



Flotte rechargeable Camions lourds

Rapport d'essai d'un camion lourd électrique en conditions réelles Cascades Transport – Peterbilt 579EV



Par : Philippe Lousseize, Ing.

Révisé par : Mathieu Chevigny et Charles Trudel, Ing.

Date : 15 janvier 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 le camion 3823	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	21
6.8.	Scénarios d'utilisation atypiques.....	24
	Voyages Brossard - Candiac :	24
	Opération sur deux quarts de travail par jour :.....	24
	Livraison à Varennes :.....	24
7.	Analyse de scénarios et consommation.....	25
8.	Analyse des données qualitatives	26
9.	Extrapolations sur le restant de l'année	28
10.	Raffinement des modèles financiers.....	29
	Modèles financiers ajustés pour un scénario de recharge facilitant l'utilisation du camion le soir ...	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 579EV, en lien avec l'électrification	11
Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation du véhicule 3823.....	14
Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 3823	16
Tableau 4 : Bénéfices financiers de l'électrification du camion 193 tel que déterminés à la phase 2	30
Tableau 5 : Scénarios de rentabilité pour plusieurs configurations de bornes de recharge	31

Liste des figures

Figure 1 : Camion # 3283 de Cascades Transport	10
Figure 2 : Camion utilisé durant la période d'essai	11
Figure 3 : Borne de recharge ABB Terra 54 HV et son transformateur, installés chez Cascades Transport	12
Figure 4 : Facteurs d'influence sur la consommation d'un camion lourd électrique	13
Figure 5 : Fréquence et emplacements des arrêts du camion #3823 dans un rayon de 25 km de l'entrepôt de Cascades Transport	14
Figure 6 : Le conducteur du camion 3823	26

Liste des graphiques

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens du camion électrique sur la route 3823.....	15
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Camion électrique 3823	17
Graphique 3 : Proportion de la distance parcourue selon la masse totale du camion #3823 électrique...	18
Graphique 4 : Consommation électrique mesurée du camion 3823 selon le chargement	19
Graphique 5 : Plage de températures lors de l'essai.....	20
Graphique 6 : Besoins énergétiques quotidiens du camion 3823 durant l'essai	21
Graphique 7 : Plages d'utilisation de la batterie et kilométrage quotidien	22
Graphique 8 : Moments de déplacements, de recharge et arrêts typiques du camion 3823 électrique ...	23
Graphique 9 : Réponses au compte-rendu quotidien du conducteur du camion 3823	26
Graphique 10 : Fluctuation saisonnière du besoin énergétique quotidien de la route 3823	28
Graphique 11 : Répartition des frais de puissance et énergie sur une facture annuelle pour le camion #193.....	29



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 Cascades Transport, au cours duquel un camion diesel fut remplacé par un tracteur électrique Peterbilt 579 EV pour parcourir la route #3823 :

- Suivant une analyse des déplacements du camion au diesel durant trois mois, l'essai d'un camion a eu lieu du 24 octobre au 15 novembre 2023, soit sur une période de 4 semaines.
- Le camion électrique a démontré pouvoir **répondre aux besoins pour compléter le quart de jour du camion 3823**. Ceci est vérifiable par les indicateurs suivants :
 - Le véhicule a **utilisé jusqu'à 228 kWh** d'énergie par jour en conditions automnales sur une capacité utilisable totale annoncée de 356 kWh. Ceci revient à dire qu'**un quart de travail sur la route #3823 en automne, avec du chauffage, ne nécessite que 64 % de la capacité énergétique** du véhicule testé.
- **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 13h quotidiennement. Une borne plus puissante aurait été requise pour opérer le camion sur deux quarts de travail.
- Le camion a consommé 25,5 kWh d'énergie en marche au ralenti quotidiennement. Cela représente **7 % de batterie utilisée pour 5h de ralenti par jour, en moyenne**.
- Le remplacement du camion 3823 au diesel par un véhicule électrique permettrait **d'éviter l'émission de 428 tonnes de CO₂ équivalent**, en 10 ans.
- L'électrification de la route 3823 amènerait **des économies en carburant de 9 969 \$ par année, soit 49 %**. Cependant, le seuil de rentabilité serait atteint après plus de 8 ans, alors que Cascades Transport conservent généralement leurs camions de ville seulement 6 ans.
- Durant l'essai, un problème de calibration de batterie affectant le camion démonstrateur a entraîné une diminution de son autonomie. Il était attendu que ce véhicule ait une autonomie supérieure d'environ 20 %.
- Les gestionnaires de flotte de Cascades Transport ont exprimé leur désir d'opérer un tel camion sur deux quarts de travail de 12 heures par jour chacun, et parfois d'effectuer des livraisons plus loin. Plusieurs stratégies d'adaptation permettraient d'opérer ainsi avec succès :
 - Installer une borne de recharge à l'une des usines de Candiac et recharger à chaque trajet
 - Installer une borne de recharge plus puissante que celle à l'essai, à Brossard
 - Opérer un véhicule avec une plus grande autonomie

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 Peterbilt 579EV. Ce camion a été utilisé par la compagnie Cascades Transport 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?

Cascades Transport 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.
- Les opérations pendulaires du camion 3823 entre deux usines rapprochées sont représentatives de plusieurs autres camions circulant au Québec et amènent d'intéressantes possibilités de recharge en journée.
- 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 tester cette application sur un quart de jour, et possiblement plus.
- Le besoin énergétique quotidien est inférieur à la capacité de batterie offerte par plusieurs camions actuellement disponibles sur le marché, dont le Peterbilt 579EV

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 la route du camion 3823 qui avait été identifiée dans le rapport de la phase 2 du projet Flotte rechargeable – Camions lourds, pour la compagnie Cascades Transport.¹

Le camion #3823 a été identifié comme ayant un bon potentiel d'électrification sans adaptation des opérations, principalement grâce aux éléments suivants :

- Retourne à la base chaque jour
- Dispose de toute une nuit pour recharger la batterie
- N'est pas chargé à sa limite de poids
- Ne demande 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 son besoin énergétique.

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

3. Présentation de l'entreprise



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

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

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

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

4. Résumé du rapport d'analyse des opérations en camion au diesel pour le camion 3823

Cascades Transport 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 9 février et le 4 mai 2023, soit les camions 3771, 3823 et 3824.

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 3823 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 339 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, Cascades Transport peut tout à fait opérer un camion électrique sur sa route # 3823.

Les estimations de bénéfices économiques et environnementaux sont impressionnantes, avec 132 000 \$ et 428 tonnes de GES épargnées sur la durée de vie en service d'un camion typique de Cascades Transport, soit 10 ans.

Néanmoins, ces conclusions demeurent théoriques et rien ne vaut un essai réel pour être convaincu de l'efficacité des camions électriques. Ainsi, Cascades Transport 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 #3823, telles que décrites dans le rapport de phase 2 :



Figure 1 : Camion # 3283 de Cascades Transport

Le camion #3823 opère sur une route pendulaire de 14 km aller-retour entre deux entrepôts de Cascades situés à Candiatic. Il est basé à l'entrepôt de Cascades de Brossard, où il passe la nuit lorsqu'il n'est pas utilisé.

- 

Il parcourt 125 - 150 km par quart de travail, selon le nombre d'aller-retours qu'il doit faire.
- 

Il circule à des vitesses peu élevées, car il se déplace soit en ville ou sur les voies de service d'autoroutes
- 

Un quart de travail commence habituellement à 5h et se termine vers 16h, laissant 13h pour recharger.
- 

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

Sa consommation estimée en été : 140 kWh/100 km.
Besoins énergétiques quotidiens : 205 kWh en été, 339 kWh en hiver
- 

Les économies potentielles sur la durée de mise en service calculées par l'IVI : 132 000 \$ / 10 ans
- 

Les gains environnementaux sur la durée de mise en service :
428 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 Peterbilt 579EV, prêté par le concessionnaire Excellence Peterbilt et facilité par Peterbilt 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 Peterbilt 579EV, en ce qui concerne sa mise en service en remplacement d'un camion au diesel :

Tableau 1 : Principales spécifications du 579EV, en lien avec l'électrification

Autonomie nominale (listée par le fabricant)	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 et son transformateur, installés chez Cascades Transport

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 Cascades Transport. 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.

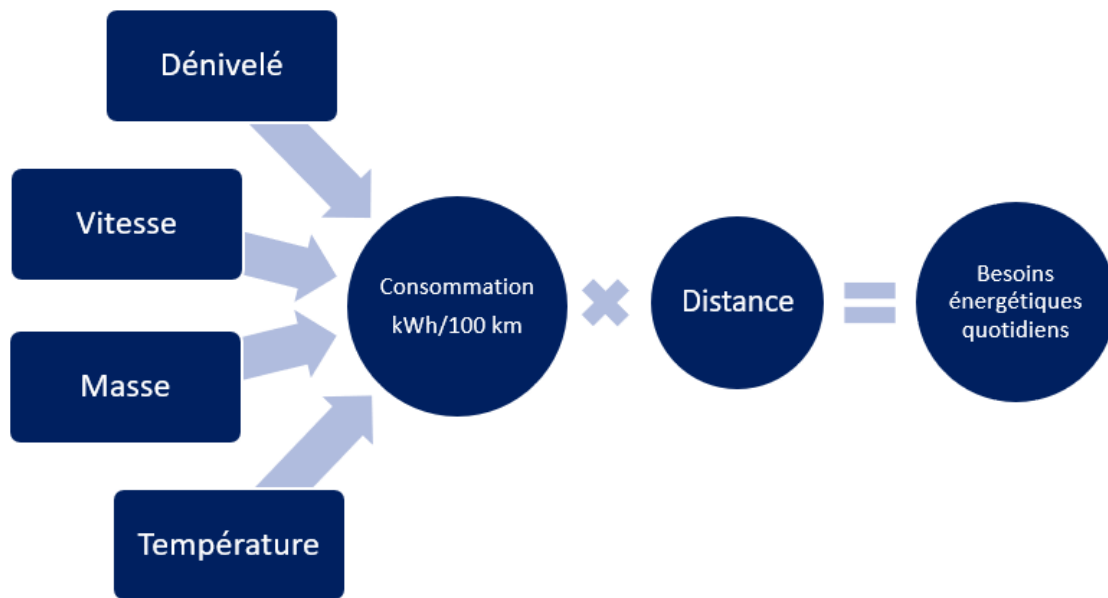


Figure 4 : Facteurs d'influence sur la consommation d'un camion lourd électrique

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

Il est à noter que dans le cas de l'essai en début d'automne chez Cascades Transport, les températures basses auront entraîné une hausse de la consommation du camion électrique, par rapport à la consommation optimale estimée pour l'été.



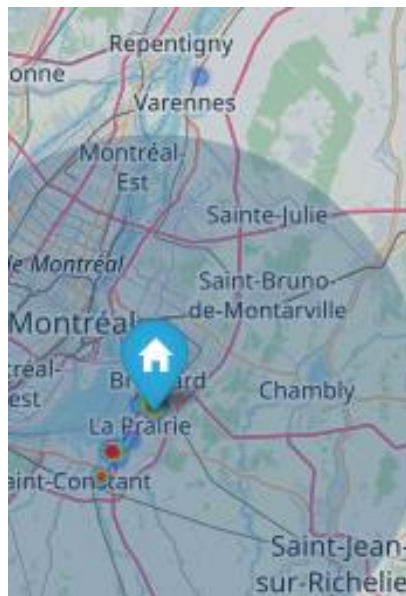
Camion # 3823 en version électrique

Peterbilt 579EV | 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 représente un rayon de 25 km.

Les seuls points montrés sont les deux entrepôts de Cascades à Candiak, l’entrepôt de Brossard et le client de Varennes. Ceci est semblable aux déplacements observés durant la phase 2. Cependant, à la phase 2, le camion a effectué plus d’arrêts à d’autres endroits.

Figure 5 : Fréquence et emplacements des arrêts du camion #3823 dans un rayon de 25 km de l’entrepôt de Cascades Transport

Voici quelques données générales de l’utilisation du camion #3823 au cours de l’essai :

Tableau 2 : Informations de base sur l’utilisation du véhicule 3823

Camion #	3823
Distance parcourue	
Durant l’essai	1 825 km
Annuellement (estimée)	28 600 km
Énergie	
Consommé durant le test	3 095 kWh
Consommé annuellement (estimé)	47 936 kWh
Consommation moyenne	169 kWh/100 km
Ralenti	
Temps par jour en moyenne	4,7 h
Carburant consommé au ralenti par jour	25,5 kWh
Carburant consommé par année (estimé)	6 631 kWh
Opérations	
Vitesse moyenne en déplacement	21,8 km/h
Nombre de jours actifs durant l’analyse	17 jours
Masse totale moyenne pondérée	19 673 kg

En comparaison avec les données recueillies lors de la phase 2, le chargement moyen du camion 3823 était identique. Sa masse était 1 800 kg plus élevée, ce qui correspond au surpoids du camion électrique causée par la batterie.

Durant la phase 3, la vitesse moyenne mesurée fut moins élevée qu’à la phase 2, et le temps de fonctionnement au ralenti beaucoup plus élevé. Celui-ci était de moins de 1h en phase 2.

Sa consommation moyenne fut très près de l’estimation faite durant la phase d’analyse, qui s’est déroulée au printemps à des températures similaires

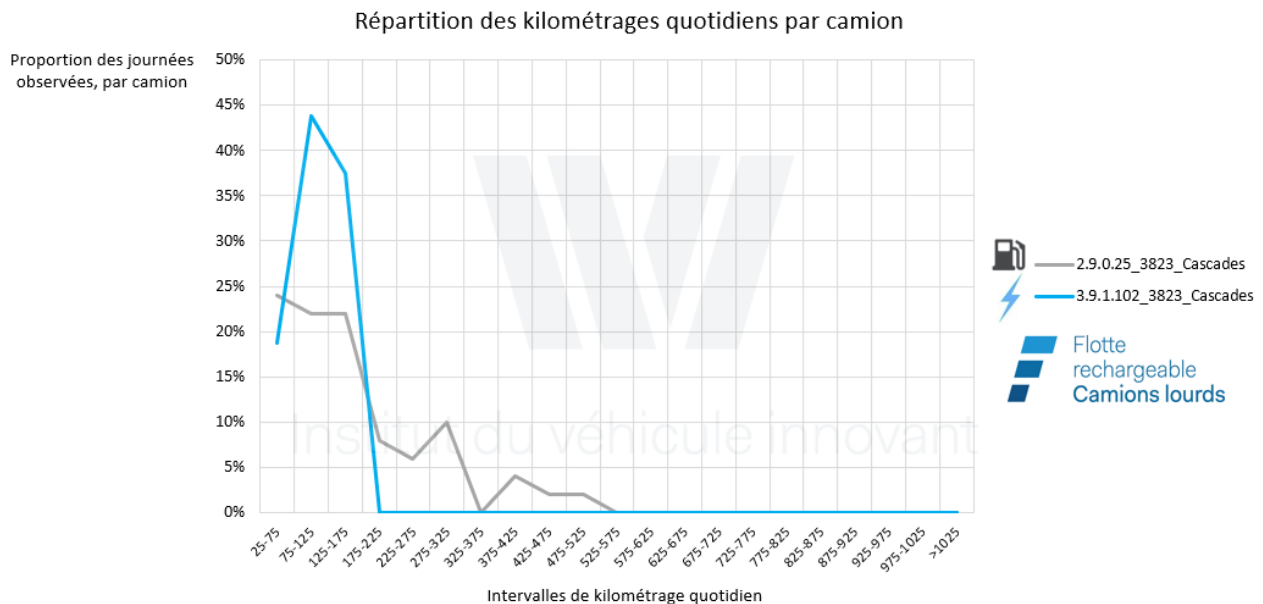
à celles observées en novembre.



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 #3823 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 3823



Le camion électrique a parcouru des distances très régulières durant la phase 3. Ces distances correspondent certes à un mode observé avec le camion diesel, mais ce dernier avait, à quelques occasions, parcouru de plus longues distances, puisqu'il avait été utilisé sur deux quarts de travail à quelques reprises. Le but premier du test de phase 3 étant de mesurer la possibilité d'utiliser un véhicule électrique pour les opérations de jour, il est donc normal d'observer cette différence. Des contraintes opérationnelles ont empêché de tester les opérations de jour et de soir lors une même journée.

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 # 3823 en version électrique

Peterbilt 579EV | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

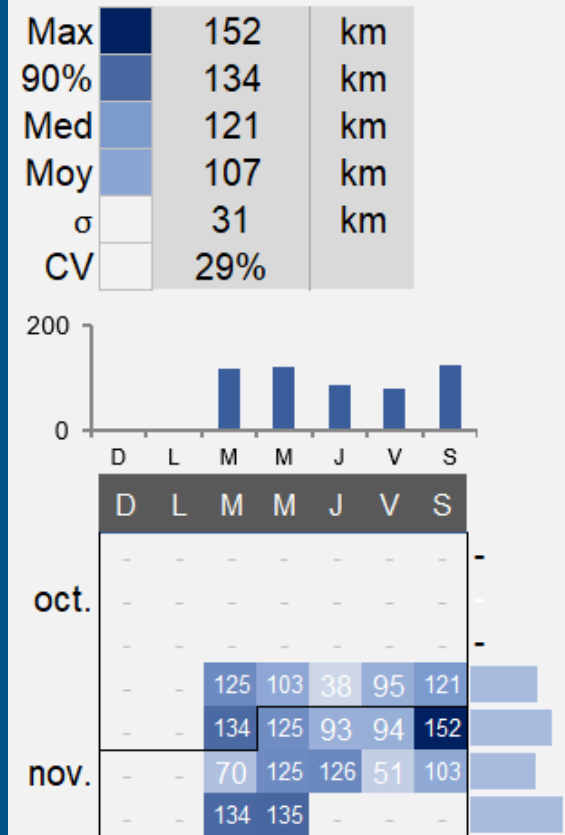


Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 3823

Le camion 3823 électrique a parcouru des distances assez constantes, ne dépassant jamais 152 km quotidiennement. Les opérations ont été encore plus constantes que lors de la prise de mesures en phase 2, puisqu'il avait été entendu au préalable que le test porterait sur les activités de jour principalement.

Le conducteur attiré au camion électrique travaille du mardi au samedi, ce qui explique que les déplacements n'ont eu lieu que lors de ces jours.

Lors de la plupart des journées du test, le camion a parcouru 6 voyages entre les deux usines de Candiac en plus de son trajet entre l'entrepôt de Brossard et l'usine de Candiac pour commencer sa journée. À trois reprises, il a complété 9 voyages par jour entre les deux usines. Ces dernières journées représentent mieux les activités observées en phase 2. Ce niveau d'activité réduit fut causé par une demande moins importante entre les usines de Cascades, et non pas à l'utilisation d'un véhicule électrique.



Des scénarios d'utilisation différents ont été testés en cours d'essai. Les 4, 8 et 9 novembre, le chauffeur est parti de Brossard pour se rendre à Candiac comme d'habitude, mais il a ensuite effectué une livraison à Varennes. Ce seul aller-retour représente environ 110 km d'autoroute. Après ce voyage, il restait suffisamment d'énergie au camion pour compléter 2 ou 3 voyages Candiac-Candiac, ce qui fut réalisé le 4 novembre. Ces voyages additionnels pourraient laisser croire que le camion a répondu à ce besoin, mais ce n'est pas le cas car il restait encore à ce moment plusieurs heures avant que le chauffeur termine sa journée. Dans les trois cas, ces journées ont été complétées avec un camion diesel.

Deux journées beaucoup plus courtes que les autres ont été observées durant l'essai. Le 26 octobre, le camion a parcouru seulement 38 km mais il s'agissait d'opérations régulières, simplement les échanges de remorques étaient effectués à une usine plus près. Le 10 novembre, le camion a parcouru 19 km pour tourner une capsule vidéo promotionnelle pour le projet. Les 32 km restants ont été parcourus le soir. Ces opérations nocturnes n'ont pas été impactées par l'autonomie du camion électrique.

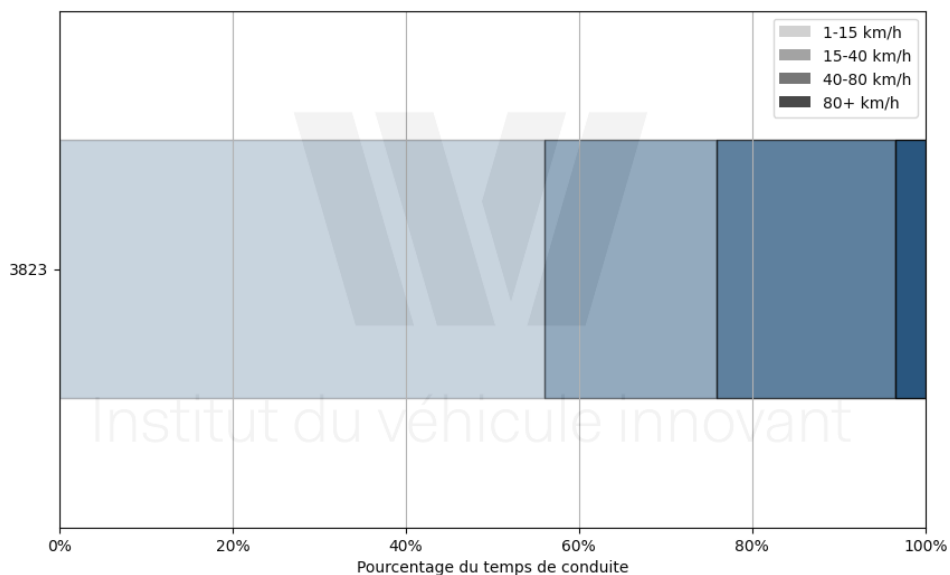


6.3. Vitesse

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 3823



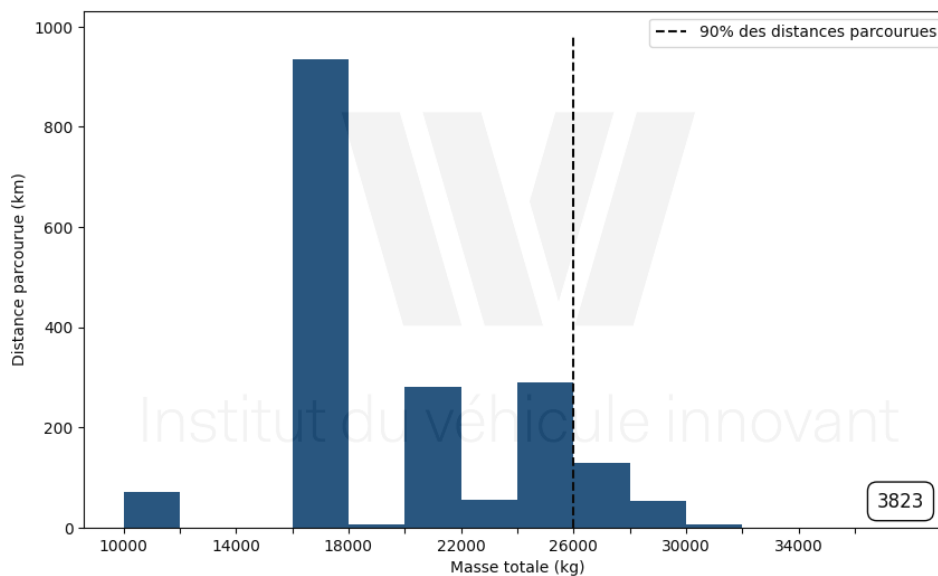
Le Graphique 2 montre la répartition de vitesses du camion électrique sur la route 3823. **Celui-ci circule à peine 3 % du temps à haute vitesse, et plus de la moitié du temps à moins de 15 km/h. Il subira donc moins de perte d'énergie à vaincre la force du vent qu'un véhicule qui roule régulièrement 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.



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 3823 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 #3823 électrique



Similairement à la prise de données de la phase 2, trois modes de chargement typique ont été observés, soit une remorque vide, un chargement très près de 10 000 lbs, ou un chargement d'environ 20 000 lbs. Cette dernière catégorie était un peu moins régulière, et était plutôt répartie de 15 000 à 25 000 lbs. 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.

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 10 370 kg, alors que le Peterbilt 579 conventionnel équivalent pèse environ 8 090 kg. Ainsi, le camion électrique est plus pesant d'environ 28 %, ou 2 280 kg.

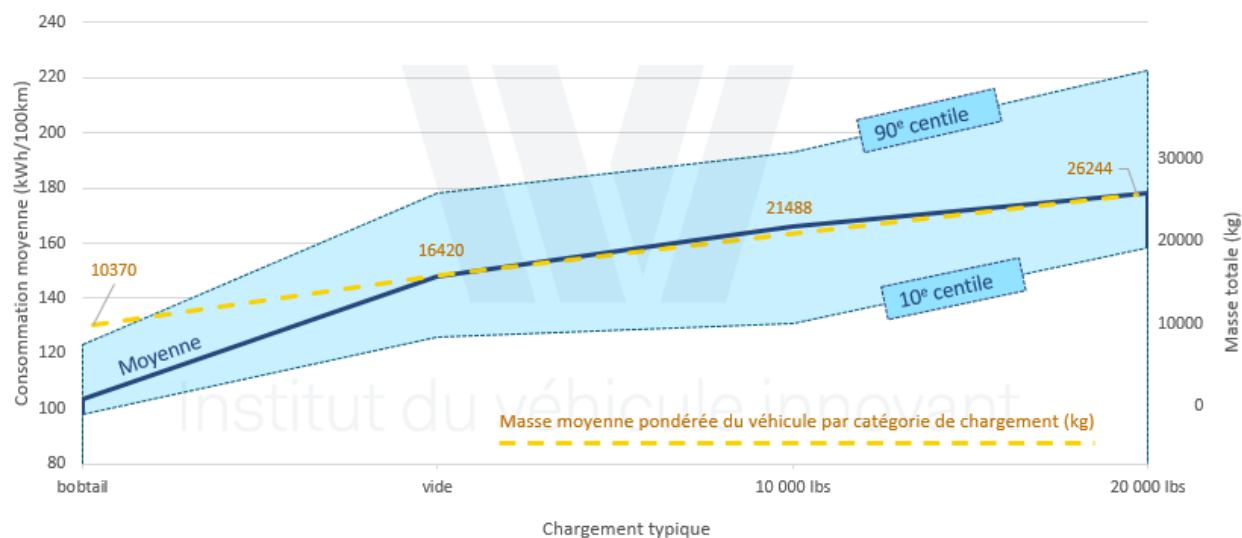
La masse moyenne du camion, pondérée par kilomètre parcouru, est de 19 673 kg, ce qui correspond à une charge utile transportée (*payload*) de moins de 3 500 kg.



Camion # 3823 en version électrique Peterbilt 579EV | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Les multiples trajets effectués à trois niveaux de chargement ont permis de mesurer l'effet du chargement sur la consommation du camion :

Graphique 4 : Consommation électrique mesurée du camion 3823 selon le chargement



La consommation augmente linéairement avec le chargement. La consommation moyenne à vide mesurée durant l'essai automnal était de 148 kWh/100 km, et elle augmentait à 178 kWh/100 km lorsque chargé à 20 000 lbs. La diminution significative observée lorsque le camion roule sans remorque s'explique facilement par le fait que celle-ci augmente significativement la force nécessaire pour vaincre la poussée de l'air et la résistance au roulement. Les variations mesurées au courant de l'essai s'expliquent par les changements de température d'une journée à l'autre et de la durée de ralenti qui a pu varier. De même, le chauffeur a pu adapter sa conduite progressivement, au fur et à mesure de l'avancement du test.



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.

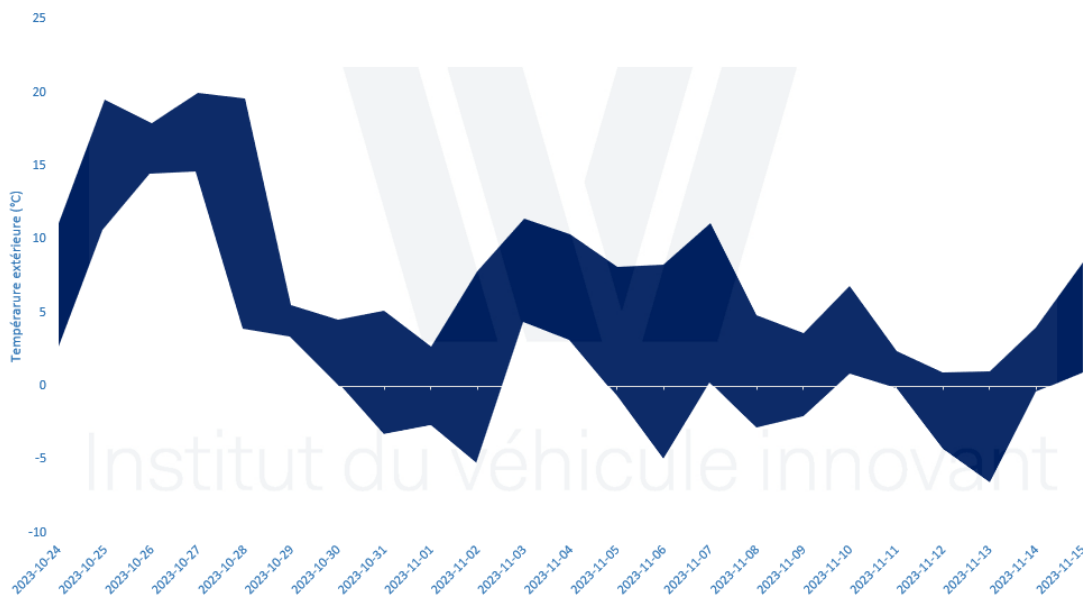
L'indice de côtes à gravir ci-contre indique que le camion a monté en moyenne un dénivelé positif de 2,3 mètres pour chaque kilomètre parcouru. Cette valeur n'est pas très élevée comparativement à d'autres routes observées chez d'autres participants du projet. **Il n'y a donc pas eu**

une importante énergie consacrée par le camion 3823 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 5 : Plage de températures lors de l'essai



Les températures étaient entre -5°C et 10°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 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. **De plus, aux températures observées, la régulation de la température de la cabine demande une énergie supplémentaire également.**

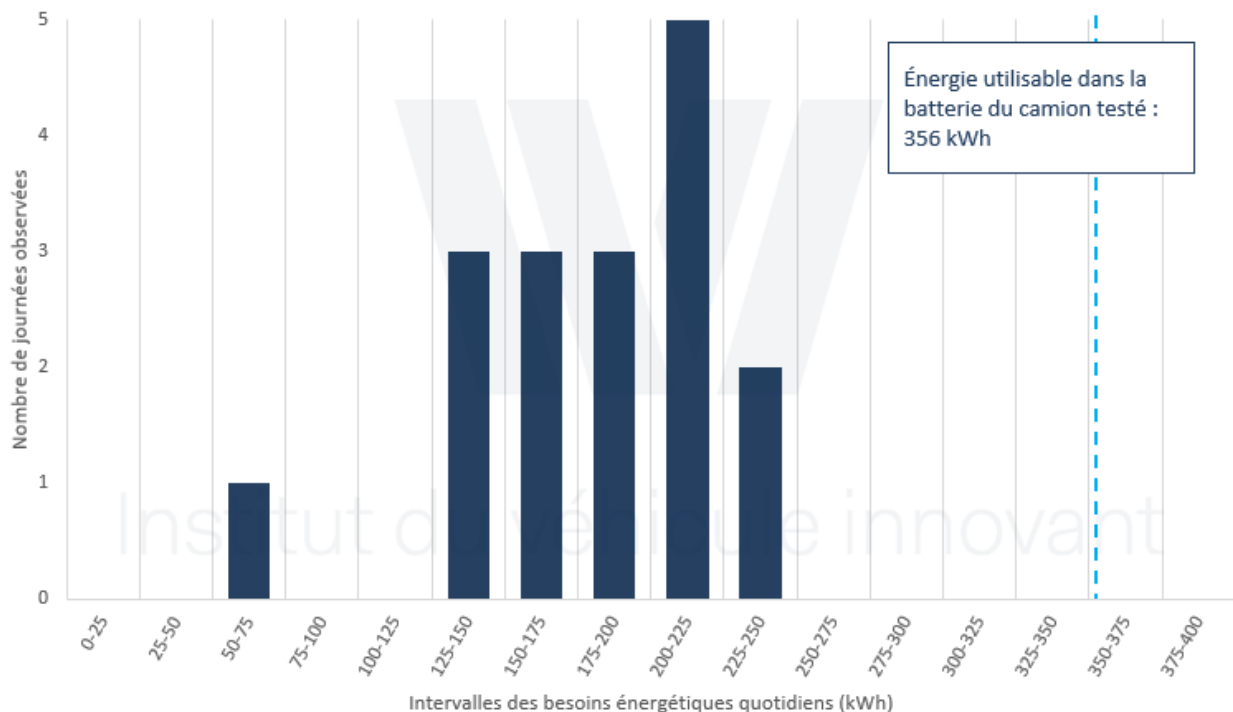


6.7. Résultats – Besoin énergétique quotidien

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 Cascades Transport, 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 6 : Besoins énergétiques quotidiens du camion 3823 durant l’essai



On y voit que la plupart des journées se trouvent entre 125 et 250 kWh. Ces consommations ont été mesurées en automne, 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.



Camion # 3823 en version électrique

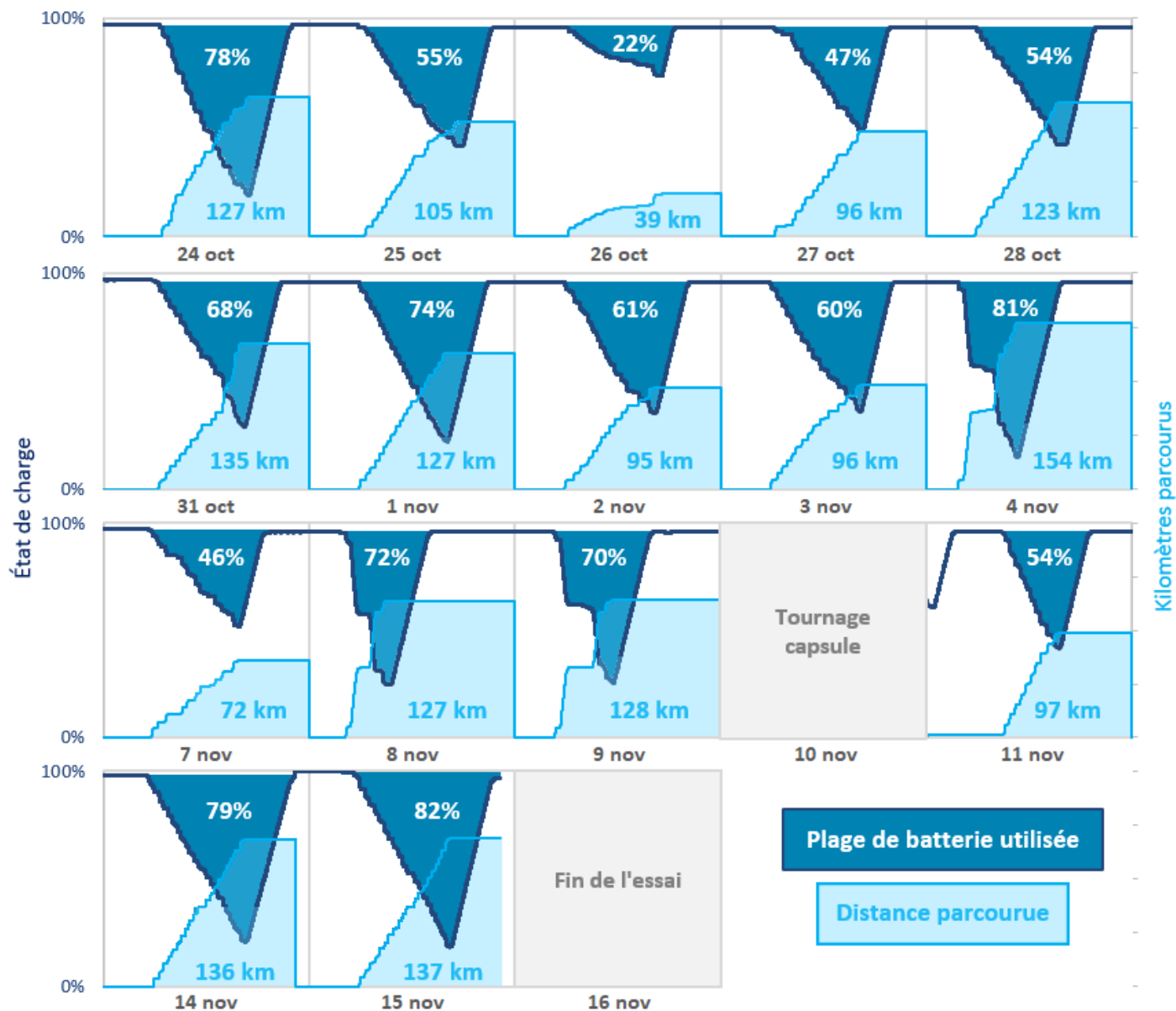
Peterbilt 579EV | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg



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 que la plupart des journées sont composées de petits trajets, qui font diminuer l'état de charge progressivement. Le 4, 8 et 9 novembre, alors que le camion s'est rendu à Varennes, les trajets sur autoroute sont clairement identifiables par les sections de graphiques où le pourcentage de batterie restante chute de façon abrupte.

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

Graphique 7 : Plages d'utilisation de la batterie et kilométrage quotidien





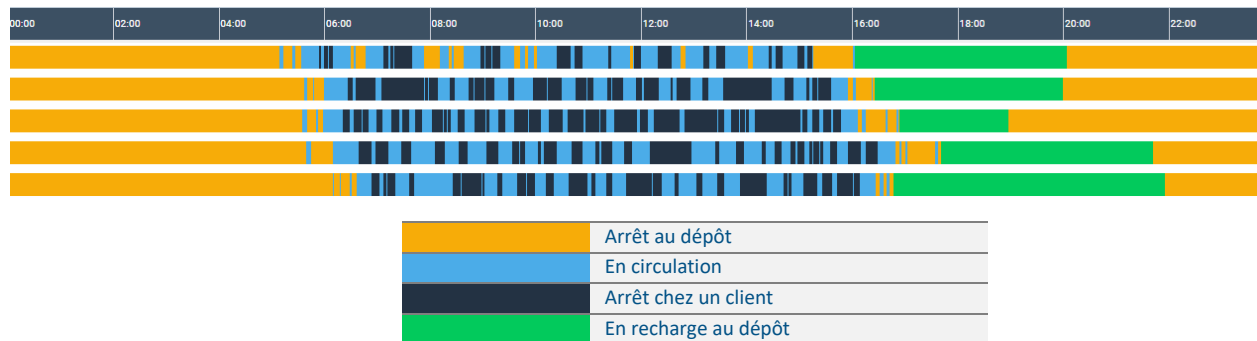
Camion # 3823 en version électrique

Peterbilt 579EV | 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 de Brossard en fin de journée. Avec une puissance de recharge d’environ 50 kW et une utilisation d’énergie quotidienne oscillant autour de 188 kWh durant le test, **la recharge prenait généralement moins de 4 heures**. Puisque le camion revenait généralement autour de 16h, il est normal de constater sur le graphique des déplacements ci-bas que la recharge était terminée au plus tard à 22h lors de l’essai. Le chauffeur ne reprenait la route que vers 5h le lendemain. On peut donc observer que le camion disposait de 7 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. Même en imaginant un cas extrême, s’il commençait sa recharge à 16h et était complètement déchargé, celle-ci devrait se terminer à 1h AM au plus tard.

Graphique 8 : Moments de déplacements, de recharge et arrêts typiques du camion 3823 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 à l’entrepôt de Brossard 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 lorsqu’il est utilisé sur un quart de travail**.

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 356 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.



Camion # 3823 en version électrique Peterbilt 579EV | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg



6.8. Scénarios d'utilisation atypiques

Les opérations électriques du camion 3823 durant les quatre semaines ont été ponctuées de quelques journées un peu différentes de la route pendulaire entre les deux usines de Candiatic. Le but était de vérifier si le camion électrique pourrait répondre aux besoins d'autres véhicules diesel de la flotte de Cascades.

Voyages Brossard - Candiatic :

Lors de l'essai, la borne de recharge fut positionnée à Brossard car c'est à cet endroit que le camion passe la nuit. Cependant, les deux autres lieux souvent fréquentés appartiennent aussi à Cascades, et **il serait possible d'envisager l'installation de bornes à l'un des sites de Candiatic aussi**, ce qui permettrait de recharger le camion à chaque voyage de 14 km, diminuant la capacité de batterie requise et **améliorant les possibilités d'utiliser le camion sur deux quarts de travail**.

Il était prévu de tester la recharge à chaque voyage lors d'une journée ou le camion fait des aller-retours Brossard – Candiatic, plutôt que Candiatic Groupe Tissu – Candiatic Liberté. Cependant ce scénario ne s'est réalisé que deux fois durant l'essai, et la recharge n'a pas pu être testée lors de ces deux journées.

Opération sur deux quarts de travail par jour :

À quelques reprises lors de l'analyse de phase 2, le tracteur diesel 3823 a été opéré de jour et de nuit. Ces deux quarts de 12h chacun couvrent une période de 24h. Il était donc souhaité par les gestionnaires de Cascades Transport de mesurer la possibilité de continuer à utiliser un camion électrique de la même façon.

Puisque la borne de recharge prêtée était d'une puissance de 50 kW, il était prévu de recharger le camion quelques heures après la fin du quart de jour, puis que le chauffeur du soir le prenne pour terminer son travail. Ce scénario n'a pas fonctionné, car les jours où le chauffeur de soir était disponible, il n'effectuait pas des voyages entre les deux usines de Candiatic, mais bien des livraisons LTL sur des trajets plus éloignés. Il devait donc quitter le terminal avant que le camion ait terminé sa recharge. De plus il n'était pas rassuré à l'idée d'essayer un camion inconnu le soir, alors que les ressources du projet ne sont pas disponibles pour le soutenir en cas de problème.

Une borne de recharge plus puissante aurait aidé à réaliser ce scénario.

Livraison à Varennes :

À trois reprises durant l'essai, le camion électrique a été utilisé pour livrer une cargaison à Varennes. Ce voyage de 110 km fut réalisé à partir de l'usine Cascades Groupe Tissu à Candiatic avec une remorque chargée à 20 000 lbs à l'aller, et une remorque vide au retour. **Les consommations d'énergie respectives par portion de trajet sont 93 kWh et 72 kWh**. En se fiant à la capacité annoncée du camion, celui-ci devrait être en mesure de faire deux fois ce voyage. Cependant, le cadran indicateur de charge restante montrait un état de charge beaucoup plus bas en fin de trajet, ce qui ne donnait pas suffisamment confiance au chauffeur pour faire un autre voyage. Les trois jours où cette route fut testée, le camion a été échangé pour un camion diesel avant la fin de l'avant-midi pour poursuivre les opérations.



7. Analyse de scénarios et consommation

Fonctionnement au ralenti

Le camion a fonctionné au ralenti environ 5 heures 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.

Durant l'essai, **le camion a consommé en moyenne 25,5 kWh d'énergie par jour** en marche au ralenti, soit une puissance moyenne de 4,7 kW. **Ceci équivaut à 7,2 % de la batterie utilisable.**

Lors des grands froids en hiver, le chauffage de l'habitacle et le conditionnement de la batterie du Peterbilt 579EV pourraient utiliser encore plus de puissance. Celle-ci ne sera à un niveau maximal qu'au démarrage. Une fois la température désirée atteinte dans l'habitacle et dans la batterie, la puissance en régime permanent sera moins élevée. **Pour mitiger ce pic en début de journée, l'habitacle et la batterie devraient être pré-chauffés avant le départ** alors que le camion est encore branché.

Incohérence entre État de Charge et énergie utilisée

Bien que le camion ait réussi à compléter les trajets pendulaires de la route 3823 en journée, il fut constaté au cours de l'essai que le pourcentage de batterie restant diminuait à un taux anormalement élevé par rapport au kilométrage parcouru et à l'énergie utilisée en cours de journée.

Plusieurs hypothèses ont été émises, mais après vérification auprès de Paccar, Peterbilt, ainsi que du fournisseur de batteries du camion, il semblerait qu'**une calibration fautive du système de gestion des batteries, affectant spécifiquement cette unité, explique en partie cette perte de capacité apparente.** Les véhicules électriques sont munis d'un système de gestion des batteries, appelé « BMS » (*Battery Management System*). Ce dernier empêche les batteries de trop se charger ou se décharger. Celui du véhicule à l'essai empêchait la batterie de se décharger complètement et indiquait un état de charge inférieur à l'énergie réellement stockée. À la suite de l'essai, l'IVI a évalué une perte d'autonomie d'environ 20 % attribuable à cette calibration inadéquate.

Après avoir effectué un essai chez Cascades Transport, le système de gestion de batterie a été recalibré par Peterbilt et des tests d'autonomie ont été réalisés. Cette recalibration a augmenté l'énergie utilisable de 9 %, ramenant la capacité à une valeur plus proche de la donnée annoncée par le fabricant, bien que toujours inférieure aux attentes initiales. La cause de la proportion manquante reste encore à déterminer et fait l'objet d'une investigation. L'IVI a pu accéder à des données montrant qu'au moins un autre camion de modèle similaire possède une capacité utilisable semblable, mais ne peut se prononcer quant à l'ensemble des 579EV de Peterbilt.

Si le camion avait eu accès à cette énergie recouvrée par les manœuvres de Peterbilt lors de l'essai chez Cascades Transport, l'état de charge minimal à la fin des plus longues journées d'échanges de remorque entre les deux entrepôts de Candiac aurait été de 27 % plutôt que 18 %. De plus, après une livraison à Varennes, il aurait été de 35 %. Cela aurait permis 4 allers-retours supplémentaires à Candiac. **Le Peterbilt 579EV avec son BMS bien calibré aurait donc pu compléter une portion plus élevée d'opérations.**

Afin de prévenir la décalibration du BMS, Peterbilt recommande aux propriétaires de camions 579EV de recharger le véhicule jusqu'à 100 % au minimum une fois par semaine.

8. Analyse des données qualitatives

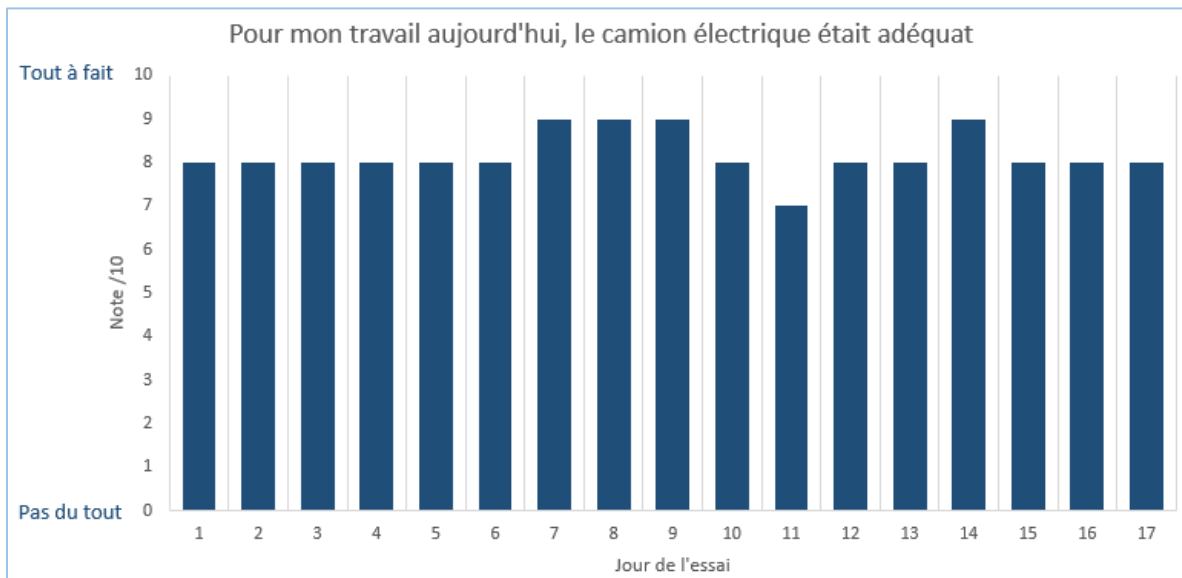


Figure 6 : Le conducteur du camion 3823

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.

Le Graphique 9 montre bien l'évolution de l'appréciation et de la confiance du conducteur envers le camion électrique :

Graphique 9 : Réponses au compte-rendu quotidien du conducteur du camion 3823



Au début de l'essai, il attribuait des notes de 8/10, car il n'était pas habitué au camion et à la gestion de l'autonomie, particulièrement avec un cadran pour évaluer l'énergie restante. Puis, après quelques jours à se familiariser, les notes ont augmenté à 9/10. En même temps, les commentaires étaient plus positifs. Les notes ont redescendu à 7/10 lorsqu'un problème de chauffage est survenu, puis ont remonté jusqu'à 9/10 avant de se stabiliser à 8 dans les derniers jours qui étaient plus chargés. Le camion terminait alors sa journée avec un état de charge plutôt bas, ce qui pouvait être anxiogène pour son opérateur.

En plus de la question standardisée présentée plus haut, le conducteur a 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
- Il est arrivé à quelques reprises que le chauffage ou le camion arrête de fonctionner spontanément et soit difficile à repartir
- Les conducteurs de Cascades et des autres entreprises le remarquent et démontrent de la curiosité, posent des questions.
- Il est moins fatiguant de conduire un camion électrique toute la journée
- Le fonctionnement du frein moteur est très agressif et peut faire bloquer les roues arrière sur chaussée glissante lorsque le camion ne tire pas de remorque
- L'état de charge diminue beaucoup plus rapidement lorsqu'on circule sur l'autoroute

Le conducteur a également mentionné à quelques reprises avoir atteint un état de charge très bas et ce, tôt dans la journée. Bien qu'il commençait sa journée de travail très tôt le matin, il est arrivé à trois reprises qu'il ait à prendre un camion diesel pour terminer ses livraisons, car la batterie était déchargée en fin d'avant-midi.

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 :

- Une borne de recharge de 50 kW, bien qu'adéquate pour rouler le camion un quart de travail, ne recharge pas le camion assez rapidement pour utiliser celui-ci dès le début du quart de nuit. Ceci empêche parfois son utilisation pour toute la nuit, si la route n'est pas constituée d'échanges de remorques aux deux sites de Candiac

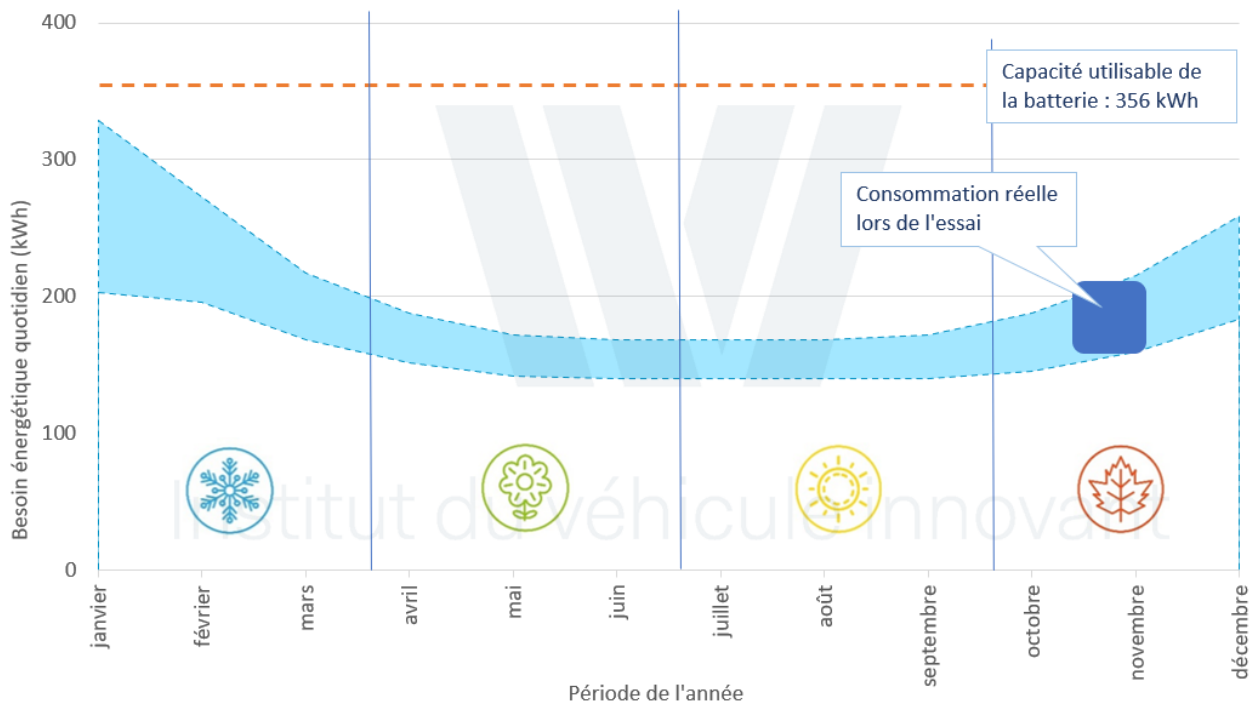
9. Extrapolations sur le restant de l'année

L'essai en conditions réelles du Peterbilt 579EV a eu lieu au début du mois de novembre, alors que les températures extérieures commençaient à chuter, s'éloignant des températures idéales pour le fonctionnement d'un véhicule électrique autour de 20°C. Une certaine augmentation de la consommation dû à la baisse de température et l'effet de l'utilisation du chauffage ont pu être observés.

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 fabricants 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 suffisante pour combler la demande énergétique du camion 3823, rendant cette route possible toute l'année.

Graphique 10 : Fluctuation saisonnière du besoin énergétique quotidien de la route 3823



10. Raffinement des modèles financiers

L'essai de phase 3 chez Cascades Transport aura permis de raffiner l'estimation des coûts d'électricité, et donc des bénéfices financiers associés à l'électrification du camion 3823.

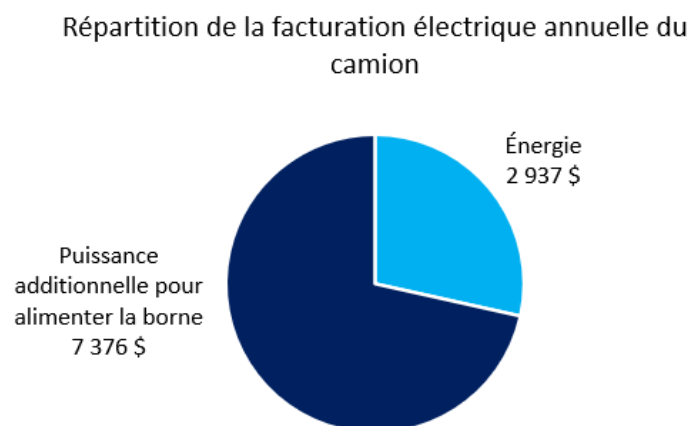
En réalisant une analyse plus approfondie des factures d'électricité de l'entreprise avant et durant l'essai, l'hypothèse des coûts a été ajustée. Celle-ci tenait compte d'un tarif d'électricité BR dédié aux bornes de recharge rapide à courant continu. Pour l'essai du Peterbilt, la borne a été raccordée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

L'essai a coûté environ 1 576 \$ en électricité, pour 1 825 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 933 \$ par mois d'électricité, en automne.

Les données récoltées pendant l'essai permettent d'estimer qu'il **coûterait 10 313 \$ d'électricité par année pour opérer un camion électrique sur la route #3823**. Ce coût est estimé à partir du kilométrage annuel de 26 964 km, pour **un coût de 0,38 \$/km en électricité**.

Ces coûts d'électricité se comparent avantageusement au diesel. Pour améliorer la précision de cette comparaison, les gestionnaires de Cascades Transport ont fourni leur prix moyen de carburant, qui est de \$/L. En considérant la consommation mesurée de 40 L/100 km durant l'analyse de phase 2, le coût annuel de carburant serait de \$, ce qui revient à \$/km. Ainsi, **en termes de « carburant », le camion électrique revient 38 % moins cher**.

Il est à noter que dans ce scénario, **la majeure partie (72 %) de la facturation d'électricité annuelle est attribuée au montant à défrayer pour avoir accès à la puissance (kW) :**



Graphique 11 : 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 #3823, 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 de Cascades Transport 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. L'impact est important puisque le coût du carburant a diminué de façon significative, et il fut spécifié que **les camions de ville ne sont conservés que 6 ans plutôt que 10**. Ces bénéfices sont résumés au tableau suivant :

Tableau 4 : Bénéfices financiers de l'électrification du camion 193 tel que déterminés à la phase 2

Émissions de CO ₂ eq évitées après 6 ans	199 t
Période de retour sur investissement	8,7 années
Bénéfice net après 6 ans	(12 805) \$

L'ajustement de la durée de vie des camions et du coût réel du diesel pour Cascades a eu un effet important sur les bénéfices potentiels pour la route étudiée. **En utilisant le camion seulement le jour, il n'est pas rentable d'électrifier le 3823.**

Modèles financiers ajustés pour un scénario de recharge facilitant l'utilisation du camion le soir

Tel que soulevé par les gestionnaires de Cascades Transport, le fait d'avoir une seule borne de recharge de puissance relativement faible à Brossard a rendu plus difficile l'utilisation du camion le soir en plus du jour.

L'installation d'une infrastructure de recharge plus puissante, ou de plusieurs bornes aux différents endroits où s'arrête le camion aurait vraisemblablement permis d'opérer 24 heures par jour. Ceci permettrait d'éliminer totalement les activités présentement complétées par le camion 3823 au diesel et aurait donc des avantages évidents en termes de réduction de consommation de carburant et d'économies sur les frais d'énergie. Alors qu'il pourrait sembler intuitif de simplement installer une borne beaucoup plus puissante, l'IVI préconise très rarement cette approche car les coûts d'électricité peuvent augmenter drastiquement, et l'approvisionnement en puissance électrique devient autrement plus compliqué.

Ainsi, quelques scénarios ont été considérés et sont comparés ci-après. Ces pistes de solutions sont comparées au scénario mesuré durant l'essai, soit celui d'utiliser le camion seulement pour un quart de travail avec une borne 50 kW. Ces scénarios supposent que le camion aurait roulé à tous les soirs, ce qui n'a pas été démontré lors de l'analyse de phase 2. En ce sens, ils sont un peu optimistes. Certaines données peuvent être un peu différentes de celles montrées précédemment pour simplifier les calculs.

Tableau 5 : Scénarios de rentabilité pour plusieurs configurations de bornes de recharge

Scénario de recharge	50 kW (Brossard)	150 kW (Brossard)	50 kW (Brossard) + 50 kW (Candiac)	50 kW (Brossard) + 50 kW (Gr. Tissu) + 50 kW (Liberté)
Coût des bornes de recharge				
Acquisition et installation	100 000 \$	200 000 \$	200 000 \$	300 000 \$
Incidatifs à l'acquisition	75 000 \$	135 000 \$	150 000 \$	225 000 \$
Surcoût net incluant le camion	75 000 \$	115 000 \$	100 000 \$	125 000 \$
Données de consommation				
Kilométrage annuel	32 500 km	65 000 km	65 000 km	65 000 km
Coût du diesel annuel				
Électricité consommée annuellement	53 625 kWh	105 606 kWh	105 606 kWh	105 606 kWh
Coût d'électricité annuel estimé	10 181 \$	28 461 \$	20 362 \$	27 603 \$
Données financières				
Économie d'énergie annuelle	9 969 \$	11 839 \$	19 938 \$	12 697 \$
Bénéfice net après 6 ans	(15 185) \$	(43 965) \$	19 631 \$	(48 817) \$

Ces données tiennent compte de plusieurs hypothèses qui n'ont pu être vérifiées :

- Les stratégies employées seraient suffisantes pour permettre l'utilisation du camion à tous les soirs. Ce scénario n'a d'ailleurs pas été confirmé lors de la prise de mesures en phase 2, alors que le camion a roulé sur deux quarts moins de la moitié des jours observés.
- Les tarifs d'électricité et les appels de puissance ne sont pas connus aux deux entrepôts de Candiac. L'IVI a estimé que ceux-ci sont identiques à l'entrepôts de Brossard.
- L'utilisation du camion 3823 sur un seul quart de travail réduirait probablement son usure et permettrait de le conserver plus longtemps, ce qui aiderait sa rentabilité. De plus, le partage des infrastructures de recharge avec plusieurs camions permettrait d'amortir leur coût et de réduire la portion de la facture qui est attribué à ce véhicule.

11. Conclusions

L'analyse des données collectées pendant la mise en opération d'un mois du Peterbilt 579EV chez Cascades Transport 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 Cascades Transport a montré que la route # 3823 présentait un bon potentiel d'électrification. L'IVI a mesuré une consommation réelle maximale de 228 kWh par jour en condition automnale, permettant de solidifier l'hypothèse qu'une batterie de capacité nominale de 339 kWh et plus permettrait d'électrifier un quart de travail sur toute l'année.

Le Peterbilt 579EV prêté par le concessionnaire Excellence Peterbilt 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 opérer un quart par jour toute l'année sans enjeu d'autonomie sur la route # 3823.

La recharge ne s'est pas avérée être complexe à insérer dans l'horaire d'opération du camion lorsque celui-ci est utilisé seulement un quart de travail sur deux. La recharge à 50 kW demandait seulement 4 heures, alors que le camion était stationné toute la nuit. Cependant, pour l'opération sur deux quarts de travail par jour, une stratégie plus élaborée et possiblement une borne de recharge plus puissante auraient été requises.

En effet, ces facteurs ont rendu impossible, durant le mois d'essai, de tester les opérations de nuit et de jour. À ceci s'ajoute l'affichage de l'état de charge restant qui est plutôt rudimentaire, ce qui n'a pas facilité l'estimation précise de ses capacités par le chauffeur. Aussi, l'écart observé entre l'énergie nominale anticipée de la batterie et celle mesurée a empêché quelques opérations.

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 deuxième démonstration avec Cascades Transport 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. 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

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.