



Flotte rechargeable Camions lourds

Rapport d'essai d'un camion lourd électrique en conditions réelles Les Brasseries Sleeman – Kenworth T680e



Par : Philippe Louisseize, Ing.
Révisé par : Charles Trudel, Ing.
Date : 3 juin 2024



Institut du véhicule innovant

1. Table des matières

1.	Faits Saillants	6
2.	Contexte et Méthodologie	7
3.	Présentation de l'entreprise.....	8
4.	Résumé du rapport d'analyse des opérations en camion au diesel pour les Brasseries Sleeman	9
5.	Véhicule électrique et borne de recharge mis à l'essai.....	11
5.1.	Camion électrique	11
5.2.	Borne de recharge	12
6.	Analyse des données de l'essai	13
6.1.	Contexte	14
6.2.	Distance	15
6.3.	Vitesse	17
6.4.	Masse du camion en opération (chargement).....	18
6.5.	Dénivelé.....	20
6.6.	Température.....	20
6.7.	Résultats – Besoin énergétique quotidien	23
6.8.	Scénarios d'utilisation atypiques.....	26
	4 avril – tempête de neige :.....	26
	10 avril – journée plus longue avec recharge :.....	27
	Rotation des conducteurs, types de clients, routes ou remorques :	28
7.	Analyse de scénarios et consommation.....	28
	Fonctionnement au ralenti.....	28
8.	Analyse des données qualitatives	29
9.	Raffinement des modèles financiers.....	31
10.	Conclusions.....	33
11.	Sources des données.....	34
12.	Informations et contact.....	35
13.	Remerciements	36

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principales spécifications du T680e, en lien avec l'électrification.....	11
Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation du véhicule électrique	14
Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion électrique	16
Tableau 4 : Effet de l'ajout de bornes de recharge sur la rentabilité au tarif d'électricité actuel	32
Tableau 5 : Bénéfices financiers de l'électrification du camion électrique.....	32

Liste des figures

Figure 1 : Camion # 183215 des Brasseries Sleeman	10
Figure 2 : Camion utilisé durant la période d'essai	11
Figure 3 : Borne de recharge ABB Terra 54 HV installée temporairement chez Les Brasseries Sleeman...	12
Figure 4 : Facteurs d'influence sur la consommation d'un camion lourd électrique	13
Figure 5 : Fréquence et emplacements des arrêts du camion électrique dans un rayon de 25 km de l'entrepôt de Sleeman.....	14
Figure 6 : Un des conducteurs du camion électrique durant l'essai	29

Liste des graphiques

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens du camion électrique et des camions diesel.....	15
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Camion électrique	17
Graphique 3 : Proportion de la distance parcourue selon la masse totale du camion électrique.....	18
Graphique 4 : Chargements observés durant les phases 2 et 3.....	19
Graphique 5 : Consommation électrique mesurée du camion électrique selon la masse	19
Graphique 6 : Plage de températures lors de l'essai.....	20
Graphique 7 : Fluctuation saisonnière du besoin énergétique quotidien des routes parcourues en camion électrique	21
Graphique 8 : Autonomie réelle disponible selon la température extérieure.....	22
Graphique 9 : Besoins énergétiques quotidiens du camion électrique durant l'essai.....	23
Graphique 10 : Plages d'utilisation de la batterie et kilométrage quotidien	24
Graphique 11 : Moments de déplacements, de recharge et arrêts typiques du camion 183215 électrique	25
Graphique 12 : Réponses au compte-rendu quotidien du conducteur du camion électrique en essai	29
Graphique 13 : Répartition des frais de puissance et énergie sur une facture annuelle pour le camion électrique	31



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

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 dans 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 les entreprises ciblées, en plus de coordonner des périodes d'essais de modèles de camions lourds électriques en conditions réelles 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

Voici les faits saillants de l'essai chez Les Brasseries Sleeman, au cours duquel un camion diesel fut remplacé par un tracteur électrique Kenworth T680e pour parcourir les routes observées en phase 2 :

- Le véhicule a effectué des routes similaires aux trois camions diesel analysés en phase 2 pour collecter le plus d'information possible
- Suivant une analyse des déplacements de camions au diesel durant trois mois, l'essai d'un camion a eu lieu du 25 mars au 19 avril 2024, soit sur une période de 4 semaines.
- Le camion électrique a démontré pouvoir **répondre aux besoins pour compléter les routes de livraisons de Sleeman sur la rive-nord de Montréal**. Ceci est vérifiable par les indicateurs suivants :
 - Le véhicule a **utilisé jusqu'à 300 kWh** d'énergie par jour en conditions printanières sur une capacité utilisable totale de 330 kWh.
 - **La borne de 50 kW s'est montrée suffisante pour opérer sur un quart de travail**, rechargeant le camion en 4h par soir alors que le camion était arrêté au dépôt 15h quotidiennement.
- Le camion a consommé 7 kWh d'énergie en marche au ralenti quotidiennement. Cela représente **2 % de batterie utilisée pour 0,7 h de ralenti par jour, en moyenne**.
- Le remplacement d'un camion au diesel opéré par Sleeman par un véhicule électrique permettrait **d'éviter l'émission de 270 tonnes de CO₂ équivalent**, en 6 ans.
- L'électrification d'une route de Sleeman amènerait **des économies en carburant de 15 445 \$ par année, soit 66 %**. Le seuil de rentabilité serait atteint après 4,2 ans, alors que les camions Sleeman sont généralement en service pendant 6 ans.
- **Une importante tempête de neige peut faire chuter l'autonomie de 40 %**, tel qu'observé le 4 avril 2024 alors que 30 cm de neige et de forts vents se sont abattus sur la région montréalaise.
- **4 jours sont suffisants pour se familiariser à l'opération d'un camion électrique**. Les conducteurs ayant participé à cet essai ont affirmé que malgré le temps limité, ils sont déjà à l'aise et rassurés de la capacité du véhicule testé à effectuer les routes prévues.

2. Contexte et Méthodologie

Le présent rapport a pour but de présenter les conclusions techniques de la mise à l'essai d'un mois d'un camion électrique Kenworth T680e. Ce camion a été utilisé par la compagnie Les Brasseries Sleeman dans le cadre de la phase 3 du projet Flotte rechargeable – Camions lourds.

Le but de la mise à l'essai est de mesurer la viabilité du camion électrique dans les opérations réelles chez ce participant du projet. Le camion électrique essayé a donc opéré avec les chargements, les routes, arrêts et horaires habituels du camion diesel. Le présent rapport fait état des observations suite aux opérations en camion électrique pendant un mois et vise à apporter les réponses aux questions suivantes : Est-ce que les opérations doivent être adaptées pour mettre un camion électrique en circulation? Est-ce que l'autonomie est suffisante? Combien de temps de recharge est nécessaire?

Sleeman a été retenue parmi tous les participants de la phase 2 du projet (analyse de camions au diesel), pour les raisons suivantes :

- Les routes sélectionnées sont relativement courtes et stables et les vitesses sont peu élevées.
- Plusieurs routes observées en phase 2 semblent avoir un potentiel d'électrification
- Les routes visées présentent un potentiel de rentabilité et de bénéfices environnementaux associés à l'électrification.
- La borne 50 kW dont le projet dispose est amplement puissante pour tester cette application.
- Le besoin énergétique quotidien est inférieur à la capacité de batterie offerte par plusieurs camions actuellement disponibles sur le marché, dont le Kenworth T680e

En premier lieu, le camion lourd électrique a été instrumenté d'un dispositif de télématique de type GO9 de la compagnie Geotab, afin de récolter ses données de déplacements, de consommations, et une foule de renseignements en temps réel sur l'état du système électrique.

Le camion a été mis à l'essai sur les route des camions étudiés dans le rapport de la phase 2 du projet Flotte rechargeable – Camions lourds, pour Les Brasseries Sleeman. ¹

Ces camions ont été identifiés comme ayant un bon potentiel d'électrification sans adaptation des opérations, principalement grâce aux éléments suivants :

- Retour à la base chaque jour
- Disposent de toute une nuit pour recharger la batterie
- Ne sont pas chargés à leur limite de poids
- Ne demandent pas d'accessoires à électrifier
- La modélisation de l'IVI estime que les camions sur le marché actuellement disposent d'une batterie suffisante pour répondre à leur besoin énergétique.

¹ Rapport disponible au : flotterechargeable.ca/projet/phase-2

3. Présentation de l'entreprise



Sleeman Breweries est une brasserie dont les origines remontent à 1851 en Ontario. Aujourd'hui faisant partie de Sapporo Breweries Ltd, Sleeman est la troisième brasserie en importance au pays, avec des opérations à travers le territoire du Canada.

L'entreprise distribue et livre elle-même ses produits à partir de ses entrepôts. Au Québec, ses différents clients sont principalement des dépanneurs, des épiceries et des bars, en plus de ses propres entrepôts et usines. Tous ces clients ont des besoins et des réalités différentes en termes de livraisons, qui amènent l'entreprise à devoir adapter sa flotte et ses opérations.

Les Brasseries Sleeman comptent actuellement 5 centres de distributions à travers le Québec et plus de 56 camions. Les routes parcourues par ceux-ci peuvent changer toutes les 12 semaines tout dépendant des clients. Leurs camions font majoritairement de courtes routes d'environ 100 – 130 km. Les journées plus longues atteignent 250 - 350 km.

L'entreprise conserve actuellement ses camions 6 ans. Cette période correspond à la durée de la location des camions. La même durée de vie sera donc utilisée pour les scénarios d'électrification présentés dans ce rapport.

4. Résumé du rapport d'analyse des opérations en camion au diesel pour les Brasseries Sleeman

Les Brasseries Sleeman ont participé à la phase 2 (analyse de routes de camions conventionnels) du projet Flotte Rechargeable – Camions Lourds. Trois de leurs camions ont été instrumentés d'appareils de télématique GO9 de Geotab entre le 6 février et le 4 mai 2023, soit les camions 223177, 183215 et 443448.

L'analyse et la modélisation que l'IVI a réalisé à l'aide des données de déplacements, d'arrêts, des chargements, des dénivelés et des vitesses a montré que les routes mesurées présentaient un fort potentiel d'électrification. Le rapport a pu mettre en lumière qu'un camion électrique doté d'une batterie d'une capacité d'environ 400 kWh, combiné à une borne de recharge rapide de 50 kW installée au dépôt principal permettraient d'opérer environ 90 % des journées de l'année de ces camions sans modifier les opérations.

Autrement dit, l'IVI estime que sans aucun changement aux opérations, en parcourant les mêmes trajets et en faisant les mêmes arrêts qu'en camion au diesel, Sleeman peut tout à fait opérer un camion électrique sur les routes analysées.

Puisqu'il était prévu que le camion électrique effectue plusieurs routes, il ne peut être considéré l'équivalent d'un seul des trois camions analysés précédemment. Pour certaines parties de l'analyse comparative, le véhicule électrique sera comparé à la somme ou à la moyenne des trois camions diesel.

Les estimations de bénéfices économiques et environnementaux exposées dans le rapport de phase 2 pour ce camion sont intéressantes, avec jusqu'à 90 000 \$ et 283 tonnes de CO₂eq épargnées sur la durée de vie en service d'un camion typique de Sleeman, soit 6 ans.


Néanmoins, ces conclusions demeurent théoriques et rien ne vaut un essai réel pour être convaincu de l'efficacité des camions électriques. Ainsi, Sleeman a été sélectionné parmi les différents participants de la phase 2 du projet pour recevoir un camion électrique et une borne de recharge prêtés pendant 1 mois.


Voici les principales observations en lien avec les routes de Sleeman, telles que décrites dans le rapport de phase 2 :





Figure 1 : Camion # 183215 des Brasseries Sleeman


Les camions analysés en phase 2 sont utilisés pour livrer des boissons à Montréal, Laval, sur la rive-nord et dans les environs. Ils sont basés à l'entrepôt de Sleeman sur le Boulevard Henri-Bourassa, dans l'est de Montréal, où ils passent la nuit lorsqu'ils ne sont pas utilisés.


- 


Les distances quotidiennes médianes sont d'environ 130 km par jour. Les journées plus longues dépassent rarement 250 kilomètres.
- 

Ils circulent à des vitesses peu élevées, car ils se déplacent surtout en ville. Ils circulent sur l'autoroute pour se rendre à leur zone de livraison.
- 

Un quart de travail commence habituellement à 5h et se termine vers 14h, laissant 15h pour recharger.
- 

Leur chargement est dégressif au courant de la journée, et il débute rarement à plus de 25 000 lbs.
- 

La consommation estimée en été : 155 kWh/100 km.
Besoin énergétique quotidien : environ 200 kWh en été, 400 kWh en hiver
- 

Les économies potentielles sur la durée de mise en service calculées par l'IVI : 90 000 \$ / 6 ans
- 

Les gains environnementaux sur la durée de mise en service :
283 t CO₂eq évités

5. Véhicule électrique et borne de recharge mis à l'essai

5.1. Camion électrique

Le camion lourd électrique ayant été mis à l'essai est un Kenworth T680e, prêté par le concessionnaire Groupe Kenworth Montréal et facilité par Kenworth du Canada, un partenaire du projet Flotte Rechargeable – Camions Lourds :



Figure 2 : Camion utilisé durant la période d'essai

Voici les spécifications les plus importantes du camion 100% électrique Kenworth T680e, en ce qui concerne sa mise en service en remplacement d'un camion au diesel :

Tableau 1 : Principales spécifications du T680e, en lien avec l'électrification

Autonomie nominale (listée par le manufacturier)	241 km (avec chargement)
Capacité des batteries	396 kWh au total
PNBV² au Canada	80 000 lbs (36 363 kg)
Configuration des essieux moteurs	6x4
Tension nominale du système de propulsion	400 V
Puissance de recharge	150 kW max.
Emplacement du port de recharge	Environ 3 m du devant du camion, à gauche

² Poids Nominal Brut du Véhicule

5.2. Borne de recharge

La borne utilisée pour la phase 3 du projet est de marque ABB, de modèle *Terra 54HV*. Cette borne offre une puissance maximale de 50 kW et équipée d'un câble de recharge de 20' (6 m). Cette puissance permet à la majorité des camions lourds de se recharger en entier en une nuit de recharge. Dans plusieurs cas, elle permet également un raccordement à l'entrée électrique existante de la bâtisse du participant, ce qui est facilitant pour la nature du projet, qui demande une installation temporaire.

Des bornes de recharge plus puissantes, bien que parfois nécessaires, impliquent des coûts d'acquisition plus élevés, exigent des installations souvent plus complexes et coûteuses, et engendrent des frais d'électricité plus élevés en raison de demandes de puissance plus importantes.

Ainsi, l'IVI est d'avis que la borne de 50 kW du projet est représentative d'une solution bien adaptée aux besoins de la majorité des participants du projet. Ces derniers opèrent de jour principalement et les camions sont stationnés la nuit.

Spécialement pour le projet Flotte Rechargeable, la borne de recharge et son transformateur ont été rendus mobiles par l'installation sur des palettes en acier galvanisés. Ainsi, l'équipement peut être transporté d'un essai à l'autre chez différents participants et mis en place à l'aide un chariot élévateur.



Figure 3 : Borne de recharge ABB Terra 54 HV installée temporairement chez Les Brasseries Sleeman

6. Analyse des données de l'essai

La section suivante présente les données d'opération en camion électrique récoltées durant le mois d'essai chez Sleeman. Plusieurs facteurs influencent la consommation d'un camion lourd électrique. Les principaux paramètres d'opération sont décrits dans les prochaines pages, suivis d'un résumé des consommations et plages d'utilisation de la batterie observés.

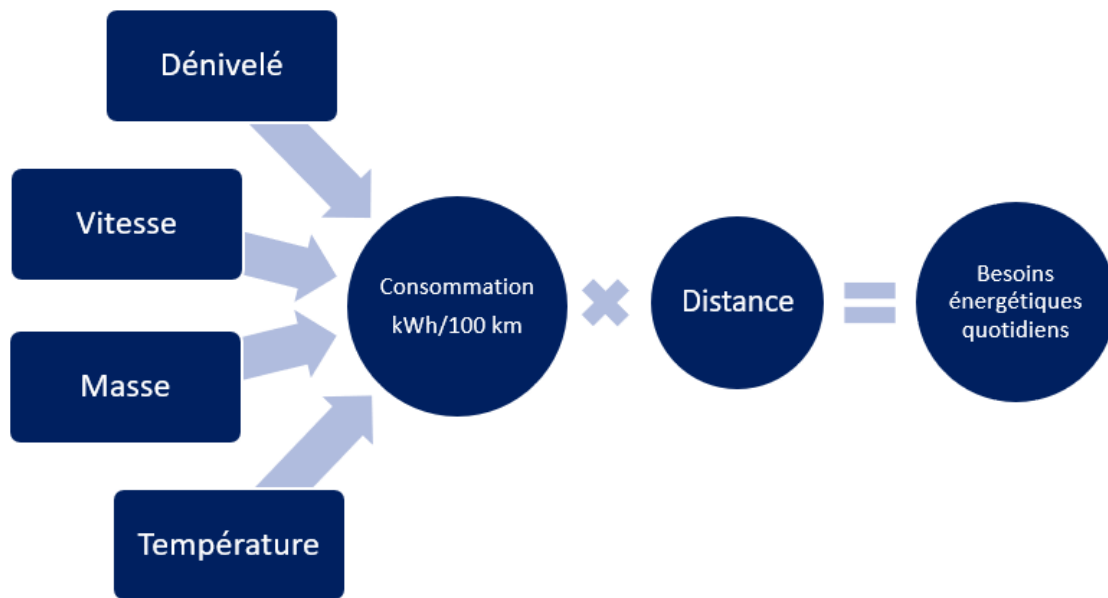


Figure 4 : Facteurs d'influence sur la consommation d'un camion lourd électrique

L'illustration ci-dessus montre les principaux facteurs affectant la consommation du véhicule.

Il est à noter que puisque l'essai chez Les Brasseries Sleeman s'est déroulé au début du printemps, les températures basses auront entraîné une hausse de la consommation du camion électrique, par rapport à la consommation optimale estimée pour l'été.



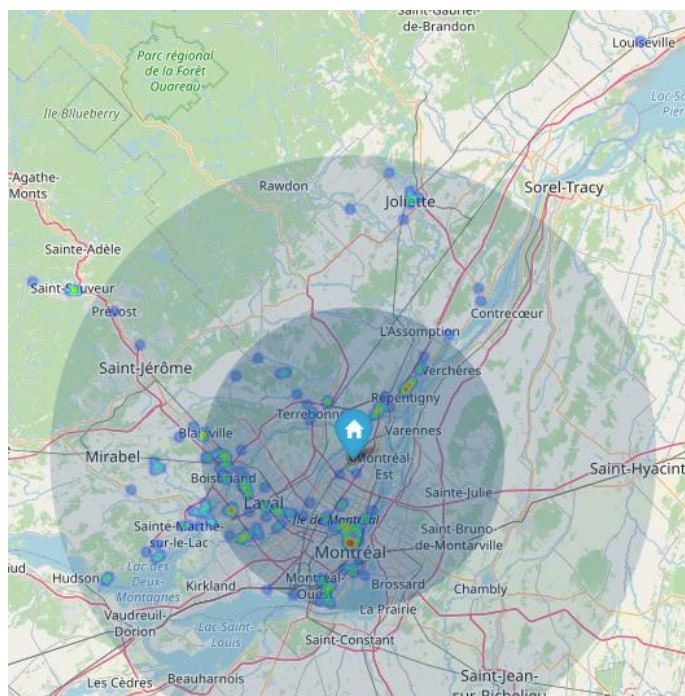
Essai d'un camion électrique – Les Brasseries Sleeman

Kenworth T680e | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg



6.1. Contexte

Tout d'abord, pour apporter un contexte géographique, la carte suivante permet de visualiser la localisation et la fréquence des arrêts :



La couleur des points représente la fréquence des arrêts à un endroit. Ainsi, les zones rouges ont été visitées très fréquemment par le camion électrique. Le cercle bleu foncé représente un rayon de 25 km, et le plus pâle un rayon de 50 km.

Les points visités sont très variés, puisque le camion électrique a effectué plusieurs routes à différents types de clients. Ces déplacements sont très semblables à ceux observés durant l'analyse des camions diesel.

Figure 5 : Fréquence et emplacements des arrêts du camion électrique dans un rayon de 25 km de l'entrepôt de Sleeman

Voici quelques données générales de l'utilisation du camion au cours de l'essai :

Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation du véhicule électrique

Distance parcourue	
Durant l'essai	1 949 km
Annuellement (estimée)	34 700 km
Énergie	
Consommé durant le test	3 430 kWh
Consommé annuellement (estimé)	56 561 kWh
Consommation moyenne	163 kWh/100 km
Ralenti	
Temps par jour en moyenne	0,7 h
Consommé au ralenti par jour	7 kWh
Consommé par année (estimé)	1 826 kWh
Opérations	
Vitesse moyenne en déplacement	35,8 km/h
Nombre de jours actifs durant l'analyse	18 jours
Masse totale moyenne pondérée	18 704 kg

En comparaison avec les données recueillies lors de la phase 2, le chargement moyen du camion était très semblable. Sa masse était plus élevée d'environ 2 000 kg, ce qui correspond au surpoids du camion électrique causé par la batterie.

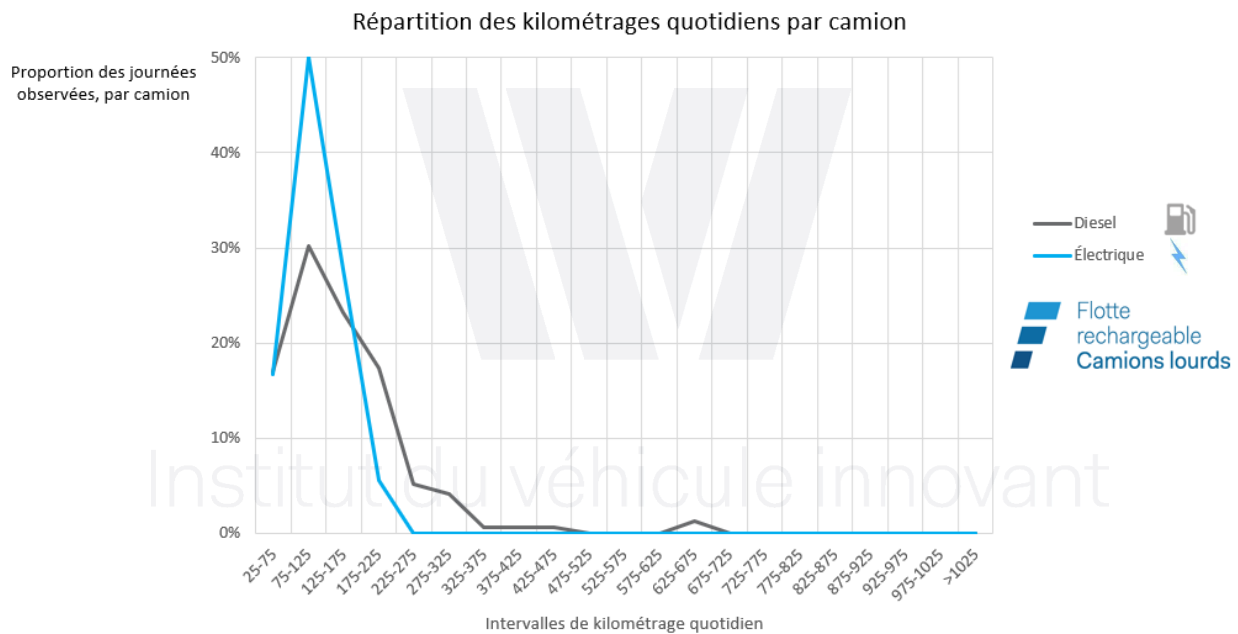
Durant la phase 3, la vitesse moyenne mesurée a été un peu moins élevée qu'à la phase précédente. Le temps de fonctionnement au ralenti, pour sa part, était identique.

Sa consommation moyenne fut près de l'estimation faite durant la phase d'analyse.

6.2. Distance

Le facteur le plus déterminant du besoin d'énergie quotidien d'un camion électrique est la distance parcourue. Le graphique suivant montre la distribution des distances quotidiennes parcourues avec le camion électrique. La courbe du camion diesel provenant du rapport de phase 2 a été ajoutée en guise de référence, en gris.

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens du camion électrique et des camions diesel



Le camion électrique a parcouru des distances très régulières durant la phase 3. Ces distances correspondent certes au mode observé avec les camions diesel, mais ces derniers avaient, à quelques occasions, parcouru de plus longues distances. Certaines journées plus longues n'ont pas été planifiées pour l'essai de phase 3, puisque le véhicule prêté était muni d'une batterie un peu plus petite que ce qui a été recommandé suite à la phase 2.

Les données de distance quotidienne sont présentées de façon plus détaillée ci-bas, sur un calendrier semblable à celui présenté dans le rapport de phase 2. À titre de rappel, les dates y sont remplacées par la distance parcourue en kilomètres, et la teinte de couleur de la case représente la valeur de ce chiffre par rapport aux autres journées.

Le graphique ci-bas permet de visualiser si des journées de semaine sont fréquemment plus longues que d'autres. Le tableau du haut montre les faits saillants, tels que la distance moyenne et celle au 90^e percentile :



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

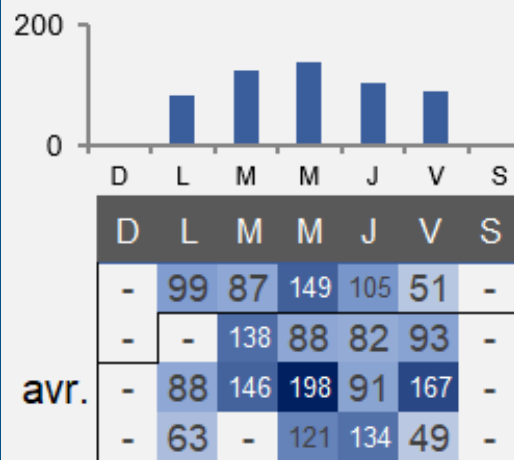
Le camion électrique a parcouru des distances assez constantes, ne dépassant jamais 198 km quotidiennement.

Ces déplacements sont un peu plus courts que ceux observés durant la phase 2. Alors que la journée médiane des trois camions diesel était de 129 km, celle observée pour le camion diesel a été de 96 km, soit 33 km de moins.

Bien que cette différence puisse paraître importante, **les routes parcourues sont tout de même représentatives d'un scénario d'électrification pour Sleeman. En effet, toutes ces routes sont complétées sans modification par un camion diesel, en dehors de la période d'essai.**

Les gestionnaires de Sleeman ont donc créé une route pour cet essai avec des livraisons existantes. Il revient donc à dire qu'à partir des trois camions testés en phase 2, il est possible de créer au moins une route électrifiée.

Max	198	km
90%	154	km
Med	96	km
Moy	108	km
σ	40	km
CV	37%	



Dans le but de mesurer les possibilités d'électrification pour le plus grand nombre de routes actuelles, Sleeman a varié celles-ci à chaque jour. Le camion était attiré à un type de client à chaque semaine (épiceries, dépanneurs, bars) et à chaque jour sa zone de livraison changeait. Par exemple, des livraisons ont été effectuées sur l'île de Montréal, à Laval, sur la rive-nord, puis en périphérie et ce, à chaque semaine.

Quelques journées de l'essai se démarquent par rapport aux autres, principalement à cause des distances parcourues.

Dès la première semaine, des livraisons ont été faites dans la région de Joliette. Le camion a parcouru 149 km sans difficulté lors de cette journée.

Le 10 avril, le camion a parcouru un total de 198 km pour effectuer une première livraison à Louiseville. Une recharge a été effectuée au retour, à Repentigny. Celle-ci n'aurait peut-être pas été nécessaire si le camion essayé avait été muni d'un affichage numérique du pourcentage de batterie restant et un estimateur d'autonomie restante, puisqu'il a utilisé au total 94 % de sa batterie. Alternativement, un véhicule muni d'une batterie de plus grande capacité aurait donné assez d'assurance au conducteur pour terminer sa journée sans recharge.

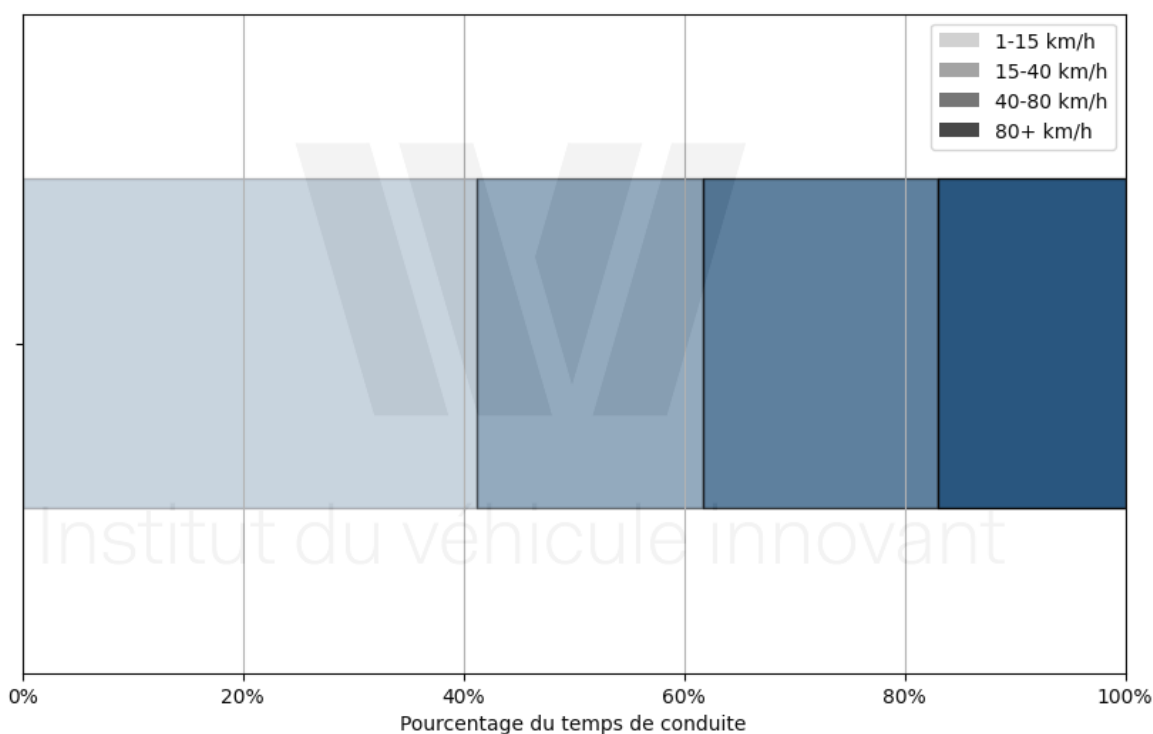


6.3. Vitesse

La vitesse du véhicule influence sa consommation, car en roulant plus vite, celui-ci doit vaincre la résistance accrue causée par le déplacement plus rapide dans l'air. Le graphique suivant apporte plus de précisions sur la répartition du temps en opération 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 – Camion électrique



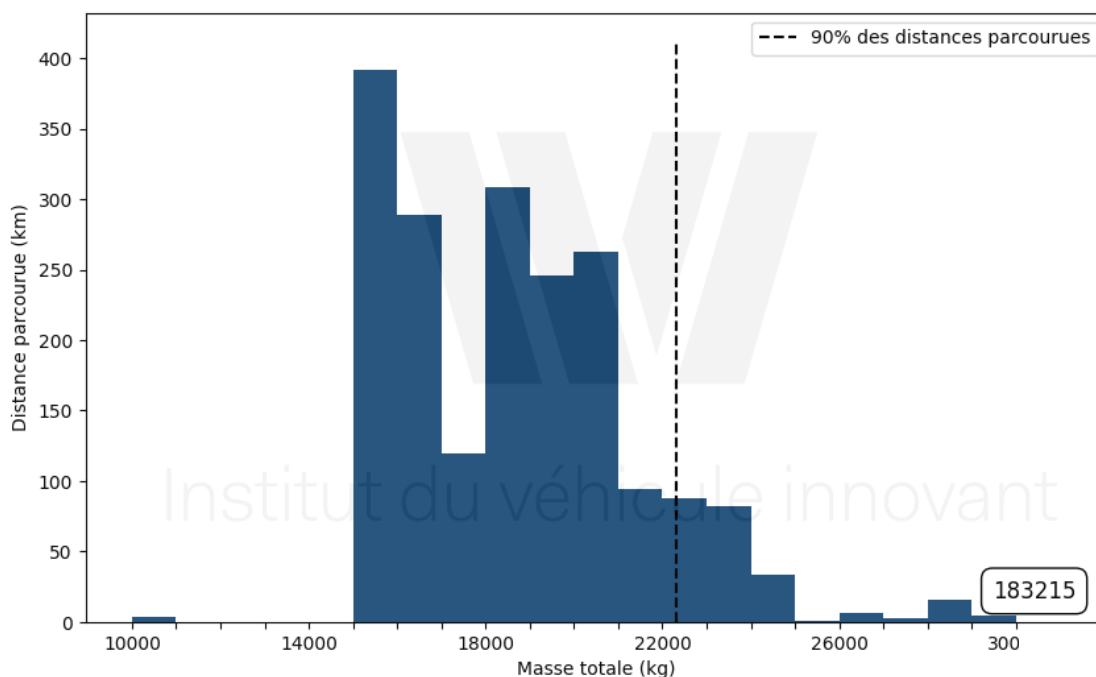
Le Graphique 2 montre la répartition de vitesses du camion électrique. **Celui-ci a circulé près de 20 % du temps à haute vitesse, et presque la moitié du temps à moins de 15 km/h. Il subira donc moins de perte d'énergie à vaincre la force du vent qu'un véhicule qui roule régulièrement à haute vitesse de croisière sur l'autoroute.** De plus, la conduite à basse vitesse est souvent caractérisée par des arrêts fréquents. Cela amène plus d'opportunités de récupérer l'énergie en utilisant le freinage régénératif, ce qui a pour effet de réduire la consommation du véhicule. Ces données sont très semblables à celles mesurées sur les camions diesel de Sleeman.



6.4. Masse du camion en opération (chargement)

L'énergie requise pour chaque accélération et chaque montée est directement proportionnelle à la masse totale du véhicule, incluant son chargement. Le poids de la cargaison du camion essayé a donc été noté pour chaque trajet, pour observer son effet réel sur la consommation. Le graphique suivant montre la distance parcourue pour chaque niveau de masse totale.

Graphique 3 : Proportion de la distance parcourue selon la masse totale du camion électrique



Similairement à la prise de données de la phase 2, le chargement était dégressif, c'est-à-dire que le camion quittait l'entrepôt plein et s'allégeait au fil des livraisons. La majorité de la distance de l'essai fut parcourue avec un poids total inférieur à 26 000 kg, 10 000 kg en-deçà de la limite autorisée pour un véhicule de cette classe. À noter que cette masse totale tient compte du surpoids causé par les batteries du tracteur électrique.

Une pesée du camion non-attelé (*bobtail*) a révélé une masse à vide de 10 370 kg, alors que les Freightliner Cascadia au diesel opérés par Sleeman pèsent environ 8 540 kg. Ainsi, le camion électrique est plus pesant d'environ 21 %, ou 1 830 kg.

La masse moyenne du camion, pondérée par kilomètre parcouru, est de 18 704 kg, ce qui correspond à une charge utile transportée (*payload*) d'environ 2 500 kg.

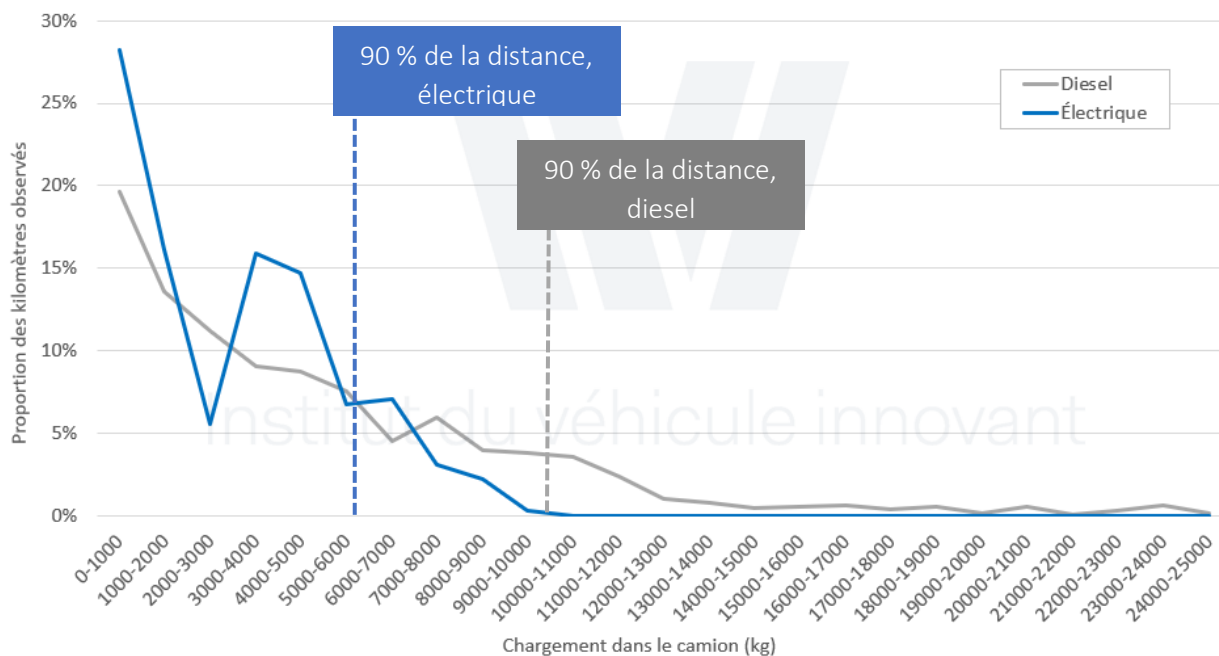
Le graphique ci-dessous permet d'observer que le chargement transporté durant l'essai électrique était moins élevé qu'à l'étape précédente. Cette diminution est principalement une question de demande saisonnière, moins élevée durant la phase 3. Le camion électrique n'ayant jamais été chargé à plus de 30 000 kg, il aurait été en mesure d'effectuer le même volume de livraisons qu'à la phase 2.



Essai d'un camion électrique – Les Brasseries Sleeman Kenworth T680e | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

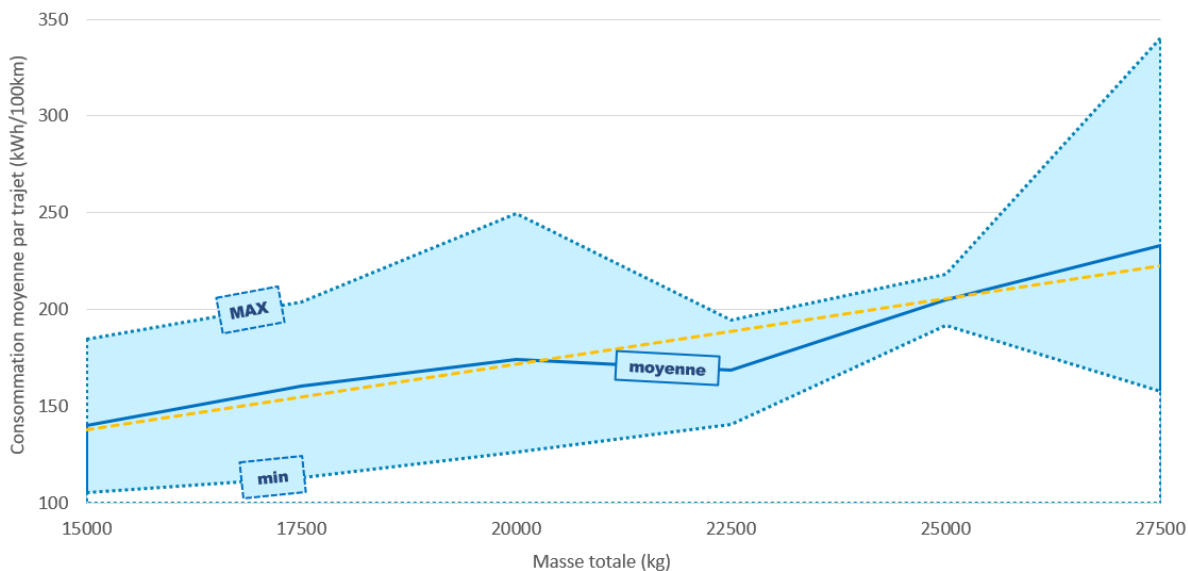


Graphique 4 : Chargements observés durant les phases 2 et 3



Les données recueillies durant l'essai ont permis d'estimer l'effet du poids du camion sur sa consommation :

Graphique 5 : Consommation électrique mesurée du camion électrique selon la masse



La consommation semble augmenter linéairement avec le chargement. La consommation moyenne à vide mesurée durant l'essai printanier était d'environ 145 kWh/100 km, et elle augmentait à plus de 200 kWh/100 km lorsque chargé à une masse totale de 27 500 – 30 000 kg. L'écart observé entre la moyenne et les extrémités est attribuable à la variation des autres paramètres présentés à la Figure 4.



6.5. Dénivelé

Dénivelé faible

2,9 m/km



Si la masse influence l'énergie requise pour monter une côte, le dénivelé total de cette dernière entre aussi en jeu. Pour cette raison, le dénivelé parcouru sur tous les trajets de l'essai a été relevé.

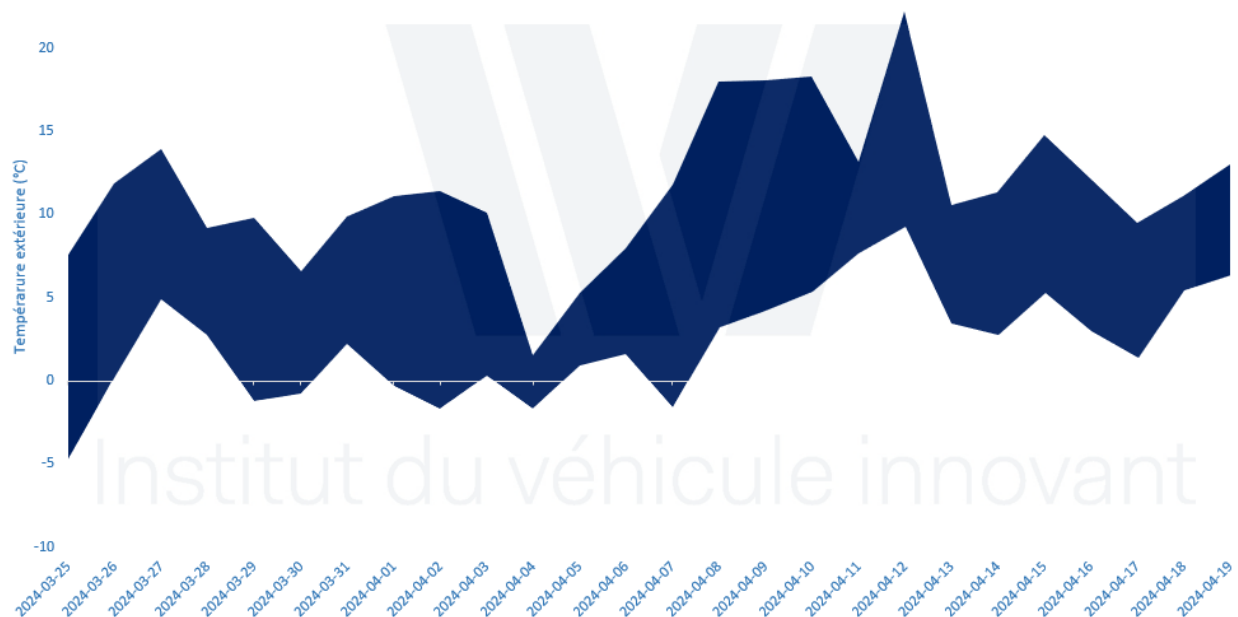
L'indice de côtes à gravir ci-contre indique que le camion a monté en moyenne un dénivelé positif de 2,9 mètres pour chaque kilomètre parcouru. Cette valeur n'est pas très élevée comparativement à d'autres routes observées chez d'autres participants du projet. **Il n'y a donc pas eu**

une importante énergie consacrée par le camion électrique à monter des côtes.

6.6. Température

Finalement, comme dernier facteur influençant la consommation, la température extérieure au cours de l'essai de 1 mois a été relevée. Le graphique suivant montre une bande de couleur entre la température minimale et maximale quotidienne enregistrée :

Graphique 6 : Plage de températures lors de l'essai



Les températures étaient entre -5°C et 22°C pour la majeure partie de l'essai. Les batteries lithium-ion automobiles sont pour la plupart conçues pour offrir des performances optimales aux alentours de 20°C. Au-dessus ou au-dessous de cette valeur, les systèmes de régulation thermique doivent se mettre en marche pour rapprocher la température interne des batteries le plus près possible de la cible de 20°C, ce qui consomme nécessairement de l'énergie. **De plus, aux températures observées, la régulation de la température de la cabine demande une énergie supplémentaire également.**



Essai d'un camion électrique – Les Brasseries Sleeman Kenworth T680e | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

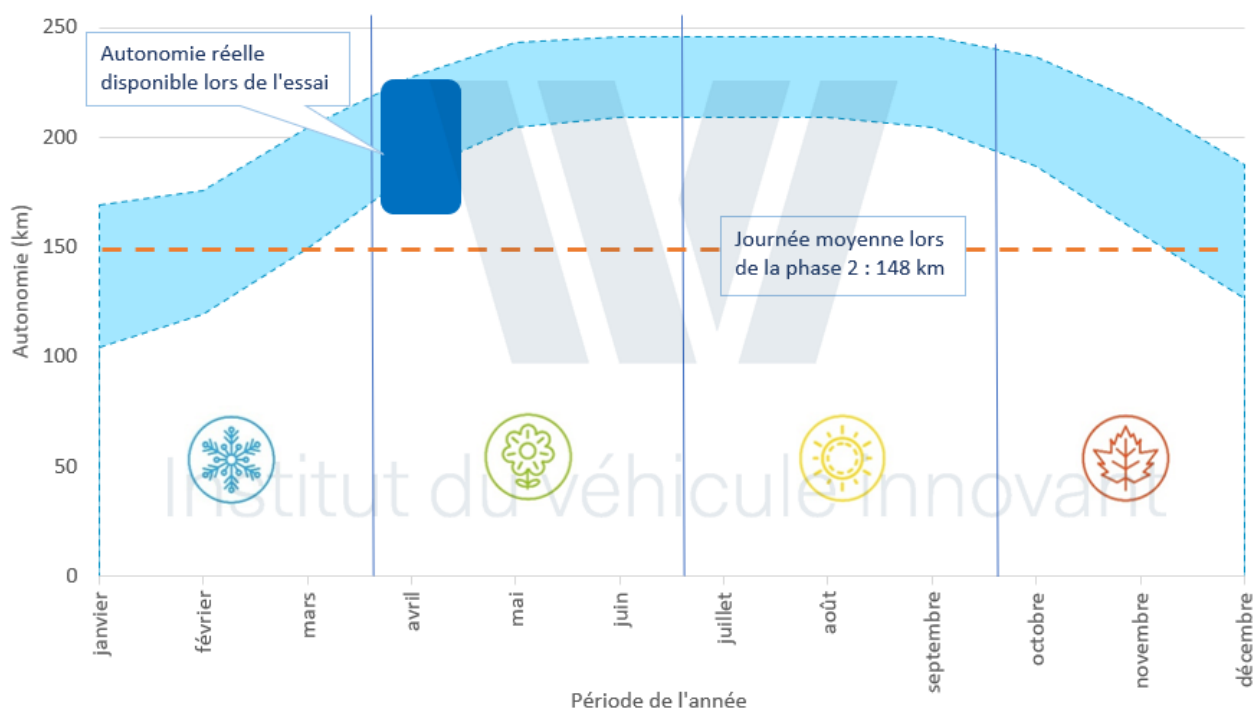


Le Graphique 7 représente une approximation de l'autonomie disponible quotidiennement selon la saison. Cette estimation est basée sur des informations recueillies par l'IVI à propos de plusieurs camions lourds électriques, mais aussi de véhicules légers électriques commerciaux. L'aire bleue représente la zone de possibilités, bordée par une estimation optimiste en bas et pessimiste en haut.

Bien que le camion soit arrivé à terminer les distances planifiées par les gestionnaires de Sleeman quotidiennement, la question persiste quant à l'autonomie réelle disponible durant l'hiver. Pour estimer ceci, la distance totale parcourue à chaque jour a été divisée par le pourcentage de batterie utilisé correspondant. Ce calcul représente la distance qu'il aurait été possible de parcourir pour décharger la batterie jusqu'à 0% si le camion avait continué de circuler au-delà des livraisons effectuées durant une journée, et si sa consommation était restée identique.

Le graphique ci-dessous permet donc de visualiser que l'énergie contenue dans la batterie serait suffisante pour combler la demande énergétique du camion électrique plusieurs mois par année. Durant l'été, l'entièreté des opérations mesurées en phase 2 pourront être complétées. En hiver, les journées au-delà de la moyenne de la phase 2 pourraient être plus problématiques, il faudra assigner des routes plus courtes pour ces journées ou faire l'acquisition d'un camion muni d'une batterie un peu plus grosse. Le rapport de phase 2 pour Sleeman suggérait une batterie d'environ 480 kWh pour compléter plus de routes en hiver.

Graphique 7 : Fluctuation saisonnière du besoin énergétique quotidien des routes parcourues en camion électrique



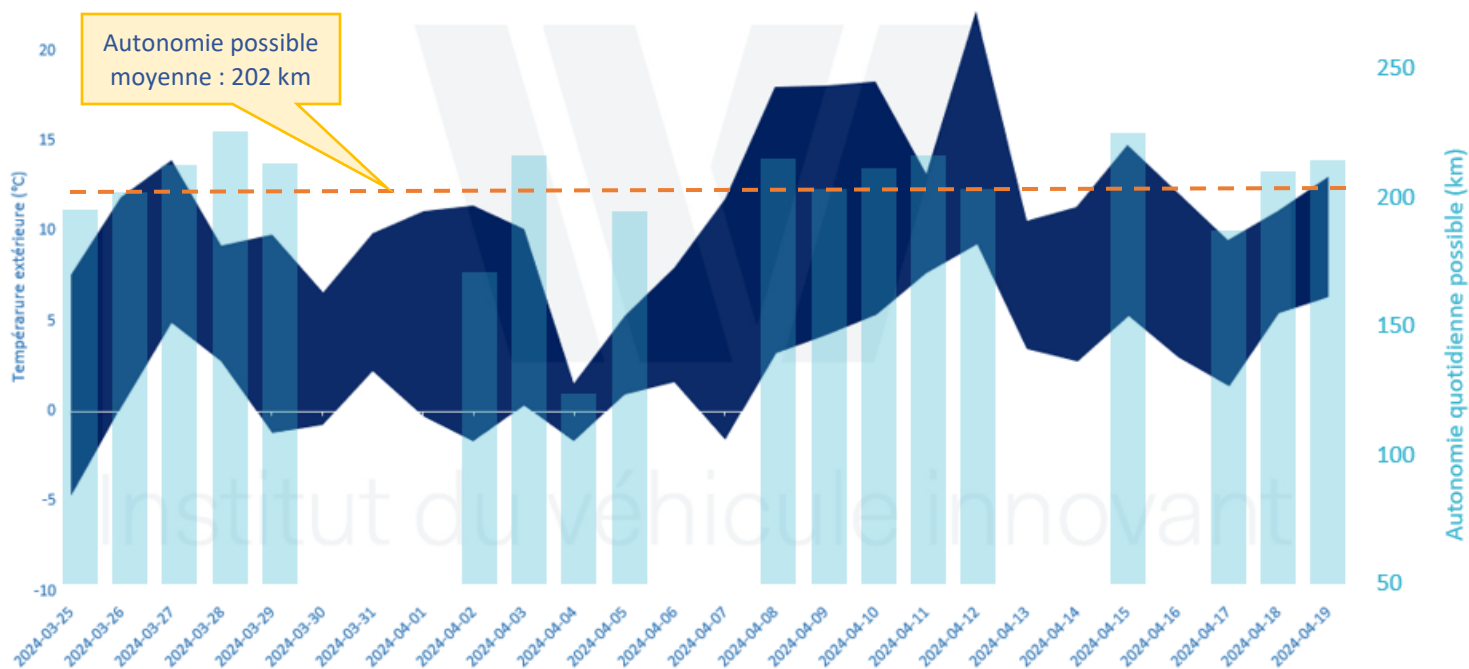


Essai d'un camion électrique – Les Brasseries Sleeman Kenworth T680e | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg



La variation de l'autonomie réelle, montrée par un rectangle bleu foncé sur le Graphique 7, est principalement expliquée par la fluctuation de la température. Ce paramètre est celui ayant la plus grande influence sur la consommation de l'essai, en considérant que les chargements et vitesses moyennes ont peu varié. Le graphique suivant reprend le Graphique 6, mais ajoute cette autonomie calculée. Il permet de visualiser à quel point l'autonomie maximale possible a suivi directement l'évolution de la température. Cette mesure représente la distance maximale que le camion aurait pu parcourir sans recharger, s'il avait débuté sa journée à 100 % et terminé à 0 % d'état de charge.

Graphique 8 : Autonomie réelle disponible selon la température extérieure



L'autonomie possible moyenne durant l'essai a été de 202 km par jour. En comparant avec les 241 d'autonomie nominale annoncée par le manufacturier, **ce test a donc démontré une baisse moyenne de 16 % de l'autonomie en conduite printanière par rapport à l'autonomie nominale.**

Le graphique précédent montre également l'effet d'une importante tempête de neige sur l'autonomie. En effet, le 4 avril est de loin la journée avec l'autonomie la plus faible. Celle-ci est d'environ 125 km, soit une perte d'environ 40 % additionnelle. Lors de cette journée, le camion a débuté sa journée avant les opérations de déneigement et le vent soufflait très fort. Il s'agit aussi de la journée la plus froide de l'essai.

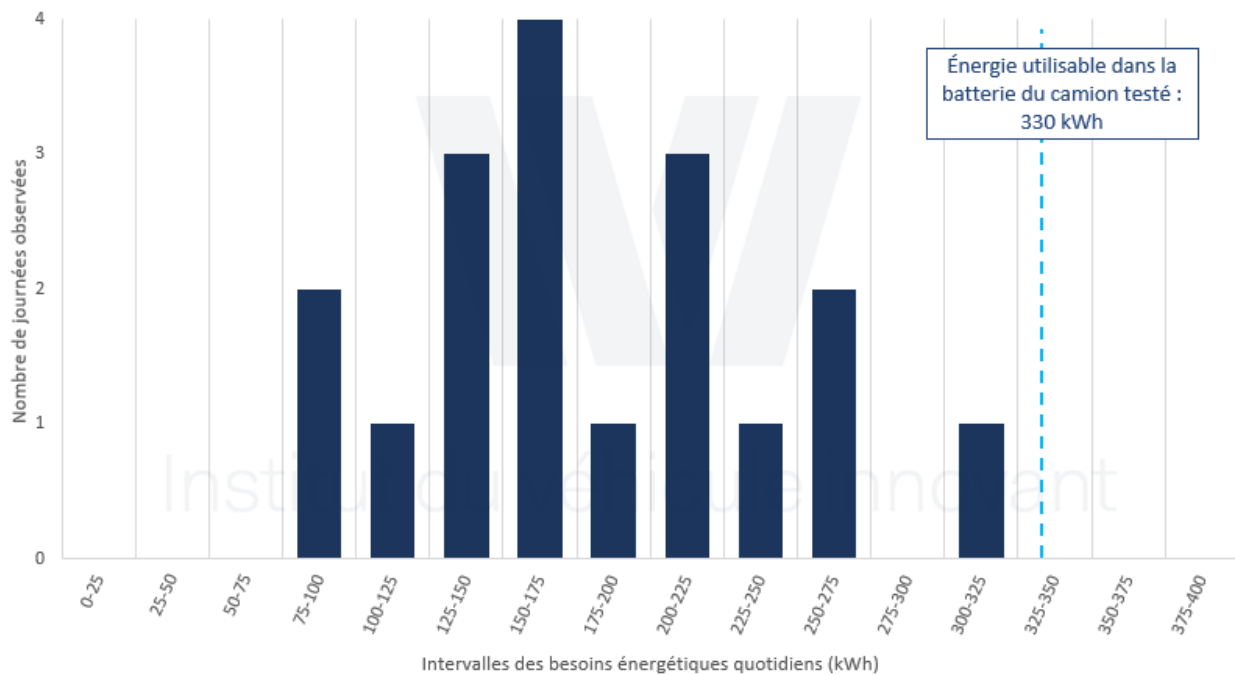


6.7. Résultats – Besoin énergétique quotidien

L'IVI définit le besoin énergétique quotidien comme étant la totalité de l'énergie requise pour accomplir la tâche d'un véhicule électrique pour une journée entière. La stratégie de dimensionnement de base consiste à sélectionner une taille de batterie plus grande que les besoins énergétiques quotidiens. Cependant, pour certaines applications, la taille de la batterie pourrait être plus petite que les besoins quotidiens, si des séances de recharge rapides sont possibles en cours de journée, par exemple.

Au terme de l'essai chez Sleeman, les besoins énergétiques quotidiens ont été regroupés en intervalles de 25 kWh et comparés à la capacité de la batterie du camion. Ce résultat est représenté par le graphique ci-dessous :

Graphique 9 : Besoins énergétiques quotidiens du camion électrique durant l'essai



On y voit que la plupart des journées sont réparties entre 75 et 275 kWh. Ces consommations ont été mesurées au printemps, alors que les températures descendaient sous zéro. Une partie de la surconsommation due à la perte d'efficacité au froid et à l'utilisation du chauffage a donc été captée dans ces mesures. Les journées les plus froides de l'hiver pourront encore causer une augmentation de la consommation d'environ 25 %, alors que les journées d'été entraîneront une diminution par rapport à l'énergie observée. L'énergie requise quotidiennement par une journée de grands froids serait encore inférieure à la capacité utilisable du camion. Certaines journées observées durant la phase 2, un peu plus longues, pourraient nécessiter une batterie contenant plus d'énergie.

La journée ayant requis le plus d'énergie était la journée plus longue (10 avril), et non pas la journée de la tempête de neige. Les conditions météorologiques difficiles ne semblent donc pas être un obstacle principal à l'électrification des routes de Sleeman.



Essai d'un camion électrique – Les Brasseries Sleeman

Kenworth T680e | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg



Le graphique suivant montre la variation de l'état de charge de la batterie durant l'essai, et l'évolution simultanée des distances parcourues. On y observe des trajets plus énergivores, où la pente est plus abrupte. Aussi, la recharge en journée du 10 avril y apparaît, alors que la courbe remonte. L'observation principale est l'importante énergie restante à la fin de la plupart des journées.

Les données affichées en texte sont la plage utilisée de la batterie pour la journée, ainsi que le kilométrage de la journée.

Graphique 10 : Plages d'utilisation de la batterie et kilométrage quotidien



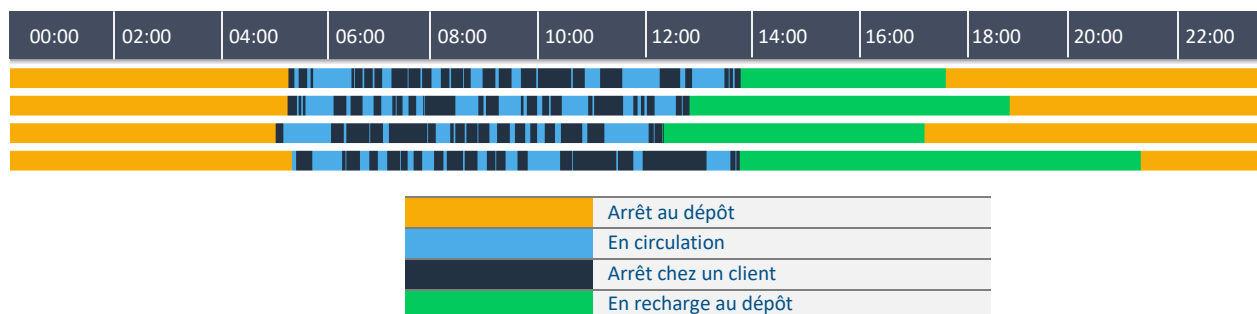


Essai d'un camion électrique – Les Brasseries Sleeman Kenworth T680e | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg



Tous les jours lors de l'essai, le véhicule a été branché dès son arrivée à l'entrepôt en fin de journée. Avec une puissance de recharge d'environ 50 kW et une utilisation d'énergie quotidienne oscillant autour de 177 kWh durant l'essai, **la recharge prenait généralement moins de 4 heures**. Puisqu'il revenait autour de 14h, il est normal de constater sur le graphique ci-bas que la recharge était généralement terminée dès 18h. Le chauffeur ne reprenait la route que vers 5h le lendemain. On peut donc observer que le camion disposait de 11 heures de plus que nécessaire pour recharger sa batterie sur cette borne. En hiver, il est attendu qu'il utilise plus d'énergie. La recharge s'allongera tout simplement pour se terminer plus tard. Même en imaginant un cas extrême, s'il commençait sa recharge à 14h et était complètement déchargé, celle-ci devrait se terminer à 22h au plus tard, tel qu'observé sur la 4ème journée de l'échantillon suivant.

Graphique 11 : Moments de déplacements, de recharge et arrêts typiques du camion 183215 électrique



Sur ce graphique, semblable à celui présenté dans le rapport de la phase 2 du projet, les bandes jaunes montrent les moments où le camion est arrêté au dépôt de Sleeman et en vert, les moments où il s'y est rechargé. Chaque ligne horizontale représente une journée de 24 h. Il est facile d'observer que **la borne de 50 kW fournit amplement de puissance pour recharger le camion sur les routes essayées**.

La borne ABB Terra utilisée lors de cet essai a démontré pouvoir charger le camion à une puissance effective de 49 kW de façon régulière. Puisque ce dernier dispose d'une capacité de batterie utilisable d'environ 330 kWh, cela signifie que **la borne remonte le niveau de charge de 14 % par heure**. Ceci équivaut à dire qu'un peu plus de 7 heures suffiront pour recharger le camion à partir d'un état de charge de 0 %. Exprimé autrement, cela signifie qu'**environ 35 km d'autonomie sont retrouvés pour chaque heure de recharge**.

La recharge à 50 kW est considérée comme plutôt lente par rapport à une batterie d'une telle taille, contrairement à la même puissance sur un véhicule léger électrique. Pour le camion, recharger à 50 kW ne représente pas un effort de gestion thermique considérable. Ceci fut confirmé en observant que la puissance de recharge ne diminue aucunement jusqu'à l'atteinte de son état de charge final à chaque jour.



6.8. Scénarios d'utilisation atypiques

Les opérations du camion électrique durant les quatre semaines ont été ponctuées de quelques journées un peu différentes de la routine. Les paragraphes suivants viennent étoffer le récit de ces journées pour aider à son analyse et l'effet sur le potentiel d'opérations électriques à l'année pour Sleeman.

4 avril – tempête de neige :

Environ 30 centimètres de neige sont tombés dans la nuit du 3 au 4 avril 2024. Les températures avoisinaient le point de congélation et les rafales de vent atteignaient 60 km/h. Le camion électrique débutant ses opérations autour de 5 heures du matin, plusieurs routes ou cours où ont lieu les livraisons n'étaient pas déneigées lors de ses opérations. Cette journée a permis de mesurer à quel point la neige peut affecter l'autonomie, et dans quelle mesure les opérations seront affectées.

La consommation pour cette journée de tempête a été de 266 kWh/100 km, et l'autonomie réalisable était de 124 km. Ces valeurs mettent en lumière une **diminution de l'autonomie de 40 % lors d'une tempête de neige**, par rapport aux conditions printanières observées les autres jours. Plusieurs facteurs ayant pu causer cette diminution ont été observés par le conducteur. La difficulté de moduler l'accélérateur à basse vitesse, les pneus optimisés pour l'économie d'énergie et la difficulté à trouver le dispositif de blocage de différentiel ont entraîné beaucoup de patinage des roues. Cependant, des camions d'autres flottes dont l'IVI a obtenu les consommations révèle que ceux-ci ont également vécu une diminution importante de l'autonomie au même moment. **Il est donc important pour un gestionnaire de flotte de consulter les prévisions météorologiques et considérer réduire ses journées si une importante tempête de neige est annoncée**, ou de prévoir une recharge sur borne publique en cours de journée.

Malgré ceci, le camion a pu compléter les opérations prévues pour cette journée. Il aurait aussi été en mesure de compléter la plupart des journées de l'essai.



Essai d'un camion électrique – Les Brasseries Sleeman Kenworth T680e | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg



10 avril – journée plus longue avec recharge :

Il était prévu dès le début de l'essai de se rendre à Louiseville lors de cette journée. Après les premières semaines de test, les gestionnaires de Sleeman étaient au courant qu'il n'y aurait pas une grande marge de confort sur l'autonomie, puisque composé de près de 200 km d'autoroute.

Au retour, des livraisons étaient prévues à Repentigny. Lors de ces arrêts, le conducteur n'était plus certain de pouvoir compléter sa journée, ni d'avoir assez d'autonomie pour retourner au dépôt. L'absence d'un écran d'affichage indiquant avec précision le pourcentage de batterie et une estimation d'autonomie restants ne permettait pas de statuer avec certitude. Dans le but de limiter l'impact sur les opérations, l'IVI a suggéré de recharger à une borne publique près des livraisons en cours.

Il a été possible de trouver une borne de 180 kW à proximité avec assez d'espace pour recharger un tracteur sans déteiler la remorque. Cette borne permettait d'exploiter la puissance maximale de recharge du camion, et ainsi de s'arrêter le moins longtemps possible.

Le camion a finalement été arrêté 1h30, pour une recharge d'une durée de 49 minutes. L'état de charge du véhicule est passé de 10 % à 38 % durant ce délai, ce qui est beaucoup plus que ce qui était nécessaire.

Le véhicule a terminé la journée en ayant parcouru 198 km et utilisé 93,7 % de batterie. Puisqu'il avait débuté la journée à 96,8 %, il aurait été en mesure de compléter sa journée, mais avec seulement 3,1 % de batterie restant.

Un véhicule muni d'une batterie de plus grande capacité aurait permis de compléter cette journée sans inquiétude. De même, un affichage plus précis de l'autonomie sur le tableau de bord du véhicule, tel que disponible dans d'autres modèles de camions électriques, aurait permis de mieux évaluer l'énergie restante pour compléter la route.

Finalement, il ressort de cette aventure que **la première expérience de recharge publique sans encadrement du conducteur peut être source d'anxiété et causer un certain retard aux opérations de cette journée.** Un meilleur encadrement, tel que faire une démonstration en personne ou avoir une ressource au téléphone en temps réel permettrait d'accélérer ce processus.

Au final, cette expérience fut très formatrice pour Sleeman, le conducteur, ainsi que l'IVI. Voici, en résumé, des points qui auraient eu pour effet que cette route ou la recharge publique nuise moins aux opérations prévues :

- Terminer la recharge jusqu'à 100% avant de partir le matin
- Rester moins longtemps à la borne. 15 minutes auraient suffi
- Avoir planifié d'avance la borne à utiliser
- Avoir pratiqué d'avance l'opération d'une borne publique et téléchargé l'application requise
- Avoir un indicateur d'autonomie ou de % restants précis
- Opérer un camion muni d'une plus grosse batterie



Essai d'un camion électrique – Les Brasseries Sleeman Kenworth T680e | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg



Rotation des conducteurs, types de clients, routes ou remorques :

Lors des quatre semaines de l'essai, cinq conducteurs différents ont pris le volant pour se familiariser avec la conduite électrique. De plus, à chaque semaine un client type était visité (dépanneurs, épiceries, restaurants, bars). Pour chacun de ces clients et selon leur localisation, différents types de remorques ont été utilisées aussi. Celles-ci étaient équipées de portes latérales ou arrières, et à quelques reprises elles étaient munies d'un chariot embarqué (*moffett*) pour livrer des palettes. Le poids des remorques a été noté pour chaque jour. Celui-ci variait de 4 800 à 9 500 kg.

Le chariot embarqué étant alimenté par une batterie 12v sur la remorque, aucun accessoire additionnel n'était nécessaire pour le tracteur électrique. De plus, aucune consommation additionnelle n'a été remarquée lorsque cet équipement était utilisé, outre la consommation causée par la masse additionnelle transportée.

Toutes ces configurations avaient pour but d'en apprendre le plus possible sur le comportement du véhicule et de confirmer le plus de routes possibles. Le camion électrique a démontré être compatible avec toutes ces combinaisons.

7. Analyse de scénarios et consommation

Fonctionnement au ralenti

Le camion a fonctionné au ralenti moins d'une heure par jour durant l'essai. La température était souvent froide à cette période de l'année, donc les systèmes de chauffage étaient en fonction pour réchauffer la batterie et l'habitacle. Ceci fait augmenter la puissance demandée aux batteries.

Sur toute la durée de l'essai, **le camion a consommé en moyenne 7 kWh d'énergie par jour en marche au ralenti**, soit une puissance moyenne de 10,5 kW. **Cette quantité d'énergie est équivalente à 2 % de la batterie utilisable.**

Ces moyennes ont été affectées par la journée du 4 avril. En effet, cette journée seule a occasionné une consommation de 18 kWh en fonctionnement au ralenti, soit 5,4 % de batterie pour une durée d'utilisation similaire aux autres journées. **Le camion a donc utilisé près de 3 fois plus d'énergie pour le chauffage lors d'une tempête de neige**, probablement en partie dû à l'augmentation de la demande de dégivrage.

8. Analyse des données qualitatives

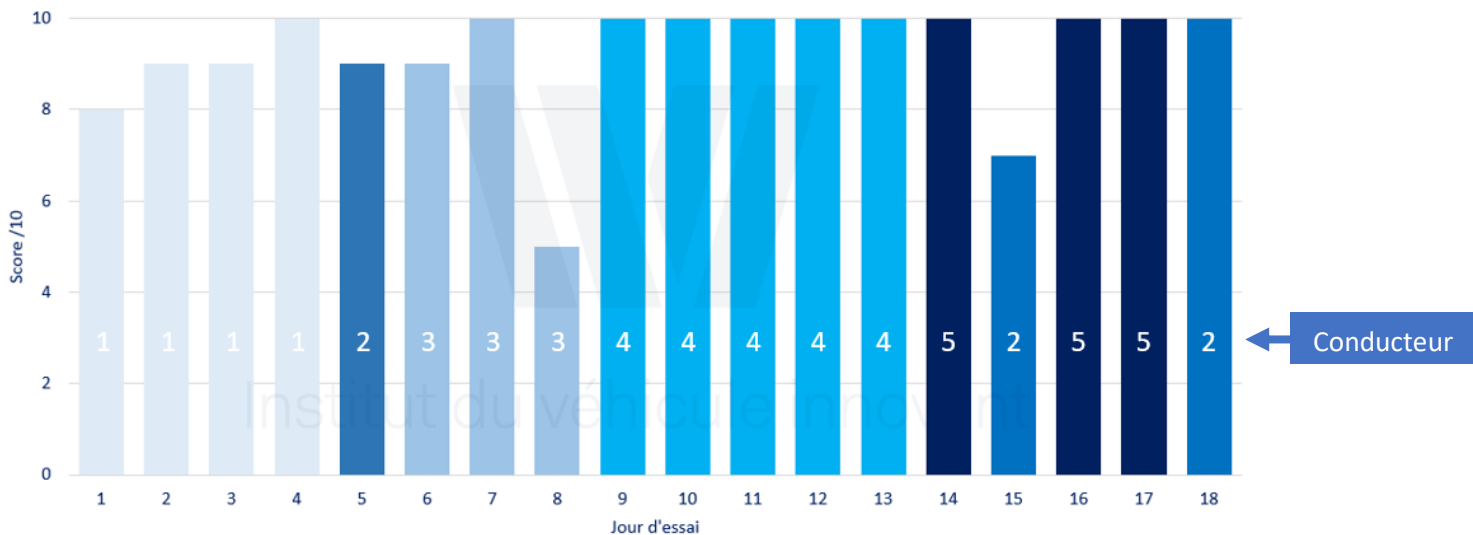


Un mécanisme de communication entre le chauffeur et l'équipe de l'IVI a été mis en place pour la durée de l'essai du camion électrique. Chaque jour, un compte-rendu très simple fut rempli par le chauffeur et envoyé à l'équipe de l'IVI. Le but principal était de récolter sur le vif les impressions et commentaires de la personne ayant conduit le camion électrique ce jour-là. Il lui était demandé d'évaluer si le camion électrique s'était montré adéquat pour le travail de la journée.

Figure 6 : Un des conducteurs du camion électrique durant l'essai

Le Graphique 12 montre l'appréciation des conducteurs envers le camion électrique :

Graphique 12 : Réponses au compte-rendu quotidien du conducteur du camion électrique en essai



Alors que certains conducteurs mettaient d'emblée une note de 10/10, d'autres débutaient plus prudemment à 8 ou 9. **Au fil des jours, la note donnée tend à s'améliorer.** Une exception est survenue lors de la journée 8. Cette journée correspond à la tempête de neige. Le conducteur est resté pris à quelques reprises. Ceci aurait pu être mitigé en connaissant mieux les options du camion et en l'équipant de pneus moins axés sur l'économie d'énergie.

En plus de la question standardisée présentée plus haut, les conducteurs ont émis les commentaires et impressions suivants dans les compte-rendu quotidiens et lors de discussions en personne :

- Les mouvements à basse vitesse tel que reculer au quai de chargements sont brusques. Ceci n'a pas aidé lors de la tempête de neige, particulièrement
- L'indicateur de charge restante manque de précision
- L'autonomie du véhicule essayé suffit tout juste pour les livraisons qui sortent du grand Montréal
- **Quelques journées d'essai sont suffisantes pour se familiariser** avec l'opération d'un véhicule électrique et pour les rassurer de ses capacités
- **Plusieurs clients et passants ont apprécié le silence du camion.** Certains clients, après la fin de l'essai, se sont informés pour savoir s'ils allaient à nouveau recevoir leurs livraisons par véhicule électrique tant ils ont apprécié cette quiétude.

Les gestionnaires de Sleeman ont aussi été sondés par rapport à leurs conclusions en lien avec l'essai. Leurs impressions ont été les suivantes :

- L'essai les a rassurés quant à la possibilité de compléter leurs routes avec un camion électrique. Cela les aide à envisager l'intégration de ceux-ci dans la flotte à court ou moyen terme, car ils seraient en mesure de simplement remplacer certains véhicules diesel sans avoir à adapter la route
- Il aurait été intéressant de tester l'autonomie dans des conditions encore plus froides, ou d'avoir plus de journées de neige
- La fatigue moins importante des conducteurs en fin de journée est perceptible pour le gestionnaire aussi
- L'appréciation du véhicule électrique par les cinq conducteurs est unanime

9. Raffinement des modèles financiers

L'essai de phase 3 chez Les Brasseries Sleeman aura permis de raffiner l'estimation des coûts d'électricité, et donc des bénéfices financiers associés à l'électrification d'une route de livraison sur la rive-nord de Montréal.

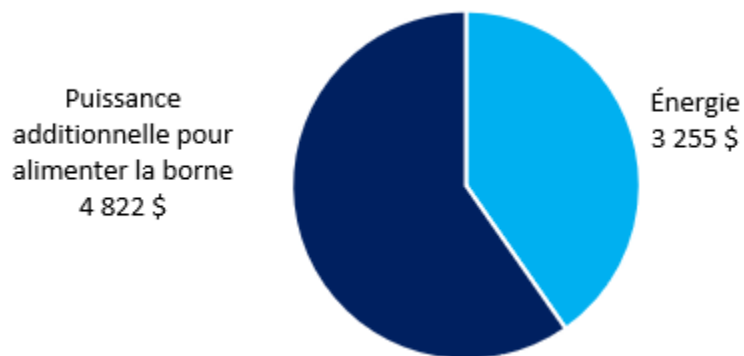
En réalisant une analyse plus approfondie des factures d'électricité de l'entreprise avant et durant l'essai, l'hypothèse des coûts a été ajustée. Celle-ci tenait compte d'un tarif d'électricité BR dédié aux bornes de recharge rapide à courant continu. Pour l'essai du Kenworth électrique, la borne a été raccordée à la bâtisse de Sleeman, sur le tarif M de moyenne puissance.

L'essai a coûté environ 609 \$ en électricité, pour 1 949 km parcourus. Appliquées à une année entière, ces données permettent d'estimer qu'il **coûterait environ 8 077 \$ d'électricité par année pour opérer un camion électrique sur les routes mesurées en phase 2**. Ce coût est estimé à partir d'un kilométrage annuel de 33 000 km, pour **un coût de 0,28 \$/km en électricité**.

Ces coûts d'électricité se comparent avantageusement au diesel. Pour améliorer la précision de cette comparaison, les gestionnaires de Sleeman ont fourni leur prix moyen de carburant, qui est de 1,62\$/L. En considérant la consommation mesurée de 44 L/100 km durant l'analyse de phase 2, le coût annuel de carburant serait de 23 522 \$, ce qui revient à 0,71 \$/km. Ainsi, en termes de « carburant », **le camion électrique revient 66 % moins cher**.

Il est à noter que dans ce scénario, **la majeure partie (60 %) de la facturation d'électricité annuelle est attribuée au montant à défrayer pour avoir accès à la puissance (kW)** :

Graphique 13 : Répartition des frais de puissance et énergie sur une facture annuelle pour le camion électrique



Ainsi, il est important de constater **que si le camion parcourait une plus grande distance annuelle, il ne coûterait pas significativement plus cher à opérer**. La puissance est facturée dès qu'il y a un appel de plus de 15 minutes, c'est donc dire que de recharger une seule fois dans le mois ou plusieurs fois par jour coûte le même montant mensuel, en ce qui concerne la puissance.

Il est cependant à considérer que **l'installation d'un parc de bornes pour recharger plusieurs camions simultanément pourrait coûter plus cher** si installé sur l'entrée électrique du bâtiment. En effet, la borne de 50 kW fournie par le projet a causé une augmentation de la puissance appelée de seulement 25 kW. Ceci indique que la puissance appelée pour les opérations de Sleeman est plus importante à des moments

autres qu'en fin de journée et début de soirée. Lors du test, le moment de demande maximale de puissance a été déplacé à l'heure des recharges. Utiliser une deuxième borne de 50 kW en même temps causerait donc un appel de puissance additionnel équivalent à la puissance de celle-ci. Alors que les coûts d'énergie du premier et du deuxième camion sont identiques, le coût associé à la puissance appelée du deuxième serait le double du premier. Le résumé de l'effet financier d'un tel ajout est présenté au tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Effet de l'ajout de bornes de recharge sur la rentabilité au tarif d'électricité actuel

	Premier camion	Camions subséquents
Appel de puissance supplémentaire	25 kW	50 kW
Coût de la puissance par année	4 800 \$	9 600 \$
Coût d'énergie par année	3 200 \$	3 200 \$
Coût total de « carburant » par année	8 000 \$	12 800 \$
Coût de revient du kWh	0,14 \$/kWh	0,22 \$/kWh
Coût par kilomètre	0,24 \$/km	0,39 \$/km
Économie de coût d'énergie par rapport au diesel	66 %	45 %
Bénéfice financier après 6 ans, comparé au diesel	34 679 \$	- 1 438 \$

Lors de la planification de l'expansion du parc de véhicules électriques et de bornes de recharge, il pourrait être avantageux pour l'entreprise de considérer l'installation d'une entrée électrique dédiée aux bornes de recharge pour pouvoir bénéficier du tarif expérimental d'Hydro-Québec dédié aux bornes de recharge (Tarif BR). **Le coût de revient au kWh du tarif BR devrait être semblable au scénario à un camion, permettant de conserver une rentabilité intéressante.**

Voici un rappel des bénéfices environnementaux, calculés en phase d'analyse du potentiel d'électrification et ajustés suite à l'essai de phase 3 :

Tableau 5 : Bénéfices financiers de l'électrification du camion électrique

Émissions de CO ₂ eq évitées après 6 ans	270 t
Période de retour sur investissement	4,2 années

L'ajustement du coût réel du diesel pour Sleeman a eu un effet important sur les bénéfices potentiels pour la route étudiée. Malgré ceci, l'électrification demeure un scénario pouvant présenter des bénéfices.

10. Conclusions

L'analyse des données collectées pendant la mise en opération d'un mois du Kenworth T680e chez Les Brasseries Sleeman a apporté beaucoup d'informations sur l'adéquation d'un camion électrique avec la réalité opérationnelle de la flotte.

Le rapport d'analyse de 3 camions au diesel de Sleeman a montré que les routes analysées en phase 2 présentaient un bon potentiel d'électrification. L'IVI a mesuré une consommation réelle maximale de 300 kWh par jour en condition printanière, permettant de solidifier l'hypothèse qu'une batterie de capacité nominale de 396 kWh et plus permettrait d'électrifier ces routes sur toute une année.

Le Kenworth T680e prêté par le concessionnaire Kenworth Montréal est équipé d'une batterie de 396 kWh. Le mois d'essai, ainsi que l'extrapolation des données de celui-ci, ont montré que cette taille de batterie serait effectivement adéquate pour effectuer les livraisons chez les différents clients de la couronne nord et de l'île de Montréal.

La recharge ne s'est pas avérée être complexe à insérer dans l'horaire d'opération du camion lorsque celui-ci est utilisé seulement de jour. La recharge à 50 kW demandait seulement 4 heures, alors que le camion était stationné toute la nuit.

La mise à l'essai de camions électriques est une excellente manière de convaincre l'industrie des bienfaits associés à la transition énergétique dans le transport de marchandises. Cette quatrième démonstration avec Les Brasseries Sleeman montre des résultats très intéressants. L'équipe du projet Flotte Rechargeable – Camions Lourds espère que ce rapport d'essai sera utile à un grand nombre de gestionnaires de parcs de camions lourds.

11. 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

12. 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/>

13. 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.