



Flotte rechargeable Camions lourds

Rapport d'essai d'un camion lourd électrique en conditions réelles Transport Inter-Nord – Freightliner eCascadia



Par : Philippe Louisseize, Ing.

Révisé par : Mathieu Chevigny et Charles Trudel, Ing.

Date : 20 novembre 2023



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 le camion 193.....	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.....	19
6.6.	Température.....	19
6.7.	Résultats – Besoin énergétique quotidien	20
6.8.	Scénarios d'utilisation atypiques.....	23
	Lundi le 18 septembre :.....	23
	Mardi le 19 septembre :	23
	Mercredi le 20 septembre :	25
7.	Analyse de scénarios et consommation.....	25
	Fonctionnement au ralenti :.....	25
	Consommation d'une plateforme à hayon (<i>liftgate</i>) :	26
8.	Analyse des données qualitatives	27
9.	Extrapolations sur le restant de l'année	29
10.	Raffinement des modèles financiers.....	30
11.	Conclusions.....	32
12.	Sources des données.....	33
13.	Informations et contact.....	34
14.	Remerciements	35

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principales spécifications du eCascadia, en lien avec l'électrification.....	11
Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation du véhicule 193.....	14
Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 193	16
Tableau 4 : Utilisation de la batterie pour les trajets d'échange de remorque	23
Tableau 5 : Bénéfices financiers de l'électrification du camion 193 tel que déterminés à la phase 2	31

Liste des figures

Figure 1 : Territoire de livraisons d'Inter-Nord	8
Figure 2 : Camion #193 d'Inter-Nord.....	10
Figure 3 : Camion utilisé durant la période d'instrumentation.....	11
Figure 4 : Borne de recharge ABB Terra 54 HV et son transformateur, installés chez Inter-Nord	12
Figure 5 : Facteurs d'influence sur la consommation d'un camion lourd électrique	13
Figure 6 : Fréquence et emplacements des arrêts du camion #193 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt d'Inter-Nord	14
Figure 7 : Le conducteur du camion 193	27
Figure 8 : Réponses au compte-rendu quotidien du conducteur du camion 193	27

Liste des graphiques

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens du camion électrique sur la route 193.....	15
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Camion électrique 193	17
Graphique 3 : Proportion de la distance parcourue selon la masse totale du camion #193 électrique.....	18
Graphique 4 : Plage de températures lors de l'essai.....	19
Graphique 5 : Besoins énergétiques quotidiens du camion 193 durant l'essai	20
Graphique 6 : Plages d'utilisation de la batterie et kilométrage quotidien	21
Graphique 7 : Moments de déplacements, de recharge et arrêts typiques du camion 193 électrique	22
Graphique 8 : Représentation visuelle des voyages du 19 septembre 2023 et de l'évolution de l'état de charge.....	24
Graphique 9 : Durée de recharge à partir d'un état de charge très faible.....	24
Graphique 10 : Fluctuation saisonnière du besoin énergétique quotidien de la route 193	29
Graphique 11 : Fluctuation saisonnière des besoins énergétiques pour les routes effectuées le 19 et le 20 septembre	30
Graphique 12 : Répartition des frais de puissance et énergie sur une facture annuelle pour le camion #193.....	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 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

Voici les faits saillants de l'essai chez Transport Inter-Nord, au cours duquel un camion diesel fut remplacé par un tracteur Freightliner eCascadia électrique pour parcourir la route #193 :

- Suivant une analyse des déplacements du camion au diesel durant trois mois, l'essai d'un camion a eu lieu du 28 août au 20 septembre 2023, soit sur une période de 4 semaines.
- Le camion électrique a démontré pouvoir **répondre aux besoins pour compléter la route 193**. Ceci est vérifiable par les indicateurs suivants :
 - Le véhicule a **utilisé en moyenne 208 kWh** d'énergie par jour en conditions estivales sur une capacité utilisable totale de 438 kWh. Ceci revient à dire que **la route 193 en été ne nécessite que 45 % de la capacité énergétique** du véhicule testé.
 - Le fait que le camion soit électrique n'a aucunement occasionné d'interruption, de réduction ou d'adaptation des opérations.
 - **Aucune recharge n'a été nécessaire durant les heures d'opération**, ni au dépôt d'Inter-Nord ni à une borne publique ou une autre borne privée.
- **La borne de 50 kW s'est montrée plus que suffisante**, rechargeant le camion en 4h par soir alors que le camion était arrêté au dépôt 13h quotidiennement.
- Le **conducteur s'est montré très satisfait** du camion électrique. Il a affirmé être confiant que ce véhicule soit **capable de compléter la route à l'année longue**.
- Le camion a consommé 16,5 kWh d'énergie en marche au ralenti quotidiennement, en moyenne. Cela représente **4 % de batterie utilisée pour 3h de ralenti par jour**.
- Le remplacement du camion 193 au diesel par un véhicule électrique permettrait d'**éviter l'émission de 485 tonnes de CO₂ équivalent**, en 10 ans.
- L'électrification de la route 193 amènerait des **économies de 32 %** sur la durée d'utilisation du camion, qui est de 10 ans. Malgré un surcoût engendré par l'acquisition du véhicule et d'une borne de recharge, ce scénario montre un potentiel de **retour sur investissement en moins de 3 ans**.
- Le camion a démontré être capable de faire beaucoup plus de kilométrage que seulement celui de la route 193, en parcourant **jusqu'à 300 km en une journée**. Il n'est toutefois pas confirmé expérimentalement que cette distance pourrait être parcourue en hiver.

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 Freightliner eCascadia. Ce camion a été utilisé par la compagnie Inter-Nord 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 la réponse aux questions suivantes : Est-ce que les opérations doivent être adaptées ? Est-ce que l'autonomie est suffisante? Combien de temps de recharge est-il nécessaire?

Inter-Nord a été retenue parmi tous les participants de la phase 2 du projet, pour les raisons suivantes :

- Les routes sélectionnées sont relativement courtes et stables et les vitesses sont peu élevées
- Les opérations d'Inter-Nord, de type *Less-Than-Truckload* (LTL), sont représentatives de celles de plusieurs autres entreprises du Québec
- La route sélectionnée présente un excellent potentiel de rentabilité et de bénéfices environnementaux associés à l'électrification
- La borne 50 kW dont le projet dispose est amplement puissante pour cette application
- Le besoin énergétique quotidien est inférieur à la capacité de batterie offerte par plusieurs camions actuellement disponibles sur le marché, dont par exemple le Freightliner eCascadia.

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 principalement mis à l'essai sur la route du camion 193 qui avait été identifiée dans le rapport de la phase 2 du projet Flotte rechargeable – Camions lourds, pour la compagnie Inter-Nord. ¹

Le camion #193 d'Inter-Nord a été identifié comme étant électrifiable sans adaptation des opérations, principalement grâce aux éléments suivants :

- Parcours moins de 185 km par jour
- Retour à la base chaque jour
- Dispose de 13 heures par jour, durant la nuit, pour la recharge
- N'est pas chargé à sa limite de poids
- Ne demande pas d'accessoires à électrifier
- La modélisation de l'IVI estime qu'il nécessite environ 410 kWh de taille de batterie pour répondre à 90 % des besoins sur une année complète

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

3. Présentation de l'entreprise



L'entreprise Inter-Nord est une entreprise de transport de matières sèches qui transporte les marchandises d'autres entreprises contre rémunération plutôt que leurs propres marchandises entre leurs usines ou magasins. La

nature des produits pris en charge fait qu'ils peuvent être transportés dans une boîte de camion normale, sans unité de réfrigération, citerne ou benne, etc. Les camions analysés opèrent en LTL (*Less-Than-Truck Load*), donc ils parcourent un circuit rejoignant plusieurs entreprises variées à chaque jour et y font des livraisons ou cueillettes représentant un chargement partiel pour le camion. Les camions partent généralement avec une cargaison pleine le matin, cependant la nature des marchandises transportées fait en sorte que le poids des véhicules n'est pas très élevé. Même lorsqu'ils sont à pleine capacité volumique, leur poids total est donc bien inférieur au Poids Nominal Brut (PNB) autorisé pour leurs classes respectives de véhicules.

L'entreprise opère depuis 1990 et dispose actuellement d'environ 75 camions et près de 200 remorques. Ces véhicules sont opérés par 80 chauffeurs. Les camions de l'entreprise se rendent dans les Laurentides, la Montérégie, une partie de l'Outaouais et de la Mauricie.

Les clients de l'entreprise sont des magasins de détail, petits et moyens commerces, et entreprises manufacturières. La cargaison est souvent organisée en palettes dans les camions. Pour deux des camions analysés, un seul client disposant de plusieurs succursales représente environ 50% des livraisons.



Figure 1 : Territoire de livraisons d'Inter-Nord

4. Résumé du rapport d'analyse des opérations en camion au diesel pour le camion 193

Transport Inter-Nord a participé à la phase 2 (analyse de routes de camions conventionnels) du projet Flotte Rechargeable – Camions Lourds. Trois de ses camions ont été instrumentés d'appareils de télématique GO9 de Geotab entre le 8 décembre 2022 et le 6 mars 2023, soit les camions 54, 193 et 157.

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 le camion 193 présentait un fort potentiel d'électrification. Le rapport a pu mettre en lumière qu'un camion électrique doté d'une batterie d'une capacité minimale de 410 kWh, combiné à une borne de recharge rapide de 50 kW installée au dépôt principal permettraient d'opérer pendant au moins 90 % des journées de l'année 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, Inter-Nord peut tout à fait opérer un camion électrique sur sa route # 193.

Les estimations de bénéfices économiques et environnementaux sont impressionnantes, avec 194 000 \$ et 485 tonnes de GES épargnées sur la durée de vie en service du camion, soit 10 ans chez Inter-Nord.

Néanmoins, ces conclusions demeurent théoriques et rien ne vaut un essai réel pour être convaincu de l'efficacité des camions électriques. Ainsi, Inter-Nord 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 le camion #193, telles que décrites dans le rapport de phase 2 :



Figure 2 : Camion #193 d'Inter-Nord

Le camion #193 opère sur une route de livraisons LTL pour des magasins et autres entreprises dans l'Est de Montréal, en partant de Saint-Jérôme. Il effectue des collectes, en fin de journée, avant de revenir chez Inter-Nord pour la nuit entière.

- 

Il parcourt des distances très régulières, entre 150 et 185 km par jour
- 

Il circule à des vitesses peu élevées, car il se déplace soit en ville ou sur l'autoroute à l'heure de pointe
- 

Il passe 14h par jour au dépôt, typiquement entre 17h et 7h
- 

Son chargement est peu élevé, entre 10 000 et 20 000 lbs
- 

Sa consommation estimée en été : 129 kWh/100 km.
Besoins énergétiques quotidiens : 239 kWh en été, 410 kWh en hiver
- 

Les économies potentielles sur la durée de mise en service calculées par l'IVI : 194 000 \$ / 10 ans
- 

Les gains environnementaux sur la durée de mise en service :
485 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 Freightliner eCascadia, prêté par le concessionnaire Globocam, un partenaire du projet Flotte Rechargeable – Camions Lourds :



Figure 3 : Camion utilisé durant la période d'instrumentation

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

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

Autonomie nominale (listée par le fabricant)	368 km (avec chargement)
Capacité des batteries	438 kWh utilisables
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	270 kW max.
Emplacement du port de recharge	À 3 m du devant du camion, côté conducteur

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 tout à fait 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 4 : Borne de recharge ABB Terra 54 HV et son transformateur, installés chez Inter-Nord

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 Inter-Nord. 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.

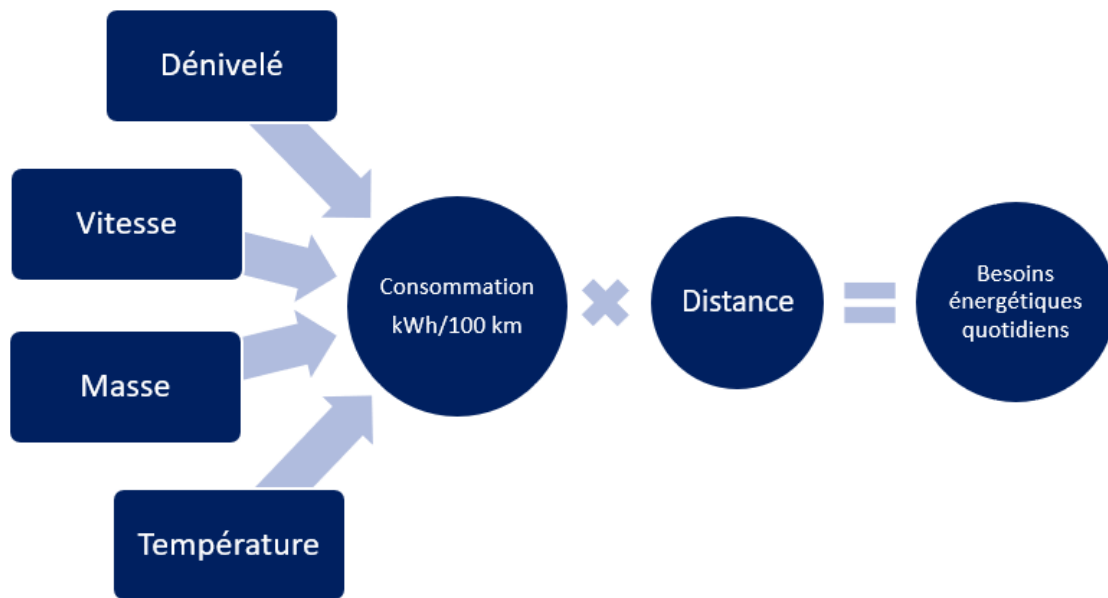


Figure 5 : Facteurs d'influence sur la consommation d'un camion lourd électrique

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

Il est à noter que dans le cas de l'essai de fin d'été chez Inter-Nord, les conditions étaient idéales pour un camion électrique, c'est-à-dire qu'elles ont entraîné des consommations (donc des autonomies) optimales.



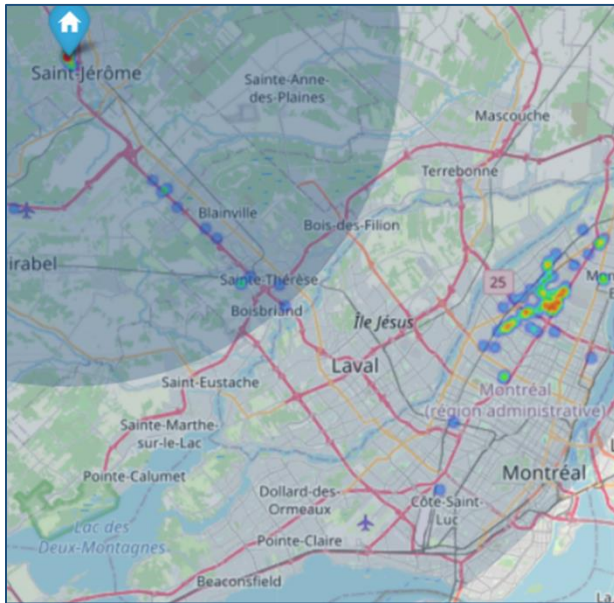
Camion # 193 en version électrique

Freightliner eCascadia | 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. Les cercles bleus représentent des rayons de 25 km et de 50 km.

Les arrêts du camion 193, situés dans Montréal-Est, sont très constants sur tout le mois d’essai et représentent bien les arrêts observés en camion conventionnel durant la phase 2.

Hormis lors de la dernière journée qui ne représente pas les opérations régulières du camion 193, l’entièreté des arrêts se sont effectués dans un rayon de 50 km du dépôt d’Inter-Nord.

Figure 6 : Fréquence et emplacements des arrêts du camion #193 dans un rayon de 25 et 50 km de l’entrepôt d’Inter-Nord

Voici quelques données générales de l’utilisation du camion #193 au cours de l’essai :

Tableau 2 : Informations de base sur l’utilisation du véhicule 193

Camion #	193
Distance parcourue	
Durant l’essai	2 325 km
Annuellement (estimée)	46 500 km
Énergie	
Consommé durant le test	2 710 kWh
Consommé annuellement (estimé)	54 198 kWh
Consommation moyenne	120 kWh/100 km
Ralenti	
Temps par jour en moyenne	2,9 h
Carburant consommé au ralenti par jour	16,5 kWh
Carburant consommé par année (estimé)	4 279 kWh
Opérations	
Vitesse moyenne en déplacement	31,7 km/h
Nombre de jours actifs durant l’analyse	13 jours
Masse totale moyenne pondérée	20 215 kg

En comparaison avec les données recueillies lors de la phase 2, la vitesse moyenne du camion 193 était identique.

Sa masse moyenne était environ 1500 kg plus élevée. Cela s’explique majoritairement par la différence de poids entre le tracteur diesel et le camion électrique. Son chargement était donc presque identique.

Sa consommation moyenne fut près de l’estimation réalisée en phase 2, qui prévoyait 129 kWh/100 km en condition estivale.



Camion # 193 en version électrique

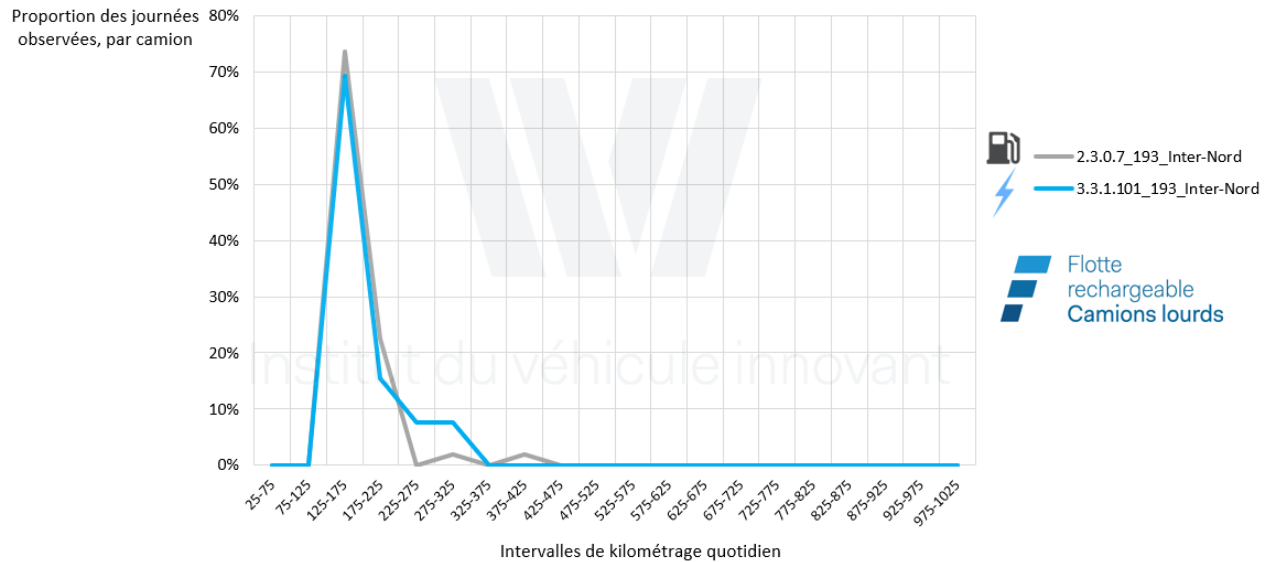
Freightliner eCascadia | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg



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 #193 au 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 sur la route 193



Le camion électrique a parcouru pratiquement exactement les mêmes trajets que le camion #193 conventionnel, étudié pendant 3 mois. Les variations s'expliquent par les trajets des 3 dernières journées, durant lesquelles le camion électrique a été mis à plus rude épreuve sur des trajets plus longs avec des échanges de remorques.

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 :



Camion # 193 en version électrique

Freightliner eCascadia | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 193

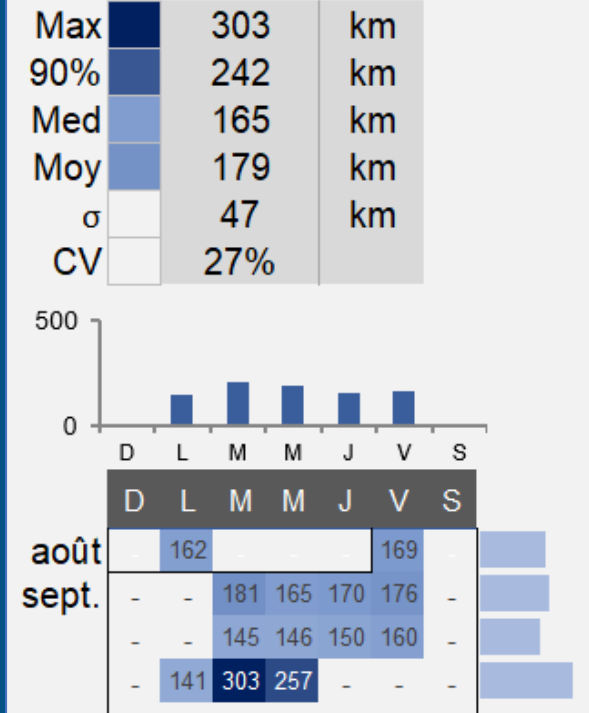
Le camion 193 électrique a parcouru des distances très constantes, ne dépassant jamais 181 km quotidiennement. Les opérations ont été encore plus constantes que lors de la prise de mesures en phase 2.

Cette constance représente bien ses opérations annuelles et facilite l'analyse, permettant de compléter celle-ci avec confiance en seulement deux semaines d'opérations complètes.

Le véhicule a donc été attiré à des routes différentes lors des trois derniers jours de l'essai. Le lundi 18 septembre, le camion a fait des livraisons en charge partielle à Saint-Jérôme en avant-midi, puis un échange de remorque à Montréal-Est. Le 19 septembre il a effectué trois échanges de remorques à Montréal. Le 20 septembre, il a effectué un échange de remorques sur la rive-sud, puis des livraisons variées à Laval. Plus de détails seront présentés à la section 6.8.

Le camion est resté arrêté à quelques occasions. Lors de la première semaine de test, un ennui mécanique a dû être réglé avant de poursuivre et a occasionné un arrêt de trois jours, du mardi au vendredi.

Le lundi 4 septembre était un congé férié, alors que le suivant a servi à tourner une capsule vidéo de témoignage du chauffeur et de Transport Inter-Nord pour le projet. Ces deux périodes d'inactivité étaient donc prévues au calendrier, avant le début de l'essai.



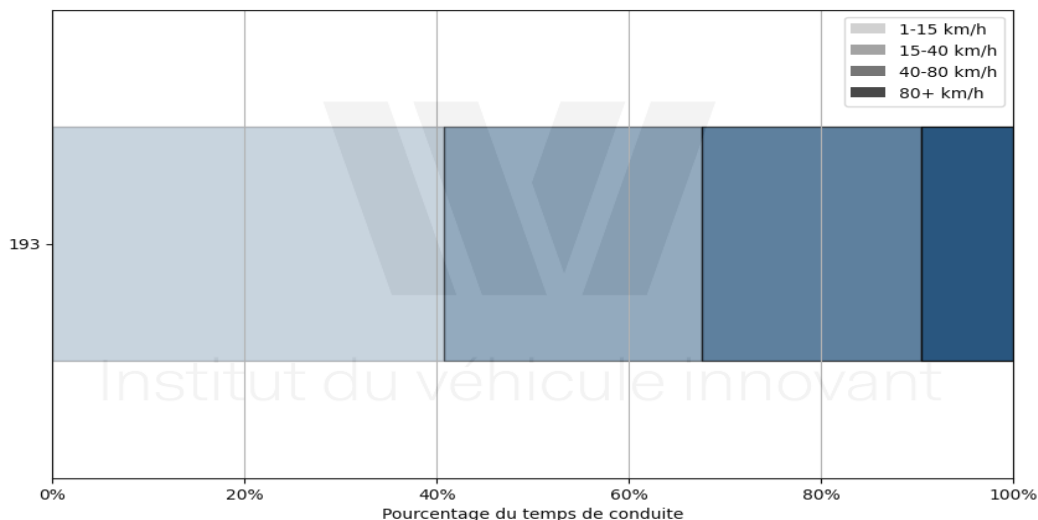


6.3. Vitesse

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 193



Le Graphique 2 montre la répartition de vitesses du camion électrique sur la route 193. **Celui-ci circule à peine 10 % du temps à haute vitesse, et près de 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.



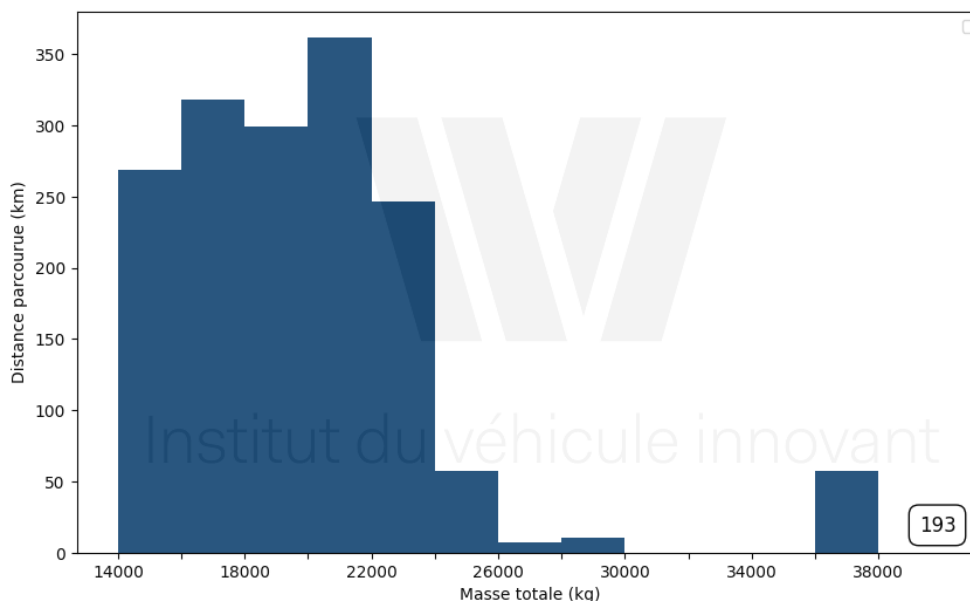
Camion # 193 en version électrique Freightliner eCascadia | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg



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. Puisque le camion 193 effectue plusieurs livraisons variées, le poids de la cargaison transportée a été noté pour chaque trajet. Le graphique suivant montre le chargement typiquement transporté.

Graphique 3 : Proportion de la distance parcourue selon la masse totale du camion #193 électrique



Similairement à la prise de données de la phase 2, le camion a commencé ses journées rempli à plein volume, et son chargement diminuant au fil des livraisons en avant-midi. Il a généralement débuté chargé entre 18 000 et 26 000 kg. Il a effectué des cueillettes en après-midi. Cela explique donc qu'il ait parcouru la majorité de sa distance à moins de 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.

À noter que le camion électrique est plus pesant que le camion conventionnel. Une pesée du camion non-attelé (*bobtail*) a révélé une masse à vide de 9 780 kg, alors que le Freightliner Cascadia conventionnel (116'' BBC³) équivalent pèse environ 7 840 kg. Ainsi, le camion électrique est plus pesant d'environ 25 %, ou 1 940 kg.

La masse moyenne du camion, pondérée par kilomètre parcouru, est de 20 215 kg, ce qui correspond à une charge utile transportée (*payload*) de moins de 4 500 kg.

³ *Bumper to Back of the Cab*, soit la distance du parechoc avant jusqu'à l'arrière de la cabine. Il s'agit d'une spécification utilisée couramment pour les camions lourds.



6.5. Dénivelé



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 2,4 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**

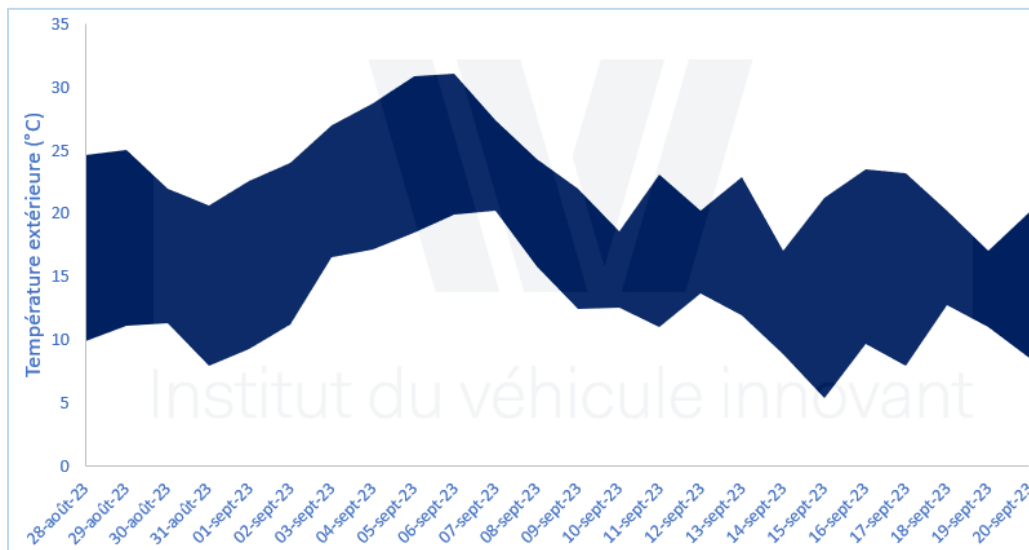
a donc pas eu une importante énergie consacrée par le camion 193 électrique à monter des côtes.

6.6. Température

Finalement, comme dernier facteur influençant la consommation, la température extérieure au cours de l'essai de 1 mois a été relevée.

Comme mentionné précédemment, **les conditions étaient pratiquement idéales à l'atteinte d'une consommation minimale (donc d'une autonomie maximale).** Voici un graphique montrant une bande de couleur entre la température minimale et maximale quotidienne :

Graphique 4 : Plage de températures lors de l'essai



Les températures étaient de l'ordre de 10°C à 30°C pour l'entièreté 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 thermiques 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.



Camion # 193 en version électrique Freightliner eCascadia | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

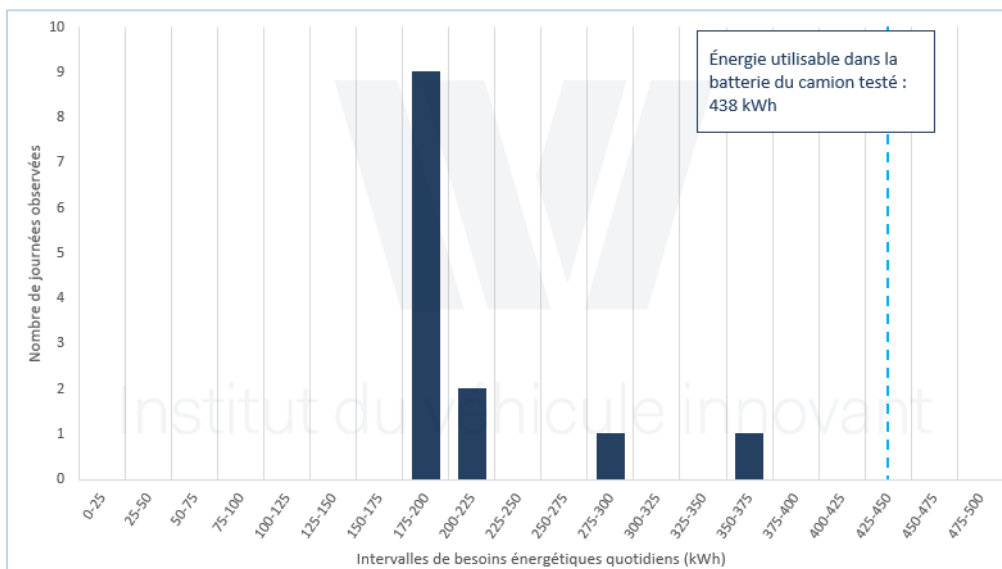


6.7. Résultats – Besoin énergétique quotidien

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 de Transport Inter-Nord, 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 5 : Besoins énergétiques quotidiens du camion 193 durant l’essai



On y voit que la plupart des journées se trouvent entre 175 et 225 kWh. Les journées les plus froides de l’hiver pourraient causer une augmentation du besoin énergétique de 50 %. Cela pousserait les deux bandes de la route 193 (175 à 225 kWh) vers la droite, mais toujours en-deçà de la ligne pointillée bleue représentant le maximum d’énergie que peut offrir la batterie en une seule charge.

Les deux journées de demande énergétique plus importante ne représentent pas les opérations régulières de la route 193. Elles ont eu lieu en fin d’essai, pour tester les capacités du véhicule (voir section 6.8). Le Graphique 5 nous montre toutefois que ces journées auraient pu être complétées même avec une perte d’efficacité de l’ordre de 20 %, sans recharge. Cette route aurait donc pu être complétée dans des conditions plus froides, mais possiblement difficiles dans les quelques journées exposant le véhicule conditions les plus sévères de l’année.



Camion # 193 en version électrique

Freightliner eCascadia | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

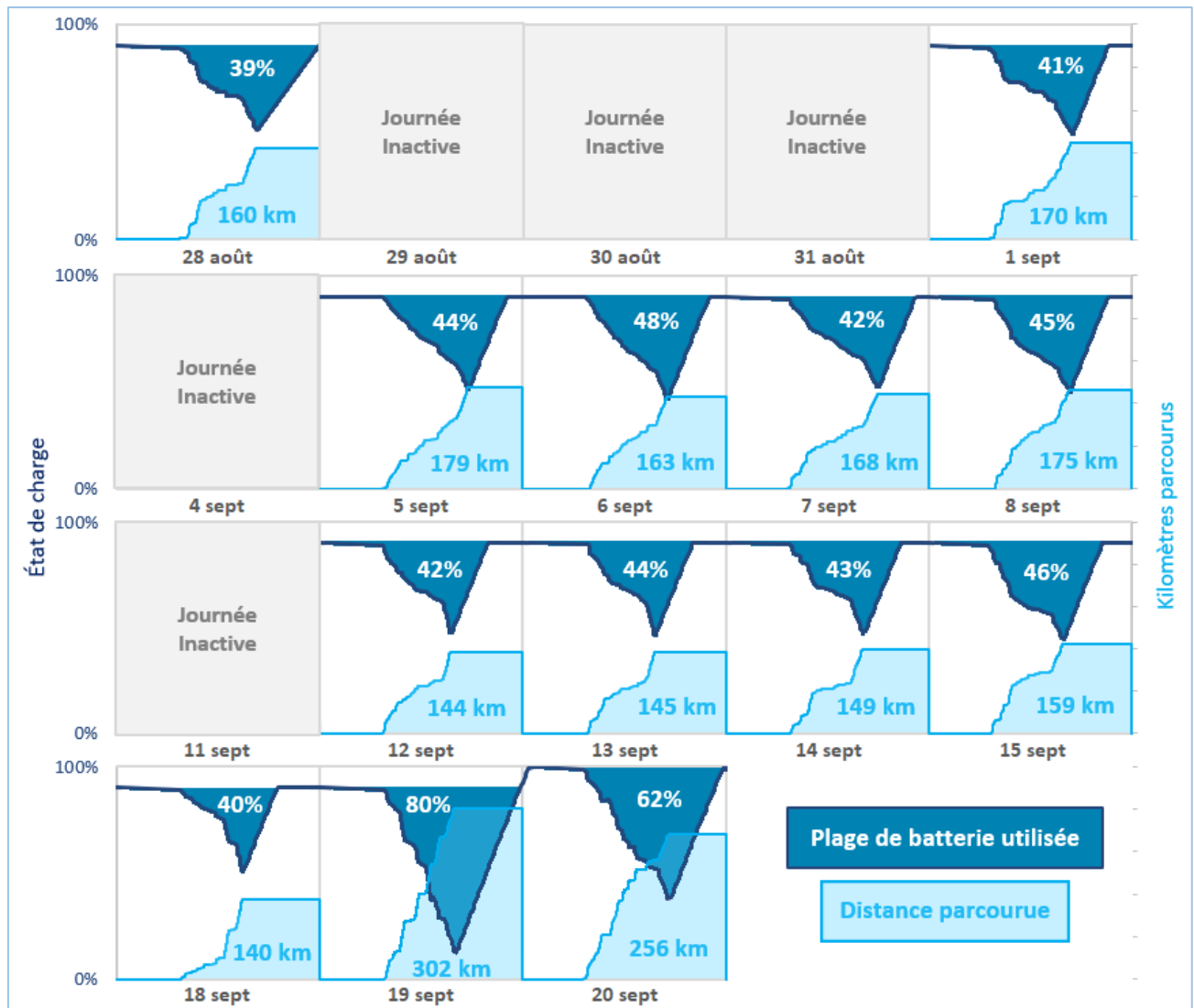
Le graphique suivant montre la variation de l'état de charge de la batterie durant l'essai. On y voit à quel point la consommation et la route du camion sont régulières pour les trois premières semaines d'essai. L'état de charge du véhicule diminue assez rapidement en début de journée lorsque le camion se rend à Montréal, puis plus lentement une fois rendu. Ceci est dû au fait qu'il circule moins vite en ville. Il termine ensuite sa journée en retournant à Saint-Jérôme sur l'autoroute ce qui fait rapidement chuter sa charge. Le camion est ensuite chargé immédiatement à son retour.

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

L'effet des journées plus longues sur l'utilisation de la batterie est bien visible à la dernière ligne.

Le camion était verrouillé à 90% d'état de charge maximum, sauf pour la dernière journée.

Graphique 6 : Plages d'utilisation de la batterie et kilométrage quotidien

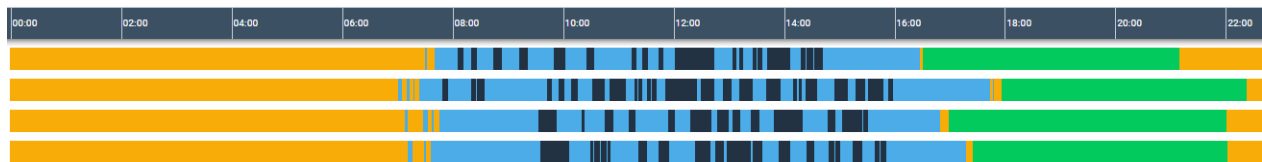




Camion # 193 en version électrique Freightliner eCascadia | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Tous les jours lors de l'essai, le véhicule a été branché dès son arrivée chez Inter-Nord en fin de journée. Avec une puissance de recharge d'environ 50 kW et une utilisation d'énergie quotidienne oscillant autour de 210 kWh en été, **la recharge n'a pas pris plus de 4 heures**. Puisque le camion revenait généralement autour de 17h, il est normal de constater sur le graphique des déplacements que la recharge était terminée au plus tard à 22h lors de l'essai. Le chauffeur ne reprenait la route que vers 7h le lendemain. On peut donc observer que le camion disposait de 9 heures de plus que nécessaire pour recharger sa batterie sur cette borne. En hiver, il est attendu que le camion utilise plus d'énergie. La recharge s'allongera tout simplement pour se terminer plus tard durant la nuit. Même en imaginant un cas extrême, s'il commençait sa recharge à 17h et était complètement déchargé, celle-ci se terminerait à 3h AM au plus tard.

Graphique 7 : Moments de déplacements, de recharge et arrêts typiques du camion 193 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 chez Inter-Nord 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 ce camion avec le temps alloué.

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 de 438 kWh, cela signifie que **la borne remonte le niveau de charge de 11 % par heure**. Ceci équivaut à dire qu'un peu moins de 9 heures suffiront pour recharger le camion à partir d'un état de charge de 0 %. Exprimé autrement, cela signifie qu'**environ 39 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 d'un état de charge de 100 %.

Cependant, après le branchement à la borne, le camion prend presque une heure pour atteindre la puissance de recharge de 50 kW. Cela a peu de répercussions pour une recharge qui dure pour toute la nuit, mais lors d'une recharge d'opportunité en journée qui durerait 30 – 60 minutes, il serait important de considérer que la puissance moyenne serait inférieure à la puissance maximale de la borne de recharge.



Camion # 193 en version électrique

Freightliner eCascadia | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

6.8. Scénarios d'utilisation atypiques

Les opérations électriques du camion 193 durant les trois premières semaines ont été, à l'image de la phase d'analyse, très régulières. Le camion n'a pas eu à revenir au terminal d'Inter-Nord pour se recharger en cours de journée, ni à utiliser une borne de recharge publique.

Le véhicule n'a pas non plus roulé durant un quart de soir. Il n'a ni roulé exclusivement de soir, ni en addition au quart de jour.

En voyant la répétitivité des journées mesurées en début d'essai, il fut proposé aux gestionnaires d'Inter-Nord de tester d'autres routes durant les trois derniers jours. Le choix des routes sélectionnées pour ces trois journées a été limité car le camion prêté ne pouvait être connecté à un hayon de chargement (*liftgate*)⁴. Un aperçu des activités de ces trois journées est présenté ci-après :

Lundi le 18 septembre :

Le premier jour d'opérations différentes fut prudent en termes de déplacements. En avant-midi, le camion a effectué des livraisons à Saint-Jérôme, près d'Inter-Nord avec des chargements et à des vitesses similaires aux opérations du camion 193.

En après-midi, le camion est allé échanger une remorque à Montréal en vue de préparer les opérations du lendemain. La demande énergétique de ce déplacement a pu être décortiquée en deux trajets de 50 km et un temps d'attente, avec les résultats suivants :

Tableau 4 : Utilisation de la batterie pour les trajets d'échange de remorque

	Aller	Attente / Échange	Retour
Batterie utilisée	11 %	2 %	14 %
Masse totale	16 000 kg	-	23 000 kg
Topographie	Descente	-	Montée

Au total, le camion a effectué 141 km lors de cette journée et a terminé celle-ci avec beaucoup d'énergie restante dans la batterie, comme les jours précédents.

Mardi le 19 septembre :

Le jour suivant a vu les opérations les plus intenses de l'essai, et de loin. Le camion s'est rendu trois fois dans l'est de Montréal, tel qu'il avait fait la veille en après-midi. Ceci représente une distance totale de 303 km, très près de son autonomie totale estimée en été. On voit bien ces trois aller-retours en observant le Graphique 8, sous la forme de six pics à vitesse d'autoroute, durant lesquels la batterie se décharge plus ou moins vite selon le chargement et la topographie.

Tout comme la veille, le camion se rendait à Montréal avec une remorque vide, et en ramenait une chargée à Saint-Jérôme. Au retour, sa masse totale fut respectivement de 21 500 kg, 30 000 kg et 30 000 kg

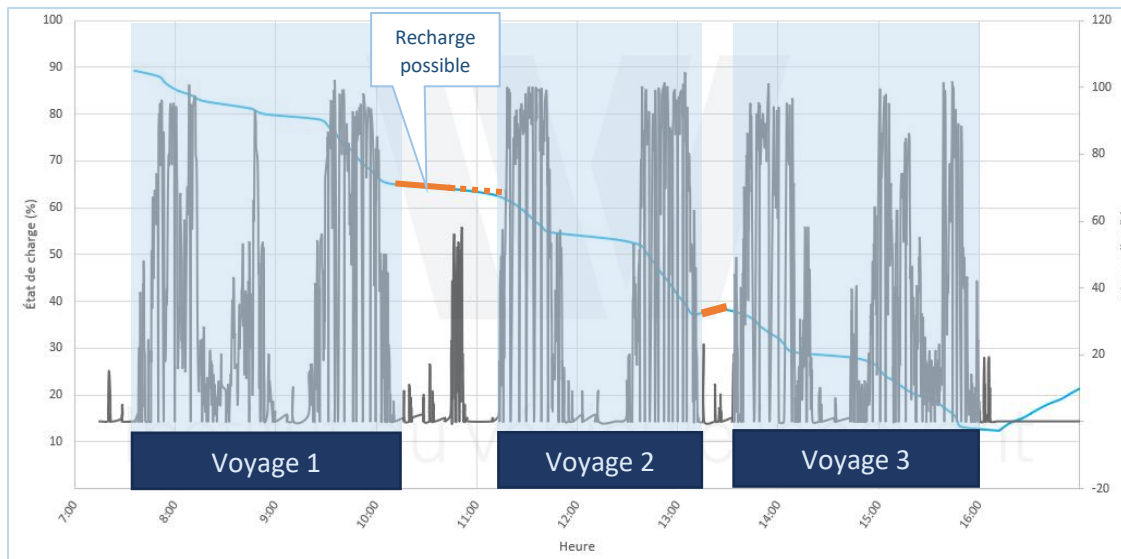
⁴ Les équipements requis pour raccorder le camion aux accessoires hydrauliques d'une remorque sont offerts en option par Freightliner sur le eCascadia. Le démonstrateur prêté par Globocam pour cet essai n'en était pas équipé.



Camion # 193 en version électrique

Freightliner eCascadia | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Graphique 8 : Représentation visuelle des voyages du 19 septembre 2023 et de l'évolution de l'état de charge

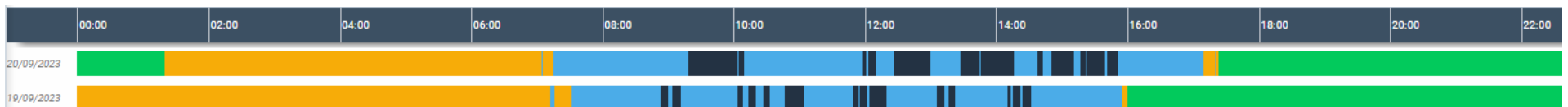


Les calculs montrés au **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ont aidé Inter-Nord à se rassurer quant à la possibilité de parcourir cette distance sans tomber en panne. En effet, avec l'estimation de 27 % par aller-retour confirmées aux deux premiers aller-retours de la journée, le conducteur se sentait en confiance de repartir pour sa troisième livraison. Au final, Le camion a utilisé 78 % de sa batterie. Ceci laisse une marge suffisante pour continuer ces opérations lorsque la température extérieure diminue, mais fait douter de cette possibilité lors des plus grands froids de l'hiver, du moins sans recharger le camion au courant de la journée.

Une courte recharge a tout de même eu lieu en après-midi. Celle-ci a duré 7 minutes et permis d'ajouter environ 5 kWh (1 %) d'énergie avant de repartir pour la troisième livraison. Cette recharge n'a pas été déterminante dans la capacité du camion à compléter sa journée, mais **l'ajout d'une courte recharge à chaque retour du camion pourrait permettre d'étirer la saison d'utilisation d'un camion électrique, si Inter-Nord voulait électrifier une route identique à celle de cette journée.**

Au retour, l'état de charge de la batterie était beaucoup plus bas que les autres jours, soit 12 % au lieu de 45 %. On pourrait donc s'attendre à une recharge beaucoup plus longue. Celle-ci s'est approchée de la durée qui serait requise pour recharger le camion sur la route 193 en hiver. Confirmer que le temps d'arrêt lors de cette journée a été suffisant pour recharger fut donc rassurant pour les opérations annuelles du camion 193. À son retour, le camion a chargé de 12 % à 100 %, tel que montré par le Graphique 9. Celui-ci montre que la recharge, débutée à 16h, se termine à 1h durant la nuit. La borne n'est pas utilisée de 1h à 7h, montrant encore une fois que la borne 50 kW est amplement suffisante pour combler ce besoin.

Graphique 9 : Durée de recharge à partir d'un état de charge très faible





Camion # 193 en version électrique Freightliner eCascadia | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg



Mercredi le 20 septembre :

Pour la dernière journée d'essai, le camion s'est rendu encore plus loin en début de journée, soit jusqu'à Delson, à 78 km de Saint-Jérôme. Il a ensuite effectué des livraisons variées à Laval, totalisant 256 km dans sa journée. La distance parcourue était plus élevée que les opérations habituelles du camion 193, mais moins que la journée précédente. Le camion a terminé sa journée avec un état de charge de 38 %, ayant débuté la journée à 98 % cela représente 60 % utilisé. Il est donc encourageant de constater que, même en considérant une consommation majorée de 50 %, **ce déplacement aurait pu être effectué en hiver.**

7. Analyse de scénarios et consommation

Afin d'étendre l'utilité de cette analyse à d'autres routes, il serait intéressant d'isoler l'effet de certains paramètres d'opérations pour en estimer leur effet sur la consommation. Par exemple, quelle aurait été l'augmentation de la consommation si le camion avait transporté une remorque pleinement chargée, ou s'il avait roulé à vitesse d'autoroute ?

Malheureusement, l'analyse des trajets du camion 193 en isolant les différents paramètres n'a pas permis d'estimer une consommation précise selon la variation de chacun de ces éléments. Quelques raisons peuvent expliquer ceci : peu de trajets différents ont été mesurés, les paramètres ne varient pas beaucoup d'un trajet à l'autre et la transmission à deux vitesses du camion testé a probablement eu pour effet de faire varier le profil d'efficacité du véhicule selon la vitesse ou le chargement.

Quelques scénarios sont tout de même intéressants à observer :

Fonctionnement au ralenti

Le camion a fonctionné au ralenti presque 3 heures par jour durant l'essai. La température était souvent chaude et ensoleillée à cette période, donc le compresseur d'air climatisé a fonctionné à plusieurs moments pour refroidir l'habitacle. Ceci fait augmenter la puissance demandée aux batteries. Le chauffeur a d'ailleurs rapporté avoir vu la puissance instantanée passer de 4 à 6 kW environ lorsque le camion est à l'arrêt et que le compresseur se met en marche (+2 kW).

Cela correspond aux chiffres mesurés par Geotab, qui permettent d'observer que **le camion a consommé en moyenne 16,5 kWh d'énergie par jour** alors qu'il était en marche au ralenti, soit une puissance moyenne de 5,7 kW. **Cette quantité d'énergie est équivalente à 3,8 % de la batterie utilisable.**

Lors des grands froids en hiver, le système de chauffage de l'habitacle et de conditionnement de la batterie du Freightliner eCascadia peuvent utiliser jusqu'à 25 kW de puissance. Toutefois, cette puissance est la capacité maximale et ne sera utilisée qu'au démarrage par très grand froid. Une fois la température de désirée atteinte dans l'habitacle et dans la batterie, la puissance en régime permanent sera moins élevée. Pour mitiger ce pic de puissance en début de journée, l'habitacle et la batterie devraient être pré-chauffées avant le départ alors que le camion est encore branché, par exemple durant la ronde d'inspection du chauffeur.



Camion # 193 en version électrique Freightliner eCascadia | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg



Consommation d'une plateforme à hayon (*liftgate*) :

Plusieurs des livraisons effectuées par Inter-Nord requièrent une remorque munie d'un hayon pour soulever des charges au niveau du sol. Les gestionnaires de l'entreprise auraient aimé tester cet équipement pour mesurer sa consommation électrique et s'assurer qu'elle n'impacte pas l'autonomie du camion de façon significative, mais le tracteur prêté n'était pas muni des accessoires optionnels qui auraient été requis pour permettre le fonctionnement de cet appareil.

Pour pallier cette impossibilité de tester le camion sur ces routes, l'IVI a calculées à partir de spécifications de hayons électriques des données de consommation typiques de cet équipement pour un camion classe 8. **Il fut déterminé que 18 cycles de levage avec un chargement de 3 000 kg utiliseraient au plus 1 % de la batterie du camion.** Un tel chargement et ce nombre de cycles équivaut à plus de livraisons et beaucoup plus de chargement que les activités typiques du camion 193. Monter et descendre 3000 kg serait équivalent à consommer environ 0,2 km d'autonomie, ce qui est négligeable.

8. Analyse des données qualitatives



Figure 7 : Le conducteur du camion 193

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. Dans le but de

comprendre si la recharge avait nui aux opérations ou si elle s'y était bien insérée, le chauffeur devait indiquer s'il avait dû s'arrêter pour recharger et détailler s'il se serait arrêté au même endroit pour la même durée en camion au diesel. Les deux graphiques suivants résument les réponses recueillies :

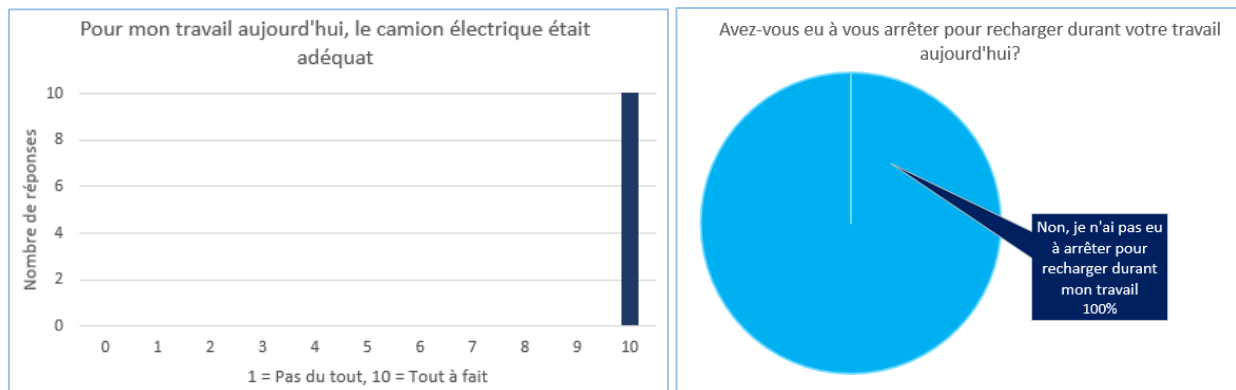


Figure 8 : Réponses au compte-rendu quotidien du conducteur du camion 193

Il serait tentant de conclure que le conducteur a bâclé ses réponses aux sondages. La réalité est toute autre, celui-ci a assuré à l'équipe de l'IVI qu'il avait simplement adoré son essai et que le camion s'était montré tout à fait adéquat, pour chaque journée. La richesse des commentaires présentés ci-après en fait foi.

En plus de des questions standardisées présentées plus haut, le conducteur a émis les commentaires et impressions suivants dans les compte-rendu quotidiens et lors de discussions en personne :

- L'autonomie est plus que suffisante pour le camion 193, il s'est senti en confiance durant l'essai, et s'est dit en confiance qu'il serait possible d'opérer cette route en hiver.
- Ses collègues ont été rassurés du potentiel des camions électriques par le simple fait qu'il soit en mesure de compléter la route 193 avec 40 % de batterie restante en fin de journée.
- Le camion est facile d'utilisation, il n'y a pas de longue période d'adaptation.
- Le Freightliner eCascadia est plus long que le camion diesel qu'il remplaçait, ce qui a causé des enjeux dans les cours très petites chez certains clients.
- L'autonomie diminue très lentement lorsque la vitesse reste inférieure à 60 km/h.
- Certains clients étaient surpris de le voir arriver car ils ne l'avaient pas entendu.
- Il n'avait pas confiance que le camion aurait pu compléter 3 échanges de remorques à Montréal tel qu'effectué le 19 septembre, en hiver sans recharger durant la journée.

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

- L'opération et la gestion d'un camion électrique furent beaucoup moins compliquées qu'anticipé.
- Les informations et impressions recueillies lors de l'essai de la route du camion 193 et lors des derniers jours sera utile pour d'étendre les conclusions à d'autres routes et influenceront leurs décisions d'achat futurs.
- Ils ont eux-mêmes constaté que le chauffeur attiré au camion électrique semblait plus reposé à la fin de ses journées de travail que lorsqu'il conduit son camion diesel.
- Tous les commentaires formulés (par les gestionnaires ou les employés) au sujet de l'essai étaient positifs

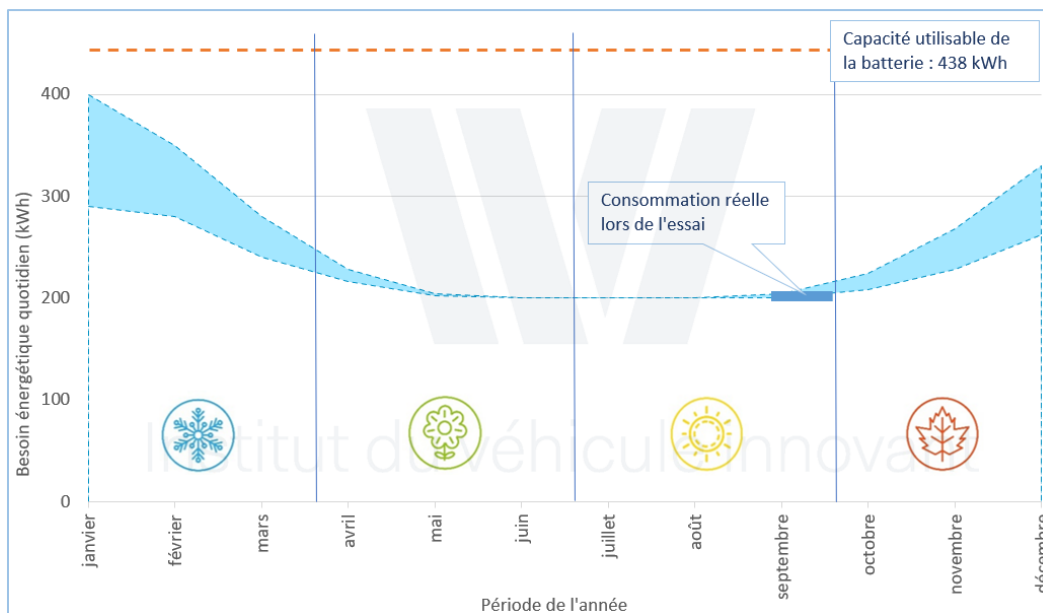
9. Extrapolations sur le restant de l'année

L'essai en conditions réelles du Freightliner eCascadia a eu lieu au début du mois de septembre, alors que les températures extérieures étaient encore idéales pour le fonctionnement d'un véhicule électrique, soit autour et tout près de 20°C. L'augmentation de la consommation dû à la baisse de température et l'effet de l'utilisation du chauffage n'ont pas pu être vérifiés. Cependant, la marge entre l'énergie réellement utilisée et la capacité utilisable est assez élevée ce qui est prometteur.

Le Graphique 10 représente une approximation de la quantité d'énergie consommée quotidiennement par le camion, selon la saison. Cette estimation est basée sur des informations recueillies par l'IVI à propos de plusieurs véhicules légers et sur des informations obtenues d'utilisateurs et de manufacturiers de camions lourds électriques. Puisque ces informations varient d'un véhicule et d'une année à l'autre, l'aire bleue représente la zone de possibilités, bordée par une estimation optimiste en bas, et pessimiste en haut.

Ce graphique permet de visualiser que malgré la consommation plus élevée prévue en hiver, l'énergie contenue dans la batterie devrait être amplement suffisante pour combler la demande énergétique du camion 193, rendant cette route possible toute l'année.

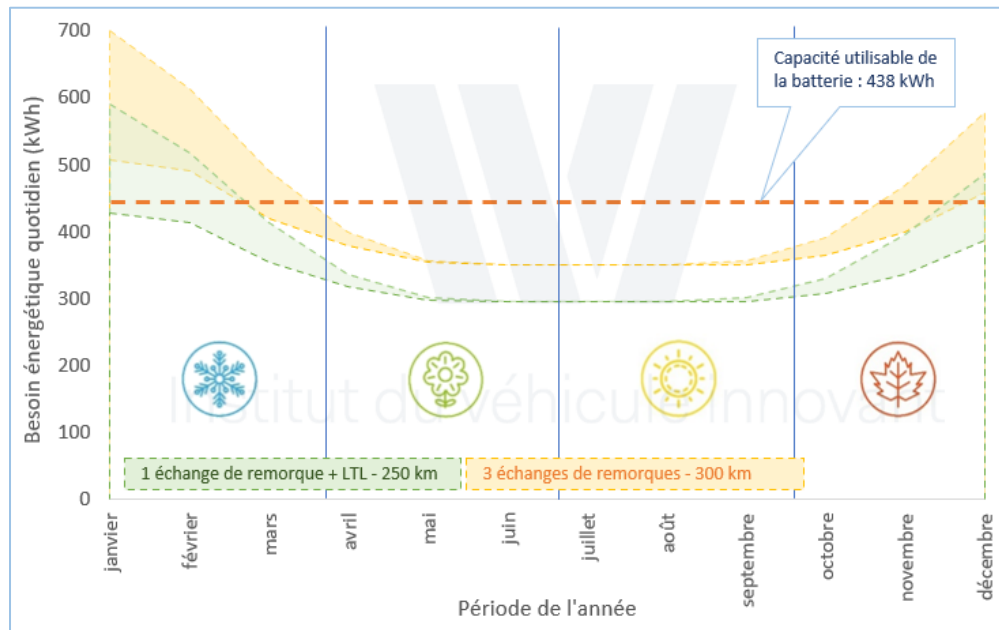
Graphique 10 : Fluctuation saisonnière du besoin énergétique quotidien de la route 193



Le graphique précédent s'applique exclusivement aux journées consacrées à parcourir la route 193, soit des livraisons LTL dans l'est de Montréal. À la fin de l'essai, deux journées en particulier ont servi à tester les limites des capacités du camion.

De la même façon que présenté au Graphique 10, le Graphique 11 montre le potentiel estimé de compléter ces routes en fonction de la période de l'année. L'observation de ce dernier permet d'interpréter qu'une route de trois échanges de remorques totalisant 300 km, tel qu'effectuée le 19 septembre, serait possible 7 à 9 mois par année. La route effectuée le 20 septembre, soit un échange de remorque sur la rive-sud suivi de livraisons LTL à Laval pour un total de 250 km, pourrait être complétée 9 à 12 mois par année. Il est cependant à noter que **les échanges de remorque sont très propices à la recharge en journée, ce qui rendrait possible la réalisation de cette route sur une proportion plus grande de l'année.**

Graphique 11 : Fluctuation saisonnière des besoins énergétiques pour les routes effectuées le 19 et le 20 septembre



10. Raffinement des modèles financiers

L'essai de phase 3 chez Inter-Nord aura permis de raffiner l'estimation des coûts d'électricité, et donc des bénéfices financiers associés à l'électrification du camion 193 d'Inter-Nord.

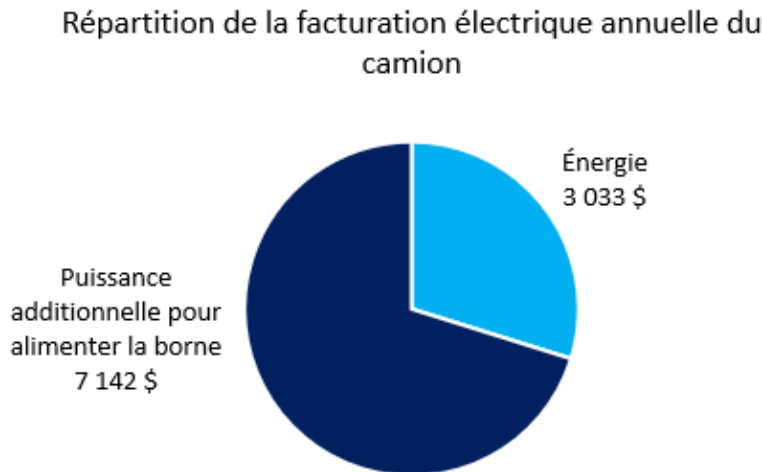
En réalisant une analyse plus approfondie des factures d'électricité de l'entreprise avant et durant l'essai, l'hypothèse des coûts a été ajustée. Celle-ci tenait compte d'un tarif d'électricité BR dédié aux bornes de recharge rapide à courant continu. Pour l'essai du Freightliner, la borne a été raccordée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

L'essai a coûté environ 1 470 \$ en électricité, pour 2 500 km parcourus. Cependant, ces coûts ne sont pas optimisés et ne reflètent pas la réalité des opérations en camion électrique. En effet, puisque l'essai s'est étalé sur deux périodes de facturation, les frais pour l'appel de puissance ont été facturés deux fois. Si le camion électrique opérait à temps plein durant une période de facturation, il coûterait 870\$ par mois d'électricité, en automne.

Les données récoltées pendant l'essai permettent d'estimer qu'il **coûterait 10 174\$ d'électricité par année pour opérer un camion électrique sur la route #193**. Ce coût est estimé à partir du kilométrage annuel de 40 824 km, pour un **coût de 0,25 \$/km en électricité**.

Ces coûts d'électricité se comparent avantageusement au diesel. En prenant pour hypothèse un prix du carburant de 2,00\$/L et en considérant la consommation mesurée de 40 L/100 km durant l'analyse de phase 2, le coût annuel de carburant serait de 32 659 \$, ce qui revient à 0,80 \$/km. Ainsi, en termes de « carburant », **le camion électrique revient 69% moins cher.**

Il est à noter que dans ce scénario, **la majeure partie (70%) de la facturation d'électricité annuelle est attribuée au montant à défrayer pour avoir accès à la puissance (kW) :**



Graphique 12 : Répartition des frais de puissance et énergie sur une facture annuelle pour le camion #193

Ainsi, il est important de constater que si le camion roulait encore plus qu'en opérant seulement sur la route #193, 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'intégration de plusieurs camions électriques, et donc de multiples bornes de recharge aux opérations d'Inter-Nord dans le futur augmenterait significativement la puissance appelée. Ceci pourrait éventuellement entraîner un changement de tarif et donc de structure de coûts. Il pourrait aussi être avantageux pour l'entreprise de considérer à ce moment d'installer une entrée électrique dédiée aux bornes de recharge pour pouvoir bénéficier du tarif expérimental d'Hydro-Québec dédié aux bornes de recharge (Tarif BR).

Voici un rappel des bénéfices financiers et environnementaux, calculés en phase d'analyse du potentiel d'électrification. Les données financières ont été ajustées en fonction des données recueillies dans la phase de démonstration, mais l'impact est marginal. Ceux-ci sont résumés au tableau suivant :

Tableau 5 : Bénéfices financiers de l'électrification du camion 193 tel que déterminés à la phase 2

Émissions de CO₂eq évitées après 10 ans	485 t
Période de retour sur investissement	2,9 années
Bénéfice net après 10 ans	198 936 \$

11. Conclusions

L'analyse des données collectées pendant la mise en opération d'un mois du Freightliner eCascadia chez Transport Inter-Nord 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 d'Inter-Nord a montré que la route # 193 présentait un bon potentiel d'électrification. L'IVI a mesuré une consommation réelle de 208 kWh par jour en condition estivale, permettant de solidifier l'hypothèse qu'une batterie de capacité nominale de 410 kWh serait requise pour pouvoir opérer cette route toute l'année.

Le Freightliner eCascadia prêté par le concessionnaire Globocam est équipé d'une batterie de 438 kWh utilisables. Le mois d'essai, ainsi que l'extrapolation des données de celui-ci, ont montré que cette taille de batterie serait effectivement adéquate pour opérer toute l'année sans enjeu d'autonomie sur la route # 193.

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

La mise à l'essais de camions électriques est une excellente manière de convaincre l'industrie des bienfaits associés à la transition énergétique dans le transport de marchandises. Cette première démonstration avec Inter-Nord 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.

12.

12. 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

Spécifications du tracteur Freightliner Cascadia au diesel :

- <https://www.cableprice.co.nz/wp-content/uploads/2021/07/Cascadia-116-Spec-Sheet-Electronic.pdf>

Spécifications du tracteur Freightliner eCascadia :

- <https://www.freightliner.com/trucks/ecascadia/specifications/>

13. 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/>

14. 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.