’électrifier environ 90 % des opérations du camion 115 en chargeant la batterie lorsqu’il revient au dépôt de JSMG en après-midi. Les spécifications de la batterie et de l’infrastructure de recharge requises pour compléter ces opérations sont détaillées ci-après.

Dans le cas du camion 115, la puissance de recharge requise est plutôt dictée par la recharge en journée que durant la nuit. En effet, une puissance de 100 kW est nécessaire pour ajouter suffisamment d’énergie pour refaire un aller-retour en soirée jusqu’à Valcourt en hiver.

Les paramètres retenus pour un scénario d’électrification du camion 115 seraient donc les suivants :

Tableau 15: Paramètres d’électrification retenus pour le camion 115

Capacité de la batterie embarquée	550 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 100 kW
90 % des opérations remplies ?	Oui



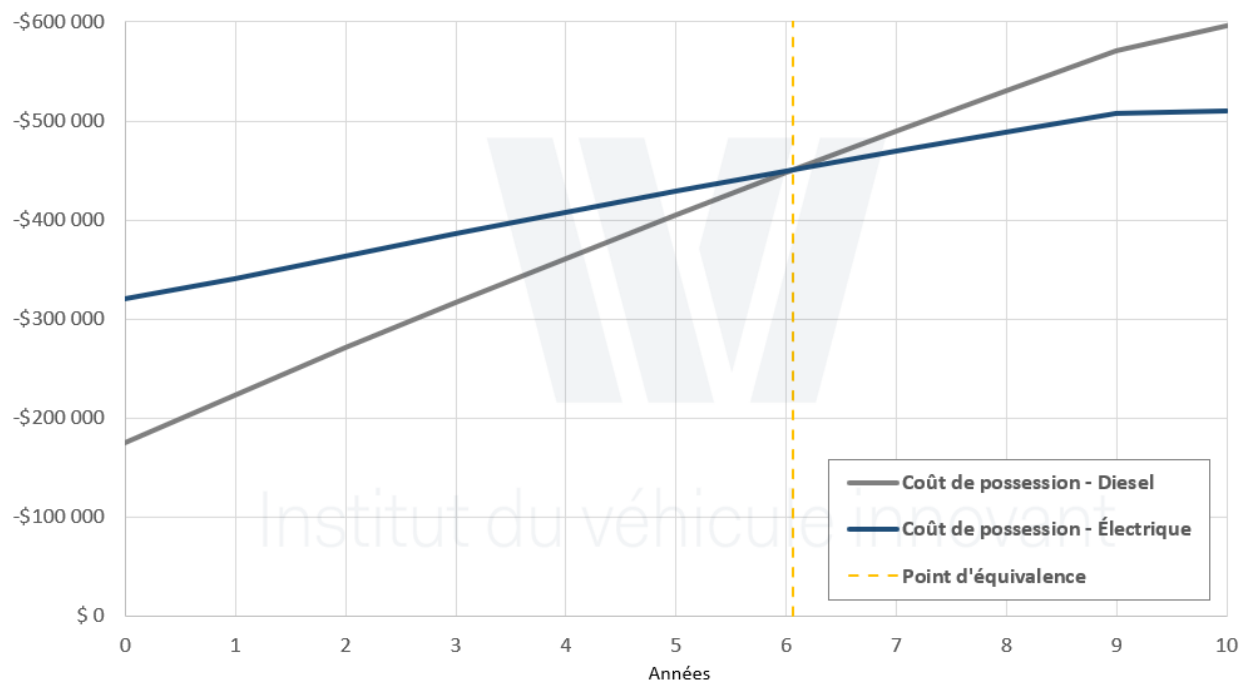
Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au tableau suivant. Transport JSMG conserve généralement ses camions 10 ans ou plus. Les bénéfices potentiels ont donc été considérés sur cette période.

Tableau 16: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 115

Coût annuel de carburant avant électrification	39 462 \$
Coût annuel d'électricité	13 997 \$
Économie annuelle de coûts d'énergie	25 465 \$
Surcoût total à l'achat (après subventions)	145 000 \$
Période de retour sur investissement	6,1 années
Bénéfice net après 10 ans	114 963 \$

Sur une période de 10 ans, le camion électrique aurait un coût de possession total de 509 841 \$, tandis que le camion diesel aurait un coût de 595 837 \$. La différence représente une économie potentielle de 14 %. 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 0,16 \$/kWh.

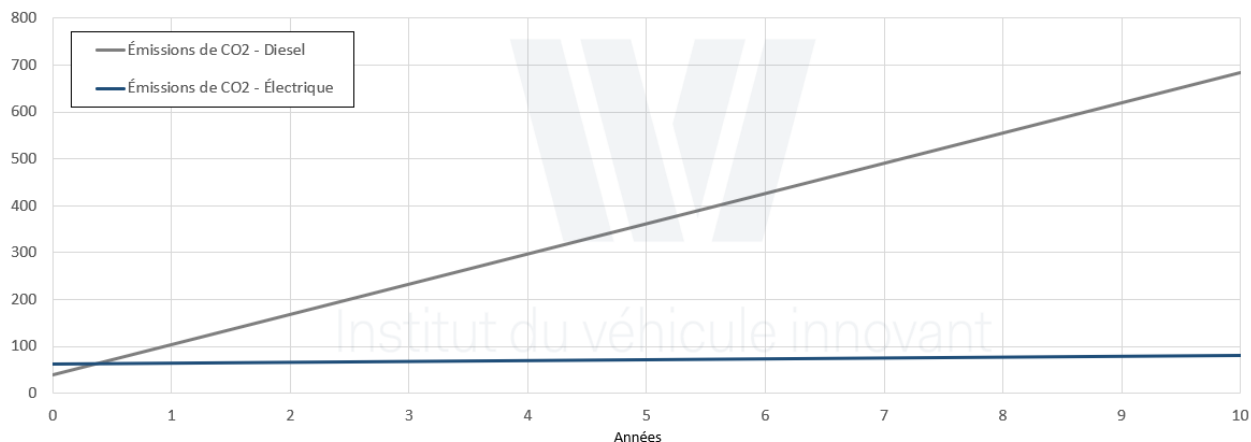
Graphique 20 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 115





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 603 tonnes de CO2 équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES serait atteint après seulement 18 369 km. Ces valeurs proviennent 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 21: Émission sur la vie du camion 115, Diesel vs. Électrique



L'IVI recommande l'électrification de la route parcourue par le camion 115. Les bénéfices financiers et environnementaux sont intéressants. **La très grande majorité de ses déplacements sont électrifiables, tant que le camion est rechargé durant le jour lors de ses arrêts au dépôt de Transport JSMG.**

Les seules adaptations qui pourraient être requises aux opérations seraient d'ajouter une période de recharge en milieu de journée pour les journées plus intenses en hiver. Ceci viendrait aux dépens des opérations de déplacement de remorques chez le client de Acton Vale. Ces opérations devraient être complétées par un autre camion.

Cette stratégie est toutefois optionnelle, car elle permettrait de compléter 100 % des journées. Même sans elle, 90 % des opérations peuvent être électrifiées.

13. Conclusions et recommandations

L'analyse des trois camions diesel instrumentés chez Transport et Entrepôt JSMG 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 17: Recommandation d'électrification des camions de Transport JSMG

Véhicule		Camion 33	Camion 113	Camion 115
Potentiel d'électrification (/10)		4	8	8
Recommandation d'électrification de l'IVI		Non	Oui	Oui
Capacité totale de la batterie nécessaire pour effectuer un certain pourcentage des déplacements annuels	85 %	1437 kWh	346 kWh	-
	90 %	1545 kWh	385 kWh	550 kWh
	95 %	1693 kWh	438 kWh	-
Puissance de la borne de recharge afin d'effectuer 90 % des déplacements annuels		120 kW	50 kW	100 kW

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

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

Les déplacements observés pour le camion 33 nécessitent une capacité de batterie qui n'est pas offerte présentement sur le marché. Il faudrait donc attendre l'arrivée de l'offre de plus grandes batteries, ou de bornes de recharge publiques près des clients fréquemment visités. La route qui était prévue pour ce camion, une route pendulaire de 48 km peu chargée, n'a pu être mise en service durant l'analyse à cause de délais inattendus par le participant ou son client. Elle aurait cependant eu un beau potentiel d'électrification.

Le camion 113 serait très facile à électrifier avec une petite batterie et une borne de faible puissance, mais la distance parcourue limitée diminue les bénéfices financiers possibles. Une évaluation plus précise du prix d'achat des équipements et des tarifs électriques s'impose. Conserver le camion plus longtemps que 10 ans, ce qui est parfois le cas chez JSMG, augmenterait de façon importante les bénéfices.

Le camion 115 présente un beau potentiel de rentabilité, et ses déplacements sont très réguliers, ce qui facilite l'analyse des possibilités de recharge. Les seuls points négatifs à son électrification sont le fait qu'il requiert une batterie assez grosse, ce qui limite les choix de camions actuels, et qu'une petite adaptation des opérations pourrait être requise. En contrepartie, ce changement pourrait permettre d'électrifier l'entièreté de ses déplacements.

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

Les trois camions instrumentés lors de ce test sont arrêtés longtemps la nuit, ce qui leur permettrait d'utiliser des bornes de recharge peu puissantes, et donc moins coûteuses. Cependant dans son analyse, l'IVI a considéré chaque minute passée au dépôt de Transport JSMG comme étant propice à la recharge, alors que ceci pourrait être moindre si le chargement de la cargaison prend beaucoup de temps, par exemple.

Le présent rapport fait l'état des possibilités d'électrification pour trois camions de la flotte de Transport et Entrepôt Frigorifique JSMG. Ces véhicules ont été choisis sur le volet par l'IVI et le participant pour répondre aux questionnements des gestionnaires de flotte et car ils exécutent des déplacements limités, généralement considérés comme étant propices à l'électrification. Il ne faut donc pas utiliser ces résultats comme généralisation quant au potentiel d'électrification de l'entièreté du parc de Transport JSMG, 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://archive-api.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 :

GEOTAB.