



Flotte rechargeable Camions lourds

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

Rapport phase 2 – Transport Frédéric Bouchard

Par : Philippe Louiseize, ing.

Révisé par : Mathieu Chevigny et Charles Trudel, ing.

Date : 21 février 2024



Institut du véhicule innovant

Table des matières

1. Faits saillants	6
2. Méthodologie	7
3. Méthodologie : Scénarios d'électrification	9
4. Limites de l'analyse	11
5. Présentation de l'entreprise.....	12
6. Véhicules analysés.....	13
7. Analyse du camion TFB03.....	18
8. Scénario d'électrification pour le camion TFB03.....	21
9. Analyse du camion TFB06.....	26
10. Scénario d'électrification pour le camion TFB06.....	29
11. Analyse du camion TFB09.....	34
12. Scénario d'électrification pour le camion TFB09.....	37
13. Conclusions et recommandations	42
14. Sources des données	44
15. Informations et contact.....	45
16. Remerciements	46



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

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

Liste des tableaux

Tableau 1 : Énergie nominale vs. Utilisable d'un camion électrique à différents stades de vie	10
Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation des véhicules de Transport F. Bouchard	14
Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion TFB03 ...	19
Tableau 4 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion TFB03	20
Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion TFB03	24
Tableau 6: Bénéfices financiers de l'électrification du camion TFB03	24
Tableau 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion TFB06 ...	27
Tableau 8: Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion TFB06	28
Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion TFB06	31
Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion TFB06	32
Tableau 11 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion TFB09 .	35
Tableau 12 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion TFB09	36
Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion TFB09	39
Tableau 14: Bénéfices financiers de l'électrification du camion TFB09	40
Tableau 15: Recommandation d'électrification des camions de Transport Frédéric Bouchard	42

Liste des figures

Figure 1 : Échelle de dénivelé allant du plus petit dénivelé au plus grand	8
Figure 2 : Camions utilisés durant la période d'instrumentation, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 03, 06 et 09	13
Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion TFB03 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Transport Frédéric Bouchard	18
Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion TFB06 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Transport Frédéric Bouchard	26
Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion TFB09 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Transport Frédéric Bouchard	34

Liste des graphiques

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion	15
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Transport F. Bouchard	16
Graphique 3 : Heures par jour au dépôt, sans les fins de semaine et les fériés	17
Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion TFB03 ...	20
Graphique 5: Journées de mesure du camion TFB03, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh).....	21
Graphique 6 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion TFB03	22
Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion TFB03.....	23
Graphique 8: Émission sur la vie du camion TFB03, Diesel vs. Électrique	25
Graphique 9 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion TFB06 ...	28
Graphique 10 : Journées de mesure du camion TFB06, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh).....	29
Graphique 11 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion TFB06	30
Graphique 12 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion TFB06.....	31
Graphique 13 : Émission sur la vie du camion TFB06, Diesel vs. Électrique	32
Graphique 14 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion TFB09 .	36
Graphique 15 : Journées de mesure du camion TFB09, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh).....	37
Graphique 16 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion TFB09	38
Graphique 17 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion TFB09.....	39
Graphique 18 : Émission sur la vie du camion TFB09, Diesel vs. Électrique	40

À PROPOS DE L'IVI

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

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

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

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

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

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

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

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

Québec 

 Hydro Québec

1. Faits saillants

Le présent rapport a pour but de mesurer la pertinence d'électrifier trois camions de la compagnie Transport Frédéric Bouchard.

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

81 % des journées se terminent en ayant parcouru plus de 275 km

76 % des arrêts entre les quarts de travail durent 8 heures ou plus

Camion 03 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification		
Critère	Valeur			
Distances	Très Longues	-	Estimation de consommation électrique en été	239 kWh / 100 km
Constance	Constantes	+	Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	310 kWh / 100 km
Dénivelé	Moyen	+/-	Pénalité de chargement ?	Oui
Recharge en journée	Non	-	Capacité nominale requise pour 90 % des journées	3 696 kWh
Chargement	Très Lourd	-	Batterie disponible ?	Non
Accessoires	Aucun	+		

Camion 06 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification		
Critère	Valeur			
Distances	Très Longues	-	Estimation de consommation électrique en été	238 kWh / 100 km
Constance	Constantes	+	Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	310 kWh / 100 km
Dénivelé	Moyen	+/-	Pénalité de chargement ?	Oui
Recharge en journée	Non	-	Capacité nominale requise pour 90 % des journées	3 104 kWh
Chargement	Très Lourd	-	Batterie disponible ?	Non
Accessoires	Aucun	+		

Camion 09 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification		
Critère	Valeur			
Distances	Longues	-	Estimation de consommation électrique en été	237 kWh / 100 km
Constance	Constantes	+	Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	309 kWh / 100 km
Dénivelé	Moyen	+/-	Pénalité de chargement ?	Oui
Recharge en journée	Possible	+/-	Capacité nominale requise pour 90 % des journées	3 549 kWh
Chargement	Lourd	-	Batterie disponible ?	Non
Accessoires	Aucun	+		

2. Méthodologie

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

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

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

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

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

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

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

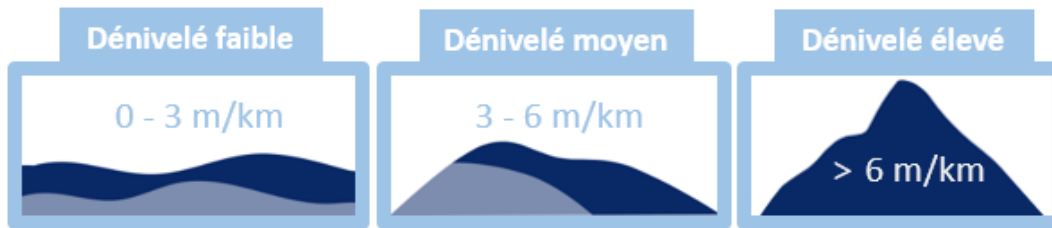


Figure 1 : Échelle de dénivelé allant du plus petit dénivelé au plus grand

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

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

3. Méthodologie : Scénarios d'électrification

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Capacité totale (nominale), telle qu'annoncer à la vente	Capacité réelle utilisable, camion neuf	Capacité avec marge confort, camion neuf	Capacité approximative restante avec marge de confort, long terme
100 kWh	90 kWh	85 kWh	75 kWh

4. Limites de l'analyse

Les données et analyses présentées dans ce rapport sont basées sur une modélisation réalisée par l'IVI. Bien que celle-ci soit effectuée avec le plus de rigueur possible, certaines variables ne peuvent être simulées de façon réaliste ou pratique. Il est donc à prévoir qu'il y aurait une différence, et une variation entre l'énergie estimée et l'énergie qui serait réellement utilisée pour les déplacements en camion électrique. Les résultats présentés ne constituent donc aucunement une garantie de l'exactitude de la consommation d'un camion électrique qui remplacerait un des camions diesel étudiés, ni une garantie que le remplacement d'un des camions diesel étudiés est réellement possible sans perte de productivité ou sans effet pour l'entreprise, ses employés ou ses clients.

Les suggestions de tailles de batteries et les résultats rapportés sont valables au moment de la mise en service du véhicule. Il est important de considérer qu'une dégradation de la batterie surviendra au cours de la vie du véhicule. Cette dégradation est causée par le nombre de cycles de recharges et le temps écoulé depuis la fabrication. Durant les années suivant sa mise en service, une batterie devrait expérimenter une dégradation de 10 %, en moyenne. Ainsi, une batterie dont la capacité utilisable serait de 300 kWh en début de vie devrait être utilisée à 285 kWh (-5%) en début de vie, et aurait 225 kWh (-15%) utilisables après plusieurs années. Il faut donc prévoir qu'après quelques années d'opération, il ne sera peut-être plus possible de compléter les routes les plus longues sans prévoir d'ajustement tel qu'une séance de recharge additionnelle pendant la journée. Alternativement, choisir une batterie contenant plus d'énergie peut prémunir le gestionnaire de flotte contre ceci, si disponible.

De plus, les valeurs utilisées pour l'approximation des coûts des camions, du carburant et de l'électricité varieront grandement selon les équipements sélectionnés, la période d'amortissement, la complexité de l'installation, la consommation et la tarification électrique. Tous ces éléments affecteront l'estimation finale du calcul de rentabilité.

Les coûts d'installation électrique, d'assurance, d'achat d'infrastructure de recharge et même le prix d'achat des camions sont basés sur les meilleures approximations obtenues par l'IVI au moment d'écrire le rapport. Ceux-ci peuvent avoir changé au moment de la lecture ou d'un achat ultérieur. Il est donc nécessaire pour toute entreprise, incluant celle visée par le présent rapport, d'obtenir ses propres soumissions pour estimer avec précision sa rentabilité.

Malgré les meilleures estimations de l'IVI, si l'entreprise décide d'électrifier une route, elle doit comprendre qu'il est possible qu'il soit nécessaire d'apporter des ajustements pour éviter les pannes et interruptions de service, couvrir les besoins des journées les plus extrêmes, ou améliorer la rentabilité.

Puisque le présent projet a pour but d'informer le plus de gestionnaires de parcs de véhicules lourds possibles, donc d'offrir une analyse à plusieurs organisations, seulement trois (3) véhicules par entreprise sont étudiés. Il est donc important de considérer que les conseils résultants peuvent ne pas être représentatifs de l'ensemble des opérations du participant.

5. Présentation de l'entreprise



Transport Frédéric Bouchard œuvre dans le domaine du transport forestier depuis 1999, principalement dans le transport de billots de bois, de copeaux et de machinerie lourde. Composé d'une vingtaine d'employés, l'entreprise a pour principale mission de répondre au besoin en transport de la région du Saguenay Lac-St-Jean. Depuis 2021, Scierie Girard est actionnaire de l'entreprise. Une portion importante de leur volume d'affaires est donc dédiée à ce partenaire.

La flotte de Transport Frédéric Bouchard se compose de 13 camions. Parmi ceux-ci, 5 sont affectés au transport routier vers différents clients, tandis que les autres circulent sur un itinéraire unique, le long d'un chemin forestier. Comme c'est la norme pour les transporteurs forestiers, les camions sont souvent lourdement chargés, dépassant largement la limite de 80 000 lbs autorisée pour les remorques à deux essieux. Ces conditions sont très exigeantes, ce qui signifie que l'entreprise ne peut pas conserver ses véhicules plus de 5 ans.

6. Véhicules analysés

Pour donner suite aux discussions avec le gestionnaire du parc, les trois camions retenus pour l'analyse sont les unités 03, 06 et 09. Les trois camions sont des tracteurs de classe 8, deux Kenworth et un Peterbilt.



Figure 2 : Camions utilisés durant la période d'instrumentation, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 03, 06 et 09

Ces camions ont été retenus car ils avaient des routes récurrentes et pendulaires plus longues, à la limite du critère de distance par rapport au terminal de l'entreprise. De plus, ces routes sont répétées plusieurs fois par jour. Il était donc intéressant de découvrir s'il serait possible d'élaborer des scénarios de recharge par opportunité ou de remplacer un camion par deux tracteurs électriques pour compléter ces routes. Ils retournent également à leur dépôt à la fin de leur quart de travail. Ils représentent bien les deux autres camions routiers de la flotte.

Bien qu'il soit tentant d'appliquer les conclusions des trois camions présentés dans ce rapport à tout autre camion de la flotte, l'IVI préfère ne pas émettre de diagnostic ferme sur ceux-ci, car beaucoup de variables autres que ceux mentionnés précédemment influencent les simulations effectuées. Une étude approfondie de ces véhicules s'imposerait donc pour affirmer avec certitude le potentiel d'électrification des véhicules autres que ceux présentés dans ce document.

Certaines informations ont été jugées pertinentes à présenter de manière regroupée plutôt qu'individuellement par camion. Elles sont présentées immédiatement ci-bas. Des détails sont ensuite divisés par camion, pour bien comprendre leurs modes de fonctionnement et comment celui-ci impacterait la consommation électrique.

Quelques données saillantes ont été compilées dans un tableau résumé, voir le Tableau 2. Bien que ces données ne fournissent que très peu d'information sur la possible consommation d'un camion qui serait électrifié, elles permettent de comprendre les généralités des opérations de ces trois camions. Ces informations ne devraient pas receler d'importantes surprises pour les gestionnaires de Transport Frédéric Bouchard.

Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation des véhicules de Transport F. Bouchard

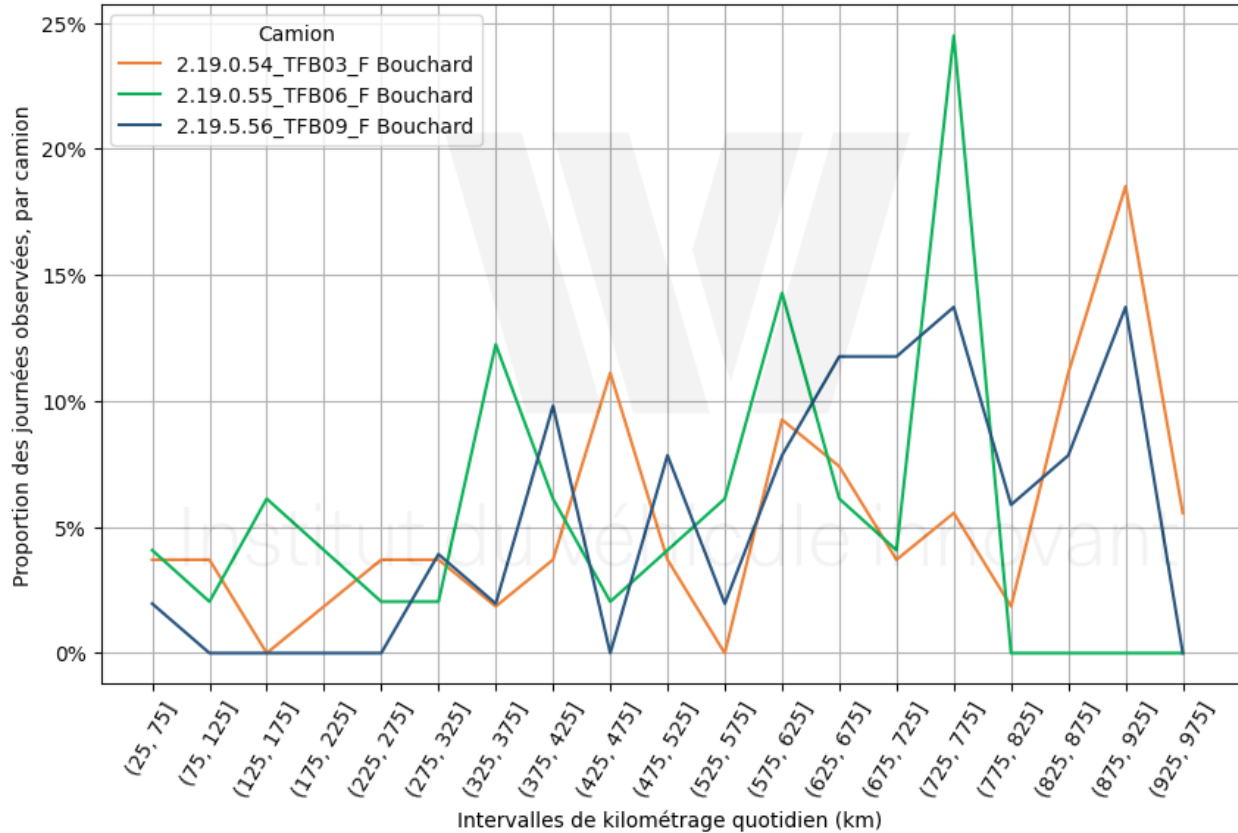
Camion #	TFB03	TFB06	TFB09
Distance parcourue			
Durant le test	34 264 km	24 728 km	34 386 km
Annuellement (estimée)	137 057 km	98 911 km	137 543 km
Carburant			
Consommé durant le test	14 750 L	N/A L	19 504 L
Consommé annuellement (estimé)	59 001 L	N/A L	78 016 L
Consommation moyenne	43,0 L/100 km	N/A L/100 km	56,7 L/100 km
Ralenti			
Temps par jour en moyenne	1,8 h	0,7 h	2,1 h
Carburant consommé au ralenti par jour	4,0 L	2,2 L	2,5 L
Carburant consommé par année (estimé)	889 L	422 L	614 L
Opérations			
Vitesse moyenne en déplacement	72 km/h	69 km/h	71 km/h
Nombre de jours actifs durant l'analyse	54 jours	53 jours	50 jours
Masse totale moyenne	31 485 kg	32 527 kg	30 841 kg

Le Tableau 2 permet de constater que les trois camions de Transport Frédéric Bouchard parcourent de grandes distances, à haute vitesse et avec un chargement lourd. Ces trois paramètres sont à l'opposé des valeurs habituelles pour faciliter l'électrification d'un camion lourd, à ce jour. Une analyse plus granulaire des déplacements pourrait soulever des possibilités qui sont jusqu'ici peu évidentes.

Les données de consommation en conduite du camion 06 n'ont pas été enregistrées par l'appareil de télématique. Ceci peut être dû à une faute de communication ou une incompatibilité des signaux entre le modèle du véhicule et l'appareil.

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

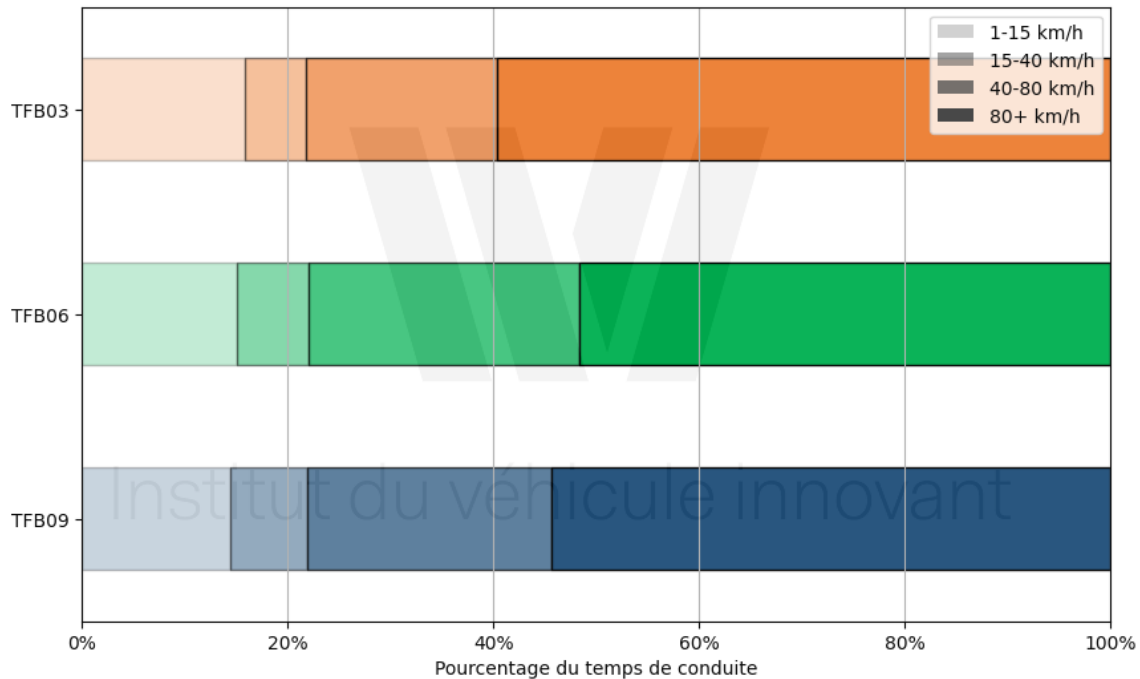
Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion



En observant le Graphique 1, il est possible de remarquer que les trois camions parcourent des distances assez irrégulières. Les intervalles de distances les plus populaires sont autour de 700, et même 800 km par jour. En effet, lors de la période d’analyse, les camions ont parcouru plus de 275 km 81 % des jours de mesure.

Un autre facteur d'importance est la vitesse du véhicule. Le graphique suivant apporte plus de précisions sur la répartition du temps dans différentes plages de vitesses. De gauche à droite, les quatre dégradés de couleurs indiquent la proportion du temps de conduite passée entre 1 et 15 km/h, 15 – 40 km/h, 40 – 80 km/h, et finalement 80 km/h et plus. Ces divisions représentent respectivement des vitesses typiques pour un camion qui circulerait dans une cour, dans le trafic, en ville puis sur l'autoroute. Les bandes plus foncées représentent donc des moments à vitesse plus élevée.

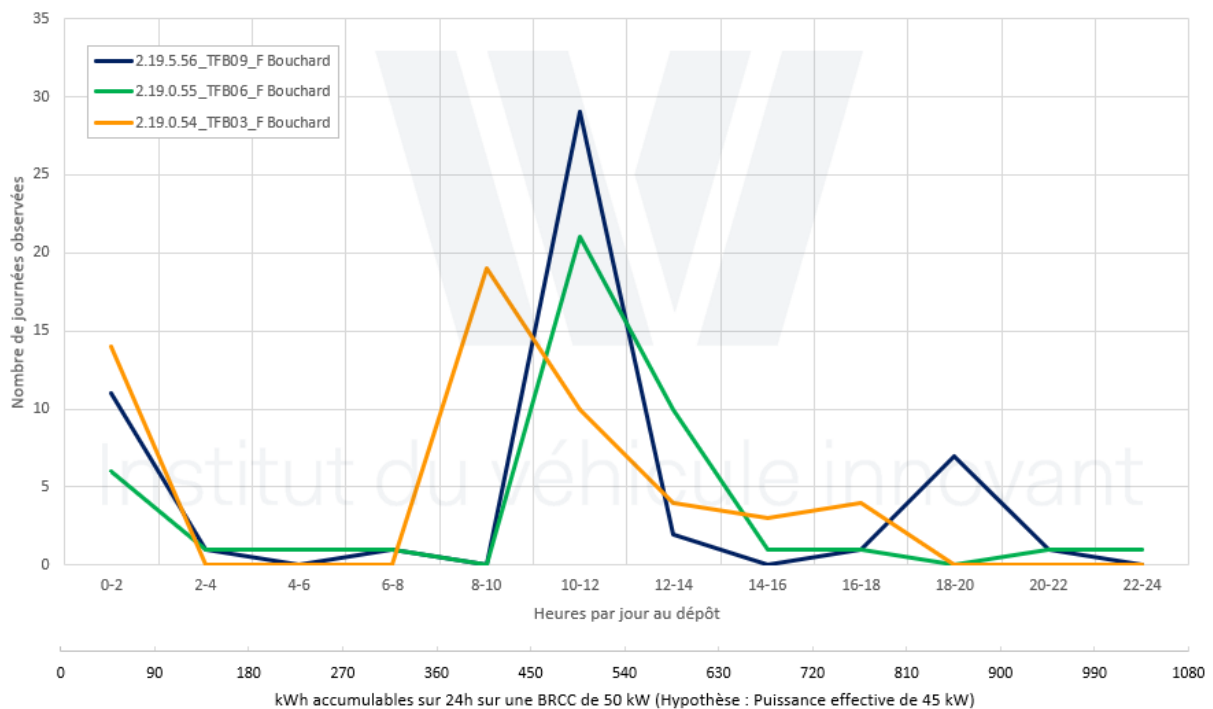
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Transport F. Boucard



Tel qu'abordé plus haut, les camions roulent à une vitesse moyenne élevée. Ceci est confirmé en plus de détail par le Graphique 2. Celui-ci permet d'observer que les trois camions passent la majeure partie du temps de conduite à une vitesse supérieure à 80 km/h. Rouler à vitesse élevée est beaucoup plus énergivore qu'à basse vitesse, pour un camion électrique.

Le mode de ravitaillement des véhicules électriques est complètement différent de celui des véhicules à combustion interne. En effet, la méthode la plus efficace et la moins coûteuse d’opérer commercialement un véhicule électrique consiste à charger le véhicule à la borne de recharge la plus lente possible, au dépôt, durant ses périodes d’inactivité. Il va donc de soi que plus ce temps est long, plus la borne peut être lente (moins puissante). L’IVI préconise la sélection d’infrastructures de recharge les moins puissantes possibles pouvant satisfaire les besoins (incluant les marges de sécurité et de confort), car celles-ci sont moins coûteuses à acquérir, installer puis opérer. Les trois véhicules sont arrêtés plusieurs heures entre chaque quart (la nuit pour les véhicules 03 et 06, et le jour pour le 09). **Ces moments seraient propices pour la recharge, mais il serait nécessaire de stationner les camions ailleurs, car ceux-ci sont présentement arrêtés aux résidences de leur chauffeur respectif, où il est impossible de recharger assez rapidement.** Le Graphique 3 montre la répartition des heures passées à l’arrêt.

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



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

Les trois camions analysés disposent d’une durée d’arrêt à un lieu constant entre chaque quart de 8 heures ou plus et ce, 76 % des jours.

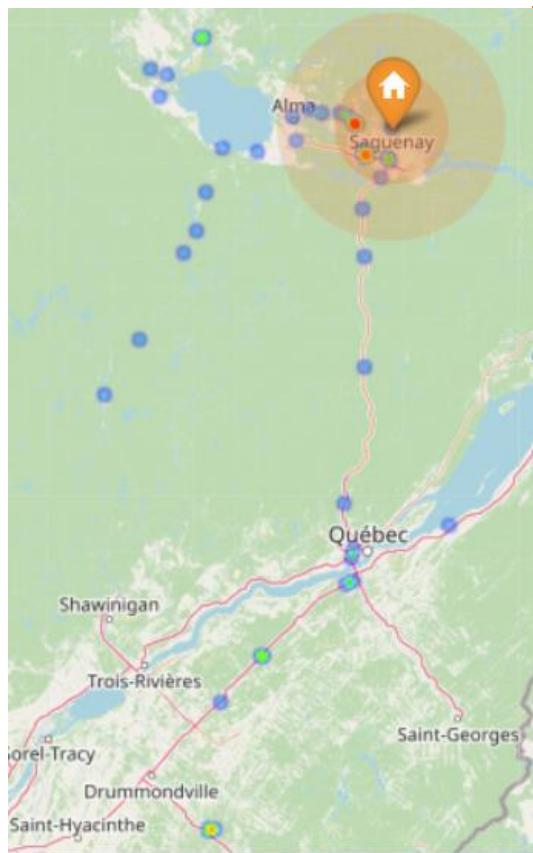
Les pages suivantes présentent en détail l’analyse des déplacements de chaque camion, qui conduira à déterminer leurs besoins énergétiques si ceux-ci étaient remplacés par des camions électriques, dans la portion scénario d’électrification de ce rapport.



7. Analyse du camion TFB03

Le camion au diesel TFB03 transporte des copeaux entre la scierie Girard, à Shipshaw et différents clients. Il tire majoritairement des remorques 3 ou 4 essieux.

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



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

Les deux points rouges représentent la scierie Girard et l'endroit où le camion est stationné fréquemment la nuit. Outre ceci, les principaux clients sont situés à Mistassini, Richmond, La Tuque, Stoneham, Saint-Félicien et Alma. Très peu des endroits visités sont donc à l'intérieur d'un rayon de 25 ou 50 km du dépôt de Transport Frédéric Bouchard.

De plus, quelques lieux à moins de 160 km du terminal sont visités fréquemment. Ces lieux sont aux limites du critère établi en début de projet pour déterminer si un camion effectue des livraisons de courte distance. Cependant, le camion TFB06 y effectue plusieurs allers-retours à chaque jour, parcourant donc de longues distances.

Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion TFB03 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Transport Frédéric Bouchard



Dénivelé moyen

5,7 m/km

Le dénivelé du territoire parcouru est un critère important dans l'évaluation de la consommation d'énergie. Le camion TFB03 évolue dans plusieurs régions montagneuses.

L'indice de côtes à gravier indique que ce camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 5,7 mètres pour chaque kilomètre parcouru. Il dépensera donc plus d'énergie qu'un camion qui circulerait exclusivement sur l'autoroute 20, par

exemple.



Camion # TFB03

Kenworth W990 - 2023 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

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

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

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

Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion TFB03

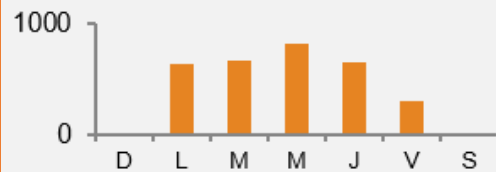
Le camion TFB03 est utilisé 5 jours par semaine, du lundi au vendredi. Le graphique au centre permet de voir que ses vendredis sont moins occupés que les autres jours de la semaine, et les mercredis sont les plus intenses.

Les distances quotidiennes sont assez régulières, tel qu'il est possible d'observer par la régularité des couleurs d'un jour de semaine à l'autre.

La distance moyenne, de même que la journée du 90^e percentile, sont bien au-delà des distances généralement réalisées par un camion électrique avec une seule charge, et ce sans compter les chargements lourds, les côtes et les vitesses élevées attribués à ce véhicule.

Des opportunités de recharge en journée devraient sans doute être étudiées.

Max	1033	km
90%	905	km
Med	661	km
Moy	633	km
σ	273	km
CV	43%	



	D	L	M	M	J	V	S
mai	-	248	425	424	424	444	-
	-	864	493	1015	734	26	-
	-	-	477	625	614	343	-
	-	853	632	903	585	185	-
juin	-	117	583	900	886	303	-
	-	871	935	815	671	252	-
	-	1033	866	933	489	-	-
	-	695	862	945	632	-	-
juil.	-	894	889	905	736	306	-
	-	900	852	677	651	446	-
	-	474	878	878	735	466	-
	-	124	-	-	-	-	-
août	-	-	51	-	-	-	-
	-	434	-	-	-	-	-

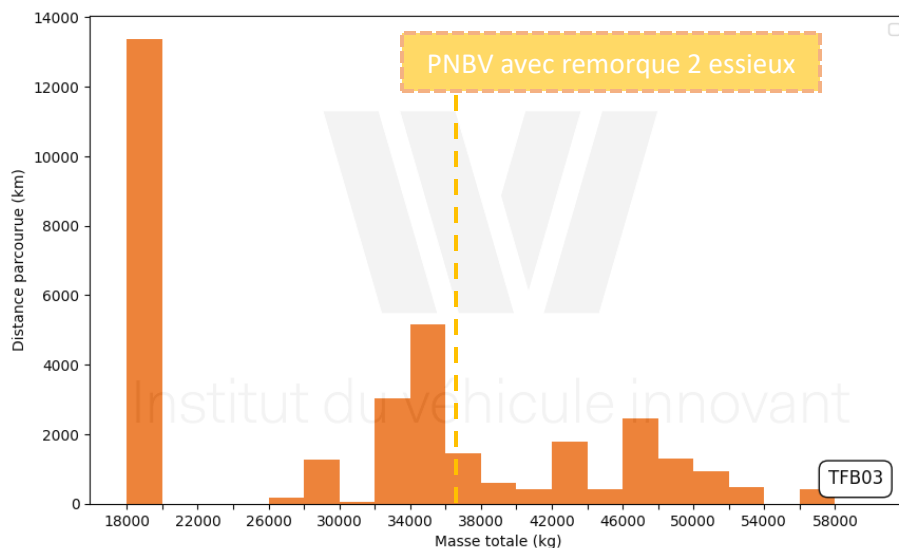


Camion # TFB03

Kenworth W990 - 2023 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

L'énergie requise pour chaque accélération et chaque montée est directement proportionnelle à la masse totale du véhicule, incluant son chargement. Le poids de la cargaison transportée par le camion TFB03 a été notée pour chaque trajet pour mesurer ces énergies avec précision. Le graphique suivant montre la distance parcourue en fonction de la masse totale du véhicule.

Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion TFB03



Le camion TFB03 tracte majoritairement une remorque à trois ou quatre essieux. Il est donc normal de constater que sa masse totale dépasse fréquemment 36 364 kg (80 000 lbs), qui est la limite permise avec une remorque à deux essieux. Les camions électriques présentement sur le marché ne sont pas recommandés au-delà de ce seuil, ce qui aurait été problématique pour 28 % de la distance parcourue durant la période de collecte de données.

De plus, le surpoids causé par des batteries pourrait être à considérer, si le camion utilise une remorque à deux essieux ou s'il est chargé près de la limite permise pour la remorque utilisée.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion TFB03 permet de déterminer les grandes lignes qui affecteront son potentiel d'électrification des façons suivantes :

Tableau 4 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion TFB03

Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	Très Longues	-
Constance	Constantes	+
Dénivelé	Moyen	+/-
Recharge en journée	Non	-
Chargement	Très Lourd	-
Accessoires	Aucun	+

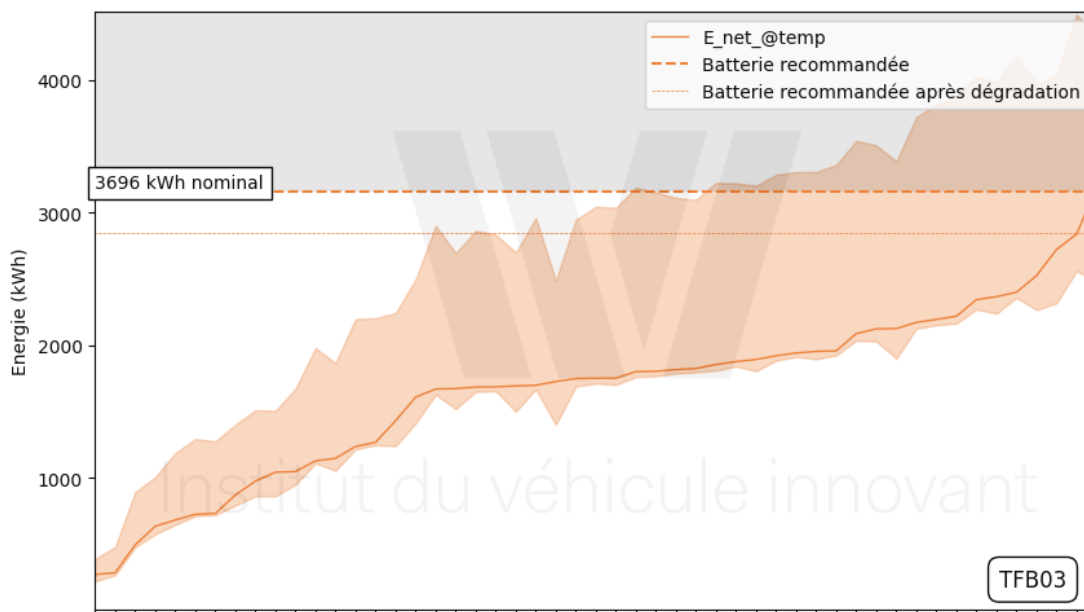


8. Scénario d'électrification pour le camion TFB03

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

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

Graphique 5: Journées de mesure du camion TFB03, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



Guide d'interprétation du Graphique 5:

- La courbe orange du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire orange montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20°C) ou très froid. La valeur plus élevée représente l'énergie lors d'une journée froide (-20°C).
- La zone sous la ligne pointillée horizontale représente les journées où le camion dispose d'assez d'énergie pour compléter tous les trajets de la journée.
- Un camion avec une batterie de capacité nominale de 3696 kWh total disposerait de 3160 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion TFB03 d'effectuer 90 % de ses journées.
- La zone grise représente les journées impossibles à compléter sans recharger en cours de journée
- La fine ligne horizontale représente l'énergie après une dégradation de 10 %. Elle permet de comparer les journées qu'il sera possible de compléter à long terme.



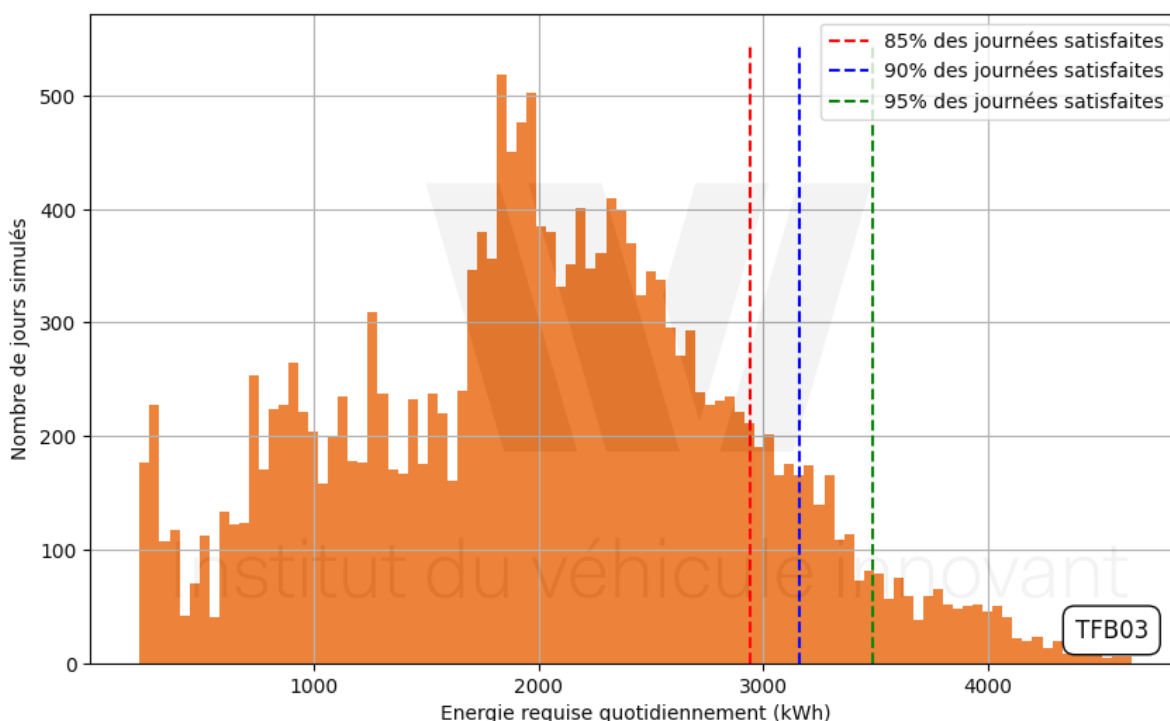
La consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 239 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

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

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

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

Graphique 6 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion TFB03





Camion # TFB03

Kenworth W990 - 2023 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Pour compléter l'entièreté des trajets d'une journée 90 % du temps sur une année complète, l'IVI estime que la batterie requise devrait avoir une capacité utilisable avec marge de 3160 kWh, ce qui équivaut à une batterie dotée d'une énergie nominale 3696 kWh.

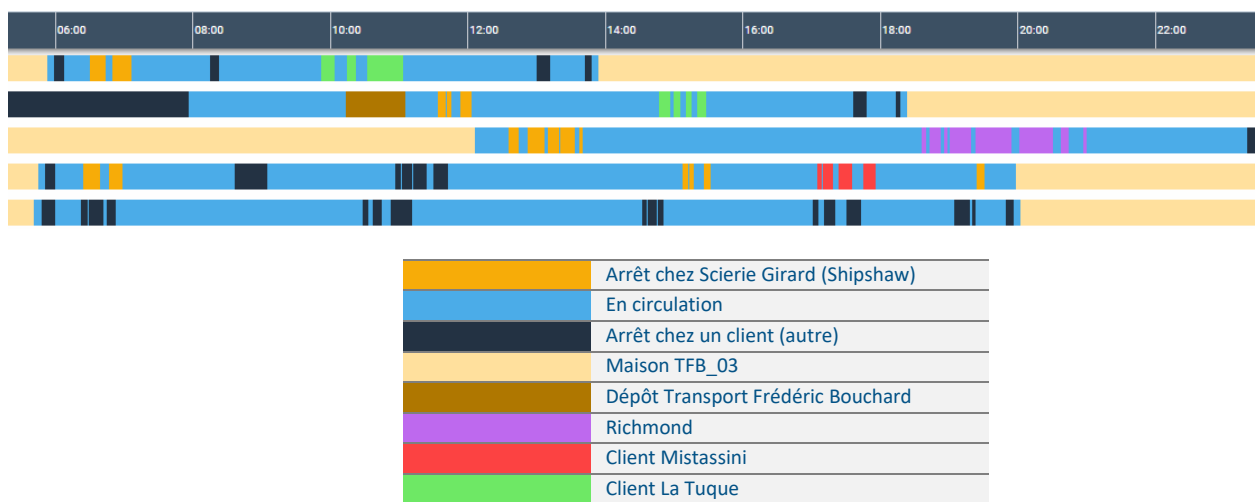
Pour compléter 95 % des journées, la capacité nominale est de 4080 kWh.

Pour compléter 85 % des journées, la capacité nominale est de 3438 kWh.

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

Le Graphique 7 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion TFB03. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée. Les nuits ont été coupées, car il n'y avait aucun déplacement.

Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion TFB03



Le camion débute normalement sa journée à 6h le matin et termine entre 14h et 20h, mais son horaire est parfois très différent.

La plupart des nuits il est stationné à la résidence du conducteur, endroit où il serait impossible d'installer une borne de recharge à courant continu. **La suite du scénario d'électrification simule les paramètres recommandés si le camion était stationné la nuit à un terminal commercial**, par exemple à la scierie Girard ou chez Transport Frédéric Bouchard. Autrement, l'électrification de cette route ne serait pas possible sans faire de multiples échanges de camions.



Camion # TFB03

Kenworth W990 - 2023 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

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

En divisant l'énergie utilisée par le nombre d'heures disponibles pour la recharge, on arrive à la puissance requise pour la borne. Celle-ci serait donc d'au moins 395 kW (3160 kWh / 8 h). Une infrastructure d'une telle puissance n'est présentement pas commercialement disponible pour les véhicules électriques.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion TFB03 seraient donc les suivants :

Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion TFB03

Capacité de la batterie embarquée	3696 kWh
Puissance effective de la borne de recharge	BRCC 395 kW
Batterie disponible sur le marché actuel ?	Non

Le scénario d'électrification, si les technologies le permettaient, pourrait apporter les économies en énergie indiqués au Tableau 6. Ces économies ne tiennent pas compte du surcoût lié à l'acquisition d'un camion électrique, plus cher que celui au diesel, ni l'acquisition d'infrastructures de recharge. Ces coûts devront être soustrait aux économies potentielles.

Tableau 6: Bénéfices financiers de l'électrification du camion TFB03

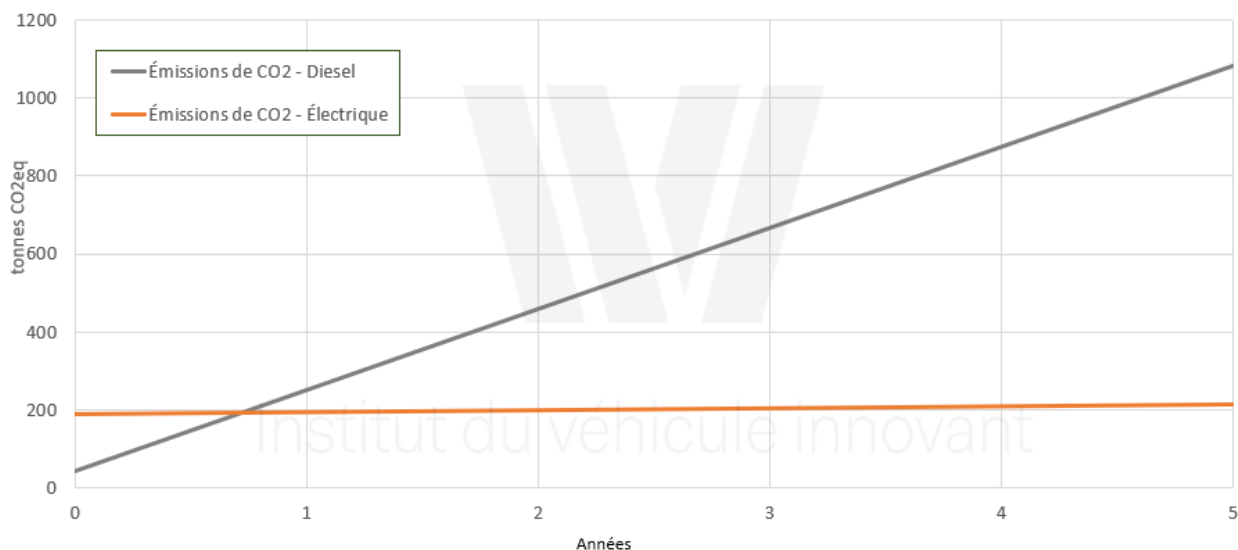
Coût annuel de carburant avant électrification	120 816 \$
Coût annuel d'électricité	67 103 \$
Économie annuelle de coûts d'énergie	53 713 \$
Économie potentielle sur les coûts d'énergie après 5 ans	268 563 \$

Sur une période de 5 ans, une économie en énergie de 268 563 \$ serait possible. Le surcoût après incitatifs pour l'acquisition d'un camion et de l'infrastructure de recharge devra être inférieur à ceci pour que le projet d'électrification demeure intéressant. Pour cette estimation, le coût du diesel considéré est 2,00 \$/L et le coût de l'électricité est fixé à 0,16 \$/kWh.

Il est quand même possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éventuelle éviterait la propagation de plus de 869 tonnes de CO2 équivalent. Un camion électrique est plus polluant à produire, mais définitivement moins polluant à utiliser que son équivalent au diesel. Le point d'équivalence d'émission cumulées de GES arriverait après 98 493 km. Ces valeurs viennent des analyses indépendantes de l'IVI, basées sur des études de l'*International Council on Clean Transportation* (ICCT) et tiennent compte des émissions de GES de la production d'électricité par barrages hydro-électriques.



Graphique 8: Émission sur la vie du camion TFB03, Diesel vs. Électrique



L’IVI n’est pas en mesure de recommander l’électrification du camion 03. Celui-ci requiert une quantité d’énergie bien au-delà des capacités offertes présentement sur le marché, et il ne dispose présentement pas d’opportunités de recharge sérieuses ni de jour, ni de nuit.

Le camion se déplace souvent chez les mêmes clients, et il fut évoqué en début d’analyse que ceux-ci pourraient être ouverts à installer des bornes de recharge pour les camions devant livrer à leurs usines. Les temps d’arrêt mesurés ne permettent pas d’ajouter une quantité suffisante d’énergie, mais faire des échanges de camions chez les clients pourrait permettre d’électrifier des routes avec des camions munis de batteries plus petites. À ce titre, l’IVI a estimé l’énergie requise pour parcourir certains trajets courants. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Route	Besoin énergétique en été
Scierie Girard – Mistassini	
Aller (plein)	286 kWh
Retour (vide)	181 kWh
Scierie Girard – La Tuque	
Aller (plein)	629 kWh
Retour (vide)	442 kWh
Scierie Girard - Richmond	
Aller (plein)	966 kWh
Retour (vide)	767 kWh

L’analyse de ce tableau permet par exemple d’observer qu’un aller-retour entre la scierie Girard et Mistassini serait possible avec certains camions en été. Cependant, à l’automne et à l’hiver, cette même route ne serait pas possible avec l’un des camions électriques actuellement disponibles sur le marché. Finalement, les manufacturiers offrant des camions électriques n’autorisent pas présentement de tracter des charges au-delà de 80 000 lbs (36 364 kg). Il faudra attendre que ceci soit permis pour considérer d’électrifier certains trajets du camion 03.



9. Analyse du camion TFB06

Le camion au diesel TFB06 est utilisé pour la livraison de copeaux pour la scierie Girard. Le client principal mentionné par le participant est situé à Alma.

La carte suivante permet de visualiser la fréquence des arrêts à différents endroits. Plus les points sont gros et rouges, plus les arrêts du camion y sont fréquents :

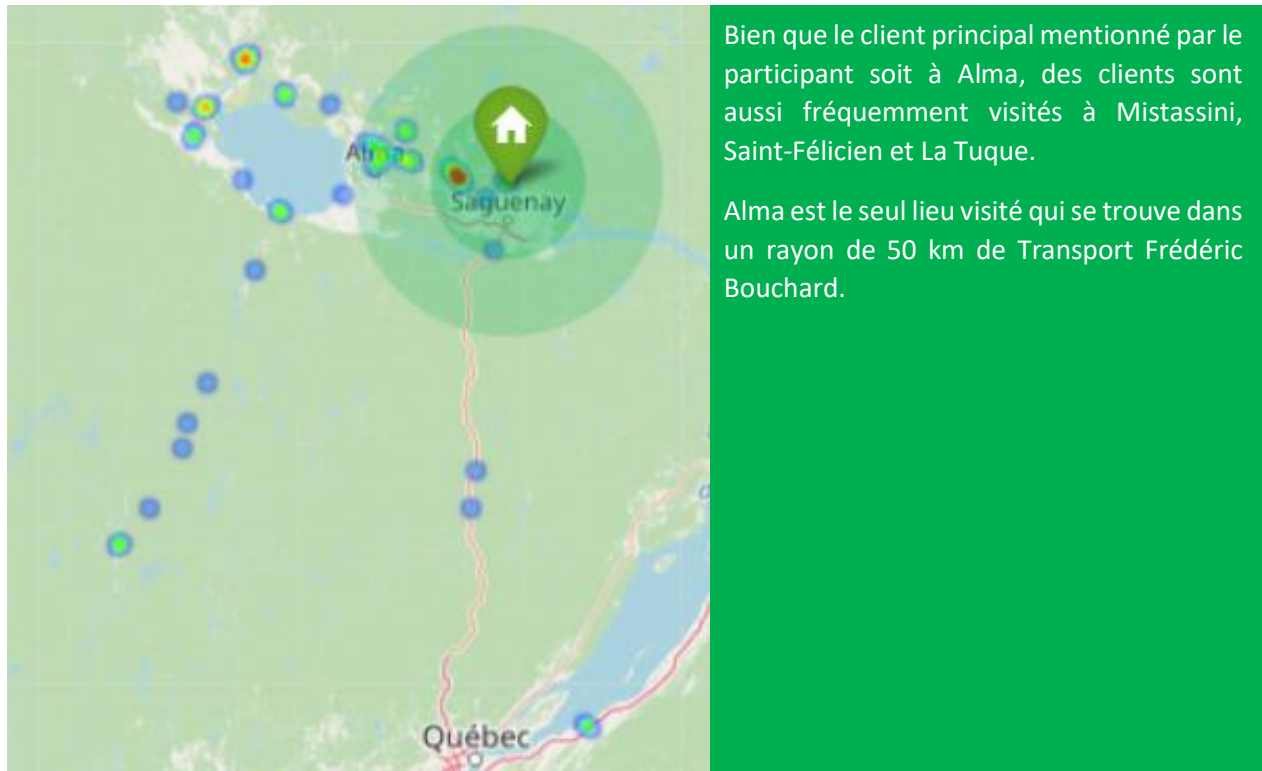


Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion TFB06 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Transport Frédéric Bouchard



Le camion TFB06 doit monter en moyenne 5,0 mètres par kilomètre parcouru, ce qui est une valeur moyenne. Une certaine énergie sera requise pour monter ces côtes. Cette énergie est supérieure à d'autres camions pour le même dénivelé, vu le poids du véhicule.



Camion # TFB06

Kenworth T880 - 2020 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

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

Tableau 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion TFB06

Bien qu'une certaine variation des dégradés de couleur puisse être observée sur le calendrier, le camion TFB06 semble avoir deux journées typiques : une de 750 km, et une de 350 km. Cette première combinaison de clients visités correspond d'ailleurs à la journée 90^e percentile des déplacements.

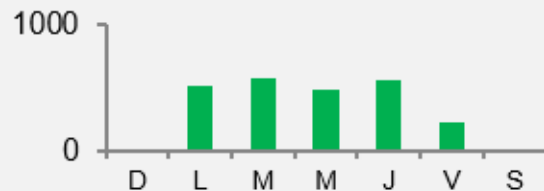
La route typiquement effectuée pour arriver à un total de 750 km par jour se rend aux endroits suivants :

- Scierie Girard
- La Tuque
- Saint-Félicien

Lors des journées plus courtes, le camion se rend habituellement à Alma, ou à Dolbeau puis à Saint-Félicien.

Le camion roule quatre jours par semaine, du lundi au jeudi. Il est parfois utilisé le vendredi pour des trajets plus courts. La distance parcourue à chaque jour est plutôt constante, avec un mélange de journées plus courtes et plus longues variant d'une semaine à l'autre.

Max	765	km
90%	750	km
Med	572	km
Moy	501	km
σ	228	km
CV	46%	



	D	L	M	M	J	V	S
mai	-	616	593	208	561	213	-
	-	560	374	376	765	-	-
	-	-	614	436	618	-	-
	-	414	750	346	246	127	-
juin	-	730	684	348	646	404	-
	-	374	736	616	515	44	-
	-	314	330	660	704	-	-
	-	65	124	139	158	-	-
juil.	-	614	617	751	572	-	-
	-	742	750	751	675	-	-
	-	750	747	750	750	360	-
août	-	490	-	-	-	-	-

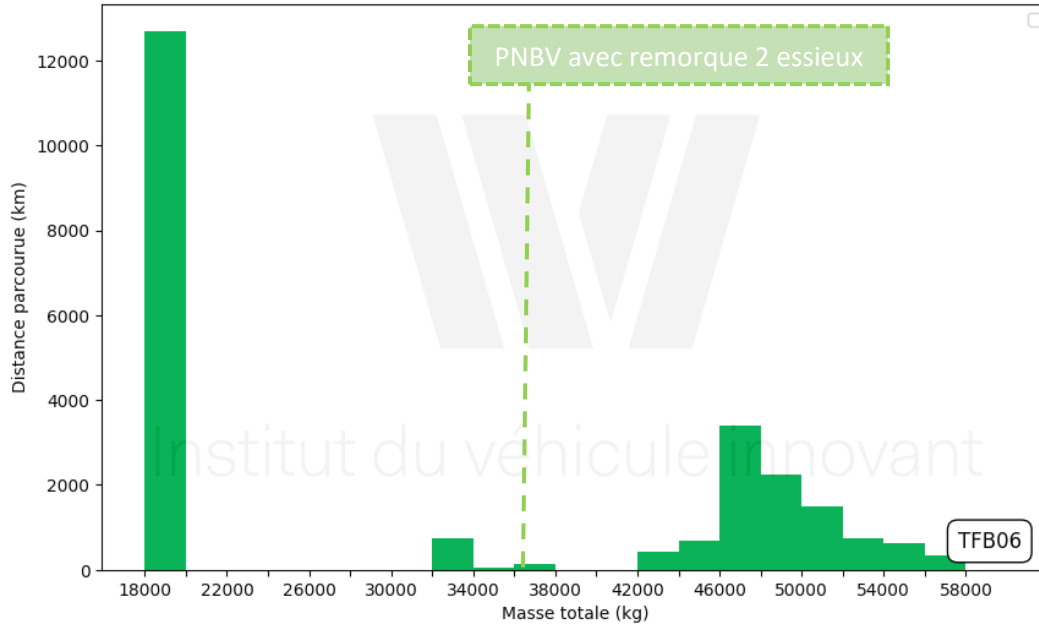


Camion # TFB06

Kenworth T880 - 2020 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

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

Graphique 9 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion TFB06



Le camion TFB06 transporte soit une remorque vide, soit une remorque 4 essieux très chargée. Puisque les chargements varient, il est toutefois possible que le surpoids causé par la batterie d'un camion électrique ne limite pas la cargaison transportée.

Par contre, les fabricants requièrent une autorisation pour tracter plus de 80 000 lbs avec les camions électriques, en date d'écriture de ce rapport.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion TFB06 permet de déterminer les grandes lignes qui affecteront son potentiel d'électrification des façons suivantes :

Tableau 8 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion TFB06

Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	Très Longues	-
Constance	Constantes	+
Dénivelé	Moyen	+/-
Recharge en journée	Non	-
Chargement	Très Lourd	-
Accessoires	Aucun	+

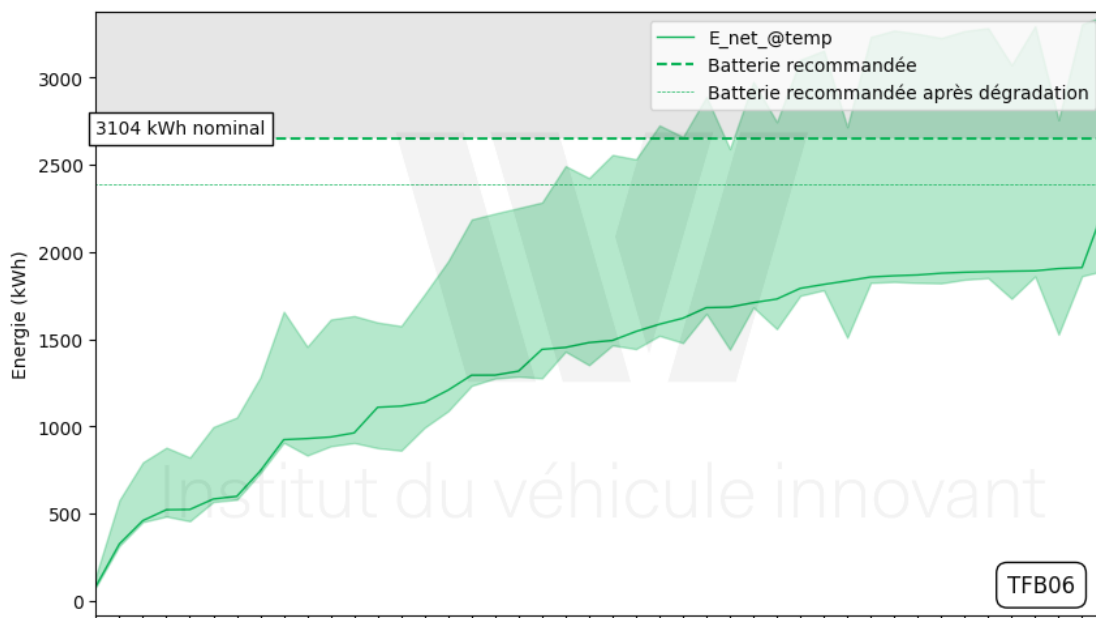


10. Scénario d'électrification pour le camion TFB06

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

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

Graphique 10 : Journées de mesure du camion TFB06, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



Guide d'interprétation du Graphique 10 :

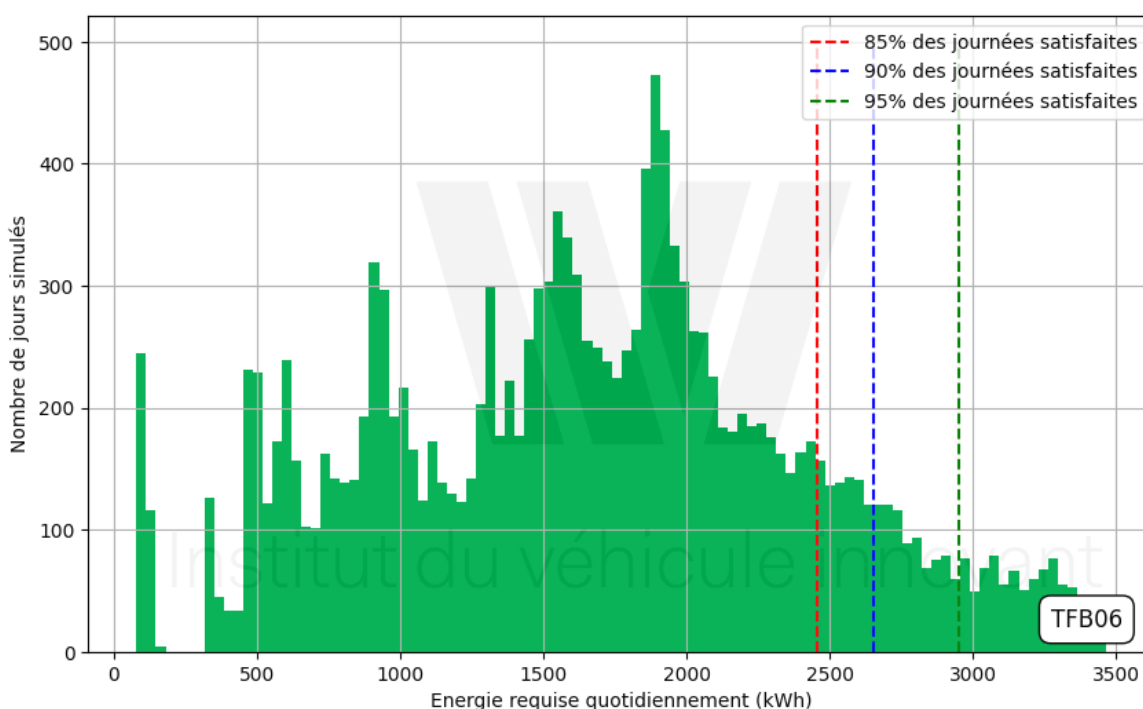
- La courbe verte du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire verte montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20°C) ou très froid. La valeur plus élevée représente l'énergie lors d'une journée froide (-20°C).
- La zone sous la ligne pointillée horizontale représente les journées où le camion dispose d'assez d'énergie pour compléter tous les trajets de la journée.
- Un camion avec une batterie de capacité nominale de 3104 kWh disposerait de 2654 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion TFB06 d'effectuer 90 % de ses journées.
- La zone grise représente les journées impossibles à compléter sans recharger
- La fine ligne horizontale représente l'énergie après une dégradation de 10 %. Elle permet de comparer les journées qu'il sera possible de compléter à long terme.



La consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 238 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

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

Graphique 11 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion TFB06



Une batterie de 3104 kWh nominale permettrait alors de réaliser 90 % des journées sur une année moyenne en un seul cycle de décharge de la batterie, tandis qu'une batterie de 2875 et de 3453 kWh pourrait respectivement satisfaire 85 et 95 % des journées sur une année moyenne.

Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classe 8 vont d'environ 250 à 650 kWh. Il est généralement conseillé de sélectionner la plus petite batterie disponible pour optimiser le coût d'achat du véhicule, mais dans ce cas-ci la capacité requise est bien au-delà de l'offre du marché. À long terme, il sera prudent de prévoir une dégradation de la batterie qui pourrait diminuer l'autonomie d'environ 10% sur la durée d'utilisation du véhicule dans la flotte.

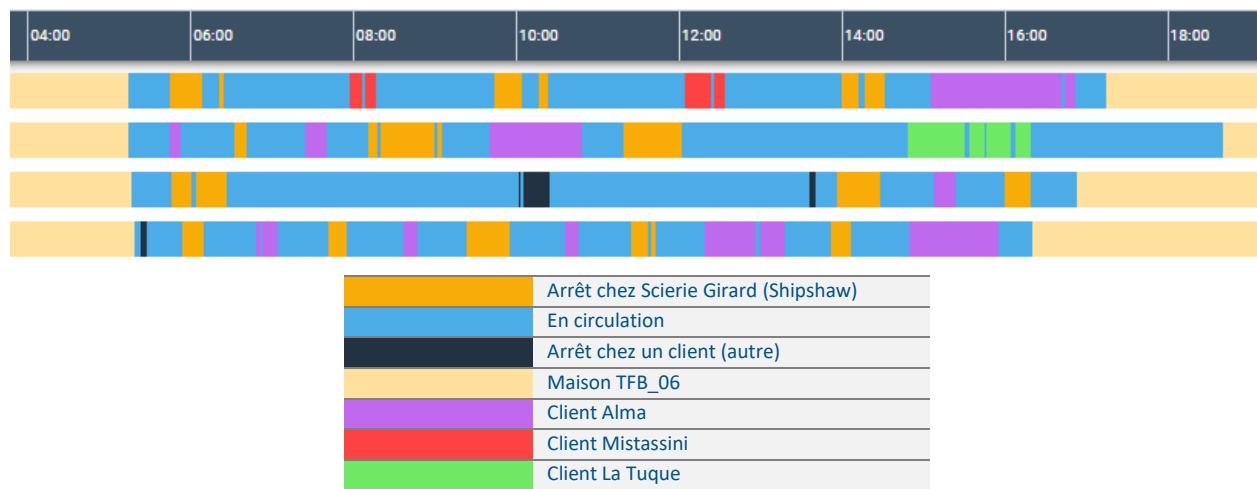
Le Graphique 12 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion TFB06. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au jeudi, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée. Les nuits ont été coupées, car il n'y avait aucun déplacement.



Camion # TFB06

Kenworth T880 - 2020 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Graphique 12 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion TFB06



Le camion TFB06 commence sa journée à 5h le matin et termine entre 17h et 19h. Il effectue parfois des déplacements pendulaires entre la scierie Girard et Alma, mais il visite aussi assez souvent quelques autres clients ailleurs.

Tout comme le camion précédent, il passe la nuit à une résidence, donc **un scénario d'électrification nécessiterait qu'il soit stationné ailleurs pour pouvoir être rechargé durant la nuit.**

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

En divisant l'énergie utilisée par le nombre d'heures disponibles pour la recharge, on arrive à la puissance effective requise pour la borne. Celle-ci serait donc d'au moins 332 kW (2654 kWh / 8 h). Les camions électriques actuellement sur le marché ne sont pas en mesure d'accepter une telle puissance de recharge.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion TFB06 seraient donc les suivants :

Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion TFB06

Capacité de la batterie embarquée	3 104 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 332 kW
Batterie disponible sur le marché actuel ?	Non

Aucun camion électrique ne dispose actuellement d'une capacité de batterie suffisante. Lorsque ceci se produira, le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les économies en énergie indiqués au Tableau 10. Ces économies ne tiennent pas compte qu'il y a un surcoût lié à l'acquisition d'un camion électrique par rapport à l'acquisition d'un camion diesel. Elles ne tiennent également pas compte de l'infrastructures de recharge. Ces coûts devront être soustrait aux économies potentielles.



Camion # TFB06

Kenworth T880 - 2020 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

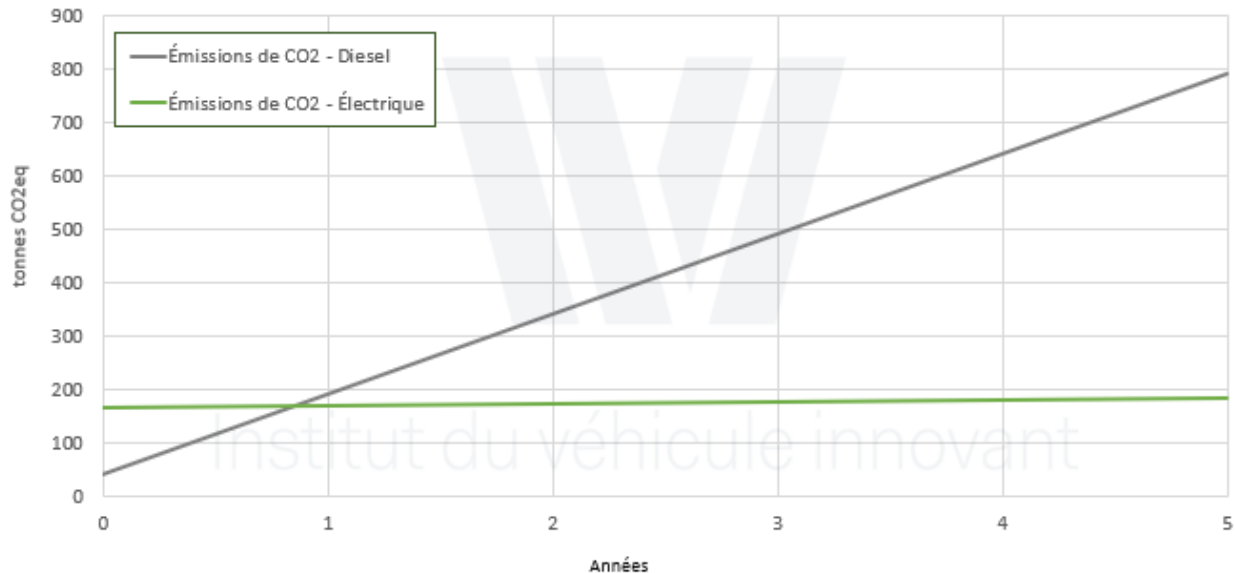
Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion TFB06

Coût annuel de carburant avant électrification	87 190 \$
Coût annuel d'électricité	48 427 \$
Économie annuelle de coûts d'énergie	38 763 \$
Économie potentielle sur les coûts d'énergie après 5 ans	193 815 \$

Sur une période de 5 ans, une économie de 193 815 \$ serait possible. Le surcoût après incitatifs pour l'acquisition d'un camion et de l'infrastructure de recharge devra être inférieur à ceci pour que le projet d'électrification reste intéressant. Pour cette estimation, le coût du diesel considéré est 2,00 \$/L et le coût de l'électricité est fixé à 0,16 \$/kWh.

Il est quand même possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route. Celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 607 tonnes de CO₂ équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 84 326 km. Ces valeurs viennent des analyses indépendantes de l'IVI, basées sur des études de l'*International Council on Clean Transportation (ICCT)* et tiennent compte des émissions de GES de la production d'électricité par barrages hydro-électriques.

Graphique 13 : Émission sur la vie du camion TFB06, Diesel vs. Électrique





Camion # TFB06

Kenworth T880 - 2020 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification du camion 06. Pour effectuer l'entièreté de ses déplacements quotidiens sans recharger, celui-ci requiert une quantité d'énergie bien au-delà des capacités offertes présentement sur le marché, et il ne dispose présentement pas d'opportunités de recharge sérieuses ni de jour, ni de nuit. De plus, sa masse dépasse couramment 80 000 lbs, ce qui nécessite une autorisation spéciale du constructeur pour les camions lourds électriques.

Le camion se déplace souvent chez les mêmes clients, presque tous les mêmes que le véhicule précédent. La différence est que celui-ci est plus souvent attiré au client situé à Alma, dont la route est plus courte. Il arrive que cette route soit parcourue plusieurs fois par jour. Le tableau suivant résume l'énergie requise pour se rendre à Alma à partir de la scierie Girard :

Route	Besoin énergétique en été
Scierie Girard – Alma	
Aller (plein)	90 kWh
Retour (vide)	64 kWh

Bien que le tableau précédent laisse présager qu'il soit possible d'effectuer cet aller-retour en hiver, l'analyse du scénario d'électrification présentée précédemment a démontré qu'il n'est pas possible pour le camion 06 de compléter une variété de trajets incluant plusieurs fois ce voyage dans une journée. Par contre, des données obtenues du participant montrent que la flotte entière de Transport Frédéric Bouchard effectue celui-ci plus de 1 000 fois par année. Comme ces allers-retours durent près de 2 heures, **il serait possible de dédier un camion à la route Shipshaw – Alma. Ce véhicule ne ferait que cette opération à temps plein et se rechargerait à chaque trajet.** Si un délai d'attente n'est pas possible entre les voyages, un scénario à deux tracteurs pourrait être envisagé.

Compléter toutes les livraisons à Alma représente 72 000 km annuellement. Effectuer celles-ci avec un camion électrique entraînerait une économie d'énergie d'environ 29 000 \$ par année, soit 145 000 \$ après 5 ans. Le surcoût causé par l'achat d'un tel véhicule et de l'infrastructure de recharge devrait être inférieur à ce montant. Il serait difficile d'y arriver en acquérant deux camions électriques pour remplacer un seul camion diesel.



11. Analyse du camion TFB09

Le camion TFB09 est utilisé pour le transport de copeaux entre la scierie Girard à Shipshaw et différents clients. Ce camion effectue des livraisons principalement à deux endroits, plus près que les deux autres véhicules.

La carte suivante permet de visualiser la fréquence des arrêts à différents endroits. Plus les points sont gros et rouges, plus les arrêts du camion y sont fréquents :



Les deux arrêts les plus fréquents sont à Alma et Kénogami. Ces clients sont respectivement à l'intérieur d'un rayon de 50 et 25 km du terminal de Transport Frédéric Bouchard et de la scierie Girard.

Le camion 09 s'arrête en moyenne une fois par jour à Kénogami, et un peu plus de deux fois par jour à Alma.

Les autres lieux visités sont les mêmes que les deux autres camions, mais à des fréquences plus basses.

Ce véhicule a visité Alma plus souvent que le camion TFB06, qui avait été décrit comme étant le véhicule dédié à la route d'Alma.

Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion TFB09 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Transport Frédéric Bouchard



Le véhicule TFB09 doit gravir 5,5 mètres de dénivelé positif pour chaque kilomètre parcouru. Ceci est dans la catégorie « moyen », mais très près de « élevé », donc la consommation trouvera affectée à la hausse par rapport à d'autres camions empruntant des routes ayant moins de dénivelé.



Camion # TFB09

Peterbilt 389 - 2019 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

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

Tableau 11 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion TFB09

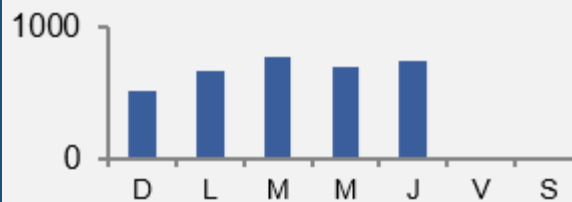
Le camion TFB09 roule exclusivement de nuit, du dimanche soir au jeudi. Le tableau ci-contre montre les distances parcourues par quart de travail, et non par période de 24 h débutant à minuit.

Les distances parcourues sont différentes d'une journée à l'autre, mais il est possible d'observer que deux ou trois distances typiques se répètent. Ces trois scénarios, soit environ 400, 700 ou 900 km par jour sont une indication des clients visités durant cette journée. Voici un aperçu des déplacements qui peuvent être survenus selon la distance parcourue dans la journée :

- 400 km : Alma et/ou Kénogami seulement
- 700 km : Alma/Kénogami et un voyage à Saint-Félicien, La Tuque ou Québec
- 900 km : Alma/Kénogami, Saint-Félicien et La Tuque ou Québec

En considérant ceci, l'analyse sera mieux ciblée si elle est basée sur les besoins énergétiques de chaque aller-retour fréquent plutôt que la possibilité de compléter 90 % des quarts de travail sans recharger.

Max	1026	km
90%	891	km
Med	716	km
Moy	702	km
σ	159	km
CV	23%	



	D	L	M	M	J	V	S
mai	303	336	-	408	403	-	-
	407	665	659	659	661	-	-
	-	541	775	678	874	-	-
	399	783	773	827	521	-	-
juin	513	878	771	876	745	-	-
	307	399	682	685	784	-	-
	588	617	486	613	-	-	-
	607	707	1026	509	-	-	-
juil.	716	748	856	645	882	-	-
	722	745	745	782	905	-	-
	645	914	914	917	845	-	-

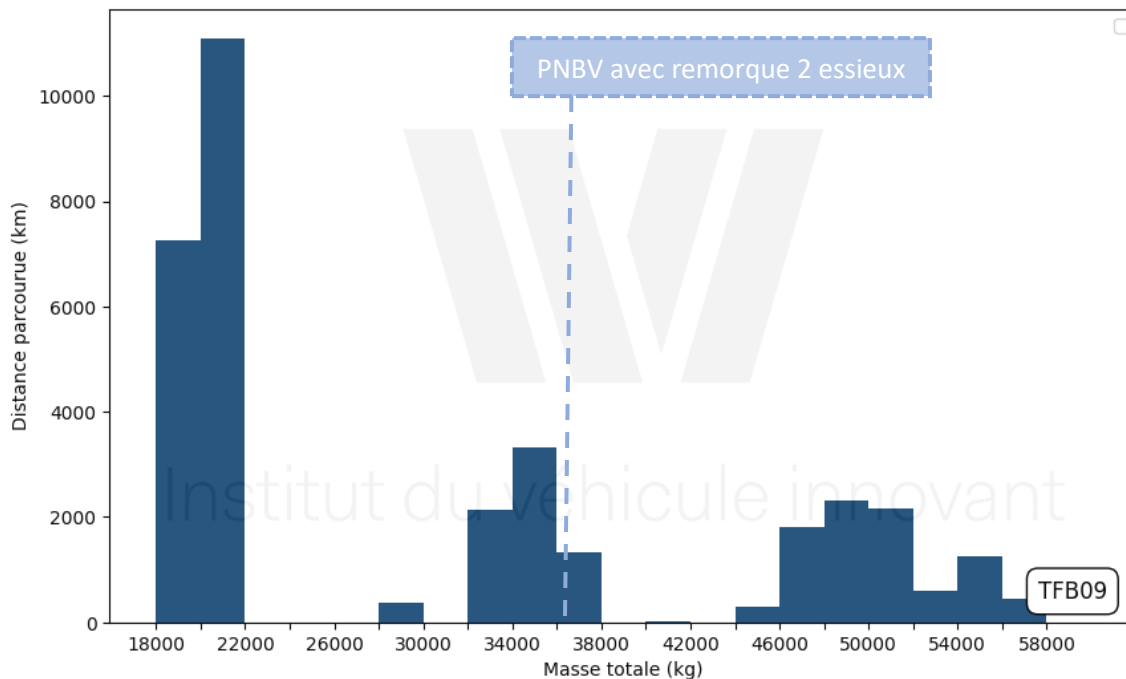


Camion # TFB09

Peterbilt 389 - 2019 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

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

Graphique 14 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion TFB09



Alors que les deux camions précédents ont parcouru tous leurs trajets pleinement chargés ou vides, le camion 09 a parcouru une portion non-négligeable de la distance analysée à une masse d'environ 35 000 kg, donc possiblement avec une remorque deux essieux. Ce poids reste quand même élevé et aura un effet nuisible sur la consommation. De plus, si la remorque utilisée lors de ces déplacements avait bel et bien deux essieux, le surpoids causé par la batterie d'un camion électrique pourrait forcer à utiliser une remorque trois essieux.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion TFB09 permet de déterminer les grandes lignes qui affecteront son potentiel d'électrification des façons suivantes :

Tableau 12 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion TFB09

Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	Longues	-
Constance	Constantes	+
Dénivelé	Moyen	+/-
Recharge en journée	Possible	+/-
Chargement	Lourd	-
Accessoires	Aucun	+

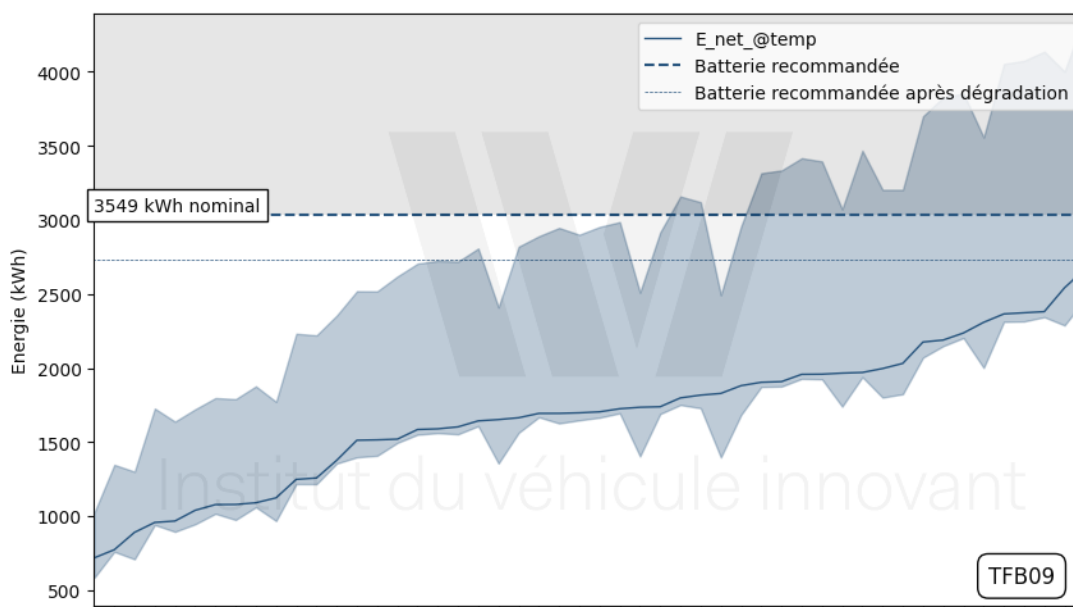


12. Scénario d'électrification pour le camion TFB09

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

Le Graphique 15 montre la distribution de ces énergies pour chaque journée de l'analyse. Ces journées ont été réordonnées en ordre croissant de besoin énergétique quotidien. Ceci permet de mieux visualiser à quel point la configuration de batterie répondra au besoin.

Graphique 15 : Journées de mesure du camion TFB09, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



Guide d'interprétation du Graphique 15 :

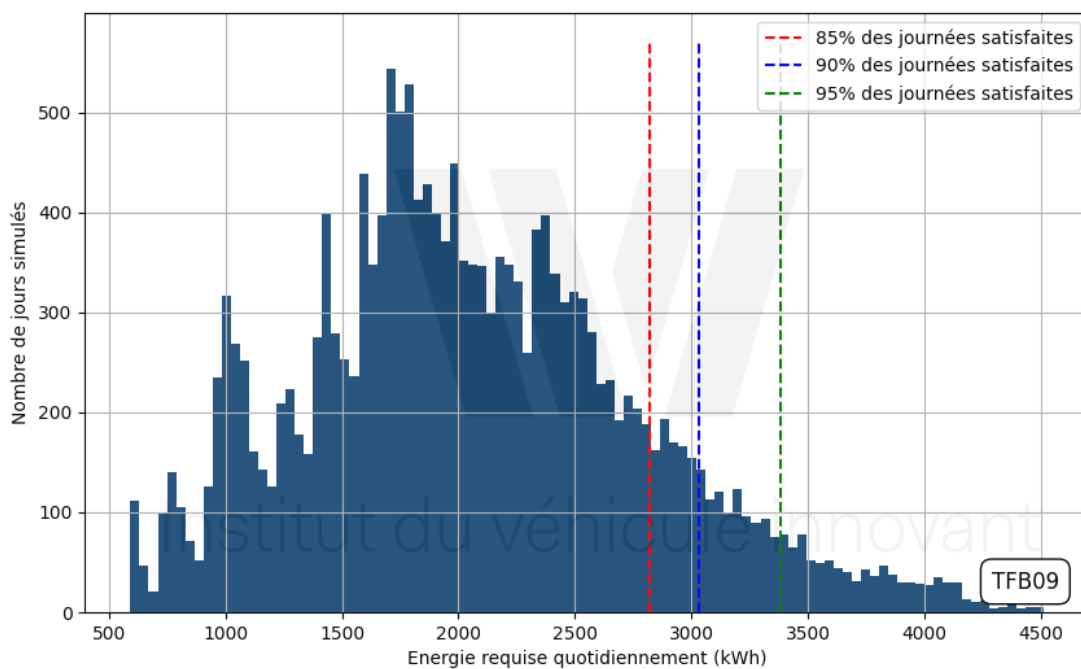
- La courbe bleue du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire bleue montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20°C) ou très froid. La valeur plus élevée représente l'énergie lors d'une journée froide (-20°C).
- La zone sous la ligne pointillée horizontale représente les journées où le camion dispose d'assez d'énergie pour compléter tous les trajets de la journée.
- Un camion avec une batterie de capacité nominale de 3549 kWh disposerait de 3035 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion TFB09 d'effectuer 90 % de ses journées.
- La zone grise représente les journées impossibles à compléter sans recharger
- La fine ligne horizontale représente l'énergie après une dégradation de 10 %. Elle permet de comparer les journées qu'il sera possible de compléter à long terme.



La consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 229 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

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

Graphique 16 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion TFB09



Une batterie de 3549 kWh nominale permettrait alors de réaliser 90 % des journées sur une année moyenne en un seul cycle de décharge de la batterie, tandis qu'une batterie de 3301 et de 3953 kWh pourrait respectivement satisfaire 85 % et 95 % des journées sur une année moyenne.

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

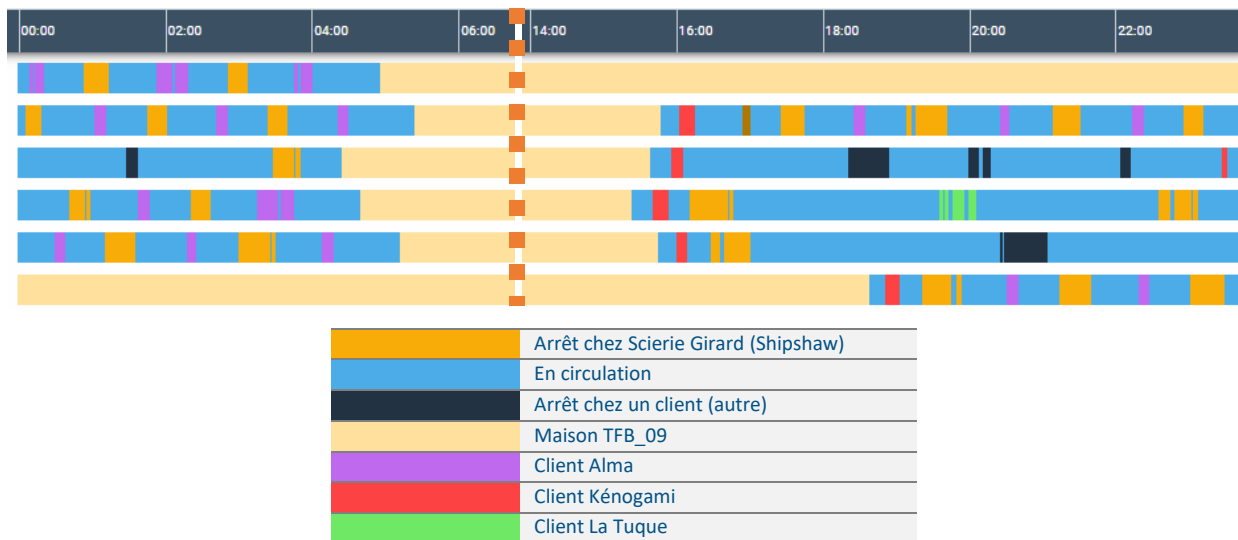
Le Graphique 17 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion TFB09. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée. Les milieux de journée ont été coupés, car il n'y avait aucun déplacement.



Camion # TFB09

Peterbilt 389 - 2019 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Graphique 17 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion TFB09



Le camion circule entre 16h et 5h le lendemain, ce qui laisserait 11h par jour pour la recharge régulière dans les plages d'inactivité. Cependant, ces arrêts se font présentement à une adresse résidentielle, où il ne serait pas possible d'installer une infrastructure de recharge suffisamment puissante.

Le camion visite un nombre très limité de clients, et ce très fréquemment. On voit sur le graphique ci-haut qu'après sa première livraison à Kénogami, le camion 09 fait plusieurs allers-retours entre la scierie Girard et Alma. Il y aurait donc une possibilité d'installer une borne de recharge, ou même de planifier des échanges de camions à la scierie Girard à chaque voyage.

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

En divisant l'énergie utilisée par le nombre d'heures disponibles pour la recharge, on arrive à la puissance effective requise pour la borne. Celle-ci serait donc d'au moins 276 kW (3035 kWh / 11 h). Les camions électriques actuellement offerts ne disposent pas tous de la capacité de recharger à une telle puissance.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion TFB09 seraient donc les suivants :

Tableau 13 : Paramètres d'électrification retenus pour le camion TFB09

Capacité de la batterie embarquée	3 549 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 276 kW
Batterie disponible sur le marché actuel ?	Non

Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les économies en énergie indiqués au Tableau 14. Ces économies ne tiennent pas compte du surcoût lié à l'acquisition d'un camion électrique, plus cher que celui au diesel, ni l'acquisition d'infrastructures de recharge. Ces coûts devront être soustrait aux économies potentielles.



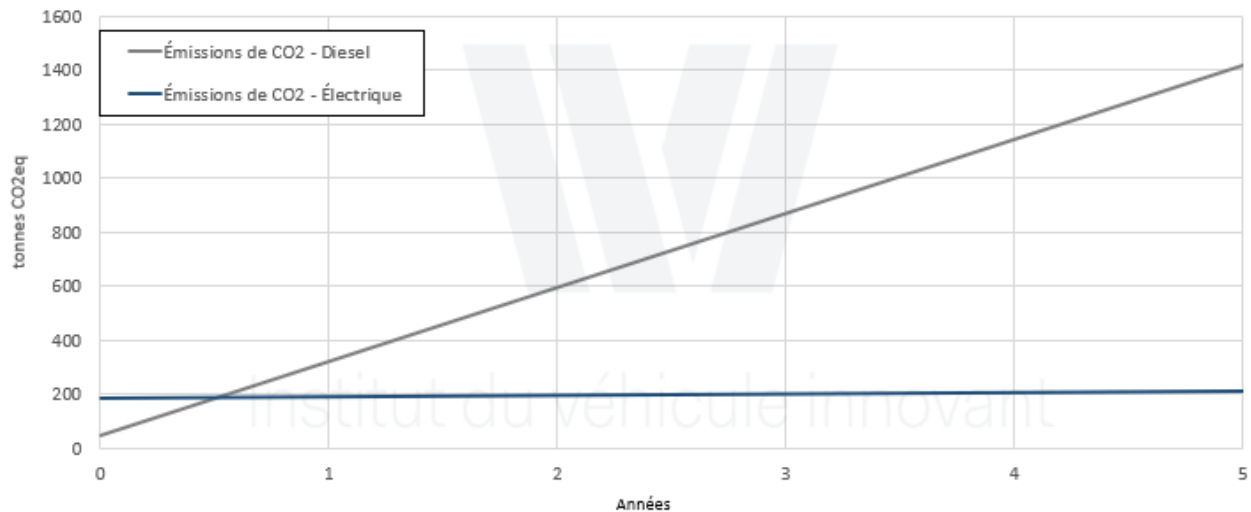
Tableau 14 : Bénéfices financiers de l'électrification du camion TFB09

Coût annuel de carburant avant électrification	159 873 \$
Coût annuel d'électricité	67 341 \$
Économie annuelle de coûts d'énergie	92 532 \$
Économie potentielle sur les coûts d'énergie après 5 ans	462 660 \$

Sur une période de 5 ans, une économie de 462 660 \$ serait possible. Le surcoût après incitatifs pour l'acquisition d'un camion et de l'infrastructure de recharge devra être inférieur à ceci pour que le projet d'électrification reste intéressant. Pour cette estimation, le coût du diesel considéré est 2,00 \$/L et le coût de l'électricité est fixé à 0,16 \$/kWh.

Il est toutefois possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 1 207 tonnes de CO₂ équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 72 477 km. Ces valeurs viennent des analyses indépendantes de l'IVI, basées sur des études ICCT et tiennent compte des émissions de GES de la production d'électricité par barrages hydro-électriques.

Graphique 18 : Émission sur la vie du camion TFB09, Diesel vs. Électrique





Camion # TFB09

Peterbilt 389 - 2019 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification du camion TFB09 pour réaliser l'entièreté des opérations du camion telles qu'elles le sont actuellement, car il n'existe pas de camion offert sur le marché ayant une capacité de batterie suffisante. Aussi, le camion n'a présentement pas accès à un lieu permettant de le recharger lors de ses longs arrêts. Finalement, le chargement à plus de 80 000 lbs, observé sur 30 % de la distance analysée, n'est pas actuellement autorisé pour les camions électriques.

Similairement aux autres camions, le 09 se rend souvent chez les mêmes clients, qui sont d'ailleurs les mêmes que les deux autres camions. Outre les livraisons à Alma, il se rend relativement fréquemment à Saint-Félicien. Les besoins énergétiques pour compléter ce trajet sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Route	Besoin énergétique en été
Scierie Girard – Saint-Félicien	
Aller (plein)	391 kWh
Retour (vide)	261 kWh

Cette route, plus courte que la route vers La Tuque par exemple, est quand même très énergivore dû à la masse du camion et aux vitesses élevées. L'aller serait possible en été seulement, alors que le retour pourrait être complété même lorsque les températures chutent. Il ne serait pas possible de faire l'aller-retour sans recharger, été comme hiver. Cette route ne serait donc pas à prioriser pour l'électrification.

13. Conclusions et recommandations

L'analyse des trois camions diesel instrumentés chez Transport Frédéric Bouchard a apporté beaucoup d'informations sur le potentiel d'électrification de ceux-ci. En plus du kilométrage quotidien, les habitudes de déplacements de chaque camion ont permis d'élaborer un score d'adéquation avec les camions lourds électriques actuellement offerts sur le marché, que voici :

Tableau 15: Recommandation d'électrification des camions de Transport Frédéric Bouchard

Véhicule	Camion TFB03	Camion TFB06	Camion TFB09
Potentiel d'électrification (/10)	1,8	1,8	1,9
Recommandation d'électrification de l'IVI	Non	Non	Non
Capacité totale de batterie requise pour effectuer 85 % des déplacements	3 438 kWh	2 783 kWh	3 301 kWh
Capacité totale de batterie requise pour effectuer 90 % des déplacements	3 696 kWh	2 993 kWh	3 549 kWh
Capacité totale de batterie requise pour effectuer 95 % des déplacements	4 080 kWh	3 321 kWh	3 953 kWh

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

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

Dans les trois cas, **l'énergie requise pour électrifier les opérations telles quelles dépasse largement l'offre actuelle des manufacturiers de camions**. La seule lueur d'espoir pour une électrification à court ou moyen terme serait de revoir l'attribution des routes et concentrer certains camions sur les trajets très courts et souvent répétés. Cette possibilité a été abordée dans le corps du texte mais une analyse approfondie serait requise. Celle-ci devrait tenir compte de l'ouverture des gestionnaires de flotte à modifier de façon substantielle les routes attribuées aux chauffeurs, les lieux d'arrêt en fin de quart de travail et l'attente entre les livraisons. Également, les recommandations de chargement maximal que les camions électriques actuels peuvent tracter limiteraient beaucoup les opérations.

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

Les trois camions instrumentés lors de ce test sont arrêtés entre leurs quarts de travail, ce qui leur permettrait de minimiser la puissance des bornes requises. Par contre, leur demande énergétique est telle que les bornes devraient tout de même être très puissantes. Dans son analyse, l'IVI a considéré chaque minute passée au dépôt de Transport Frédéric Bouchard comme étant propice à la recharge, alors que ceci pourrait être moindre si le chargement de la cargaison prend beaucoup de temps, par exemple. Aussi,

plusieurs bornes de recharge rapide publiques pour les camions lourds apparaîtront sous peu au Québec. L'utilisation de ces bornes pourrait être avantageuse pour un camion qui n'a pas l'habitude de repasser au dépôt durant la journée.

Le présent rapport fait l'état des possibilités d'électrification pour trois camions de la flotte de Transport Frédéric Bouchard. Ces véhicules ont été choisis sur le volet par l'IVI et le participant pour répondre aux questionnements des gestionnaires de flotte quant à la possibilité d'électrifier ses routes les plus courtes. Il ne faut donc pas utiliser ces résultats comme généralisation quant au potentiel d'électrification de l'entièreté du parc de Transport Frédéric Bouchard, ni comme des camions lourds de classes 6 à 8 en général. Le but de ce document n'est pas de produire un diagnostic sur un échantillon représentatif de ce marché.

14. Sources des données

Les données utilisées dans le présent rapport viennent des sources suivantes. Au besoin, plus de précisions pourraient être données à la demande d'un participant.

Historique du prix du carburant :

- <https://www150.statcan.gc.ca/>

Données météorologiques :

- <https://open-meteo.com>

Données sur les émissions de GES pour la fabrication de véhicules et de batteries :

- Nom du document : Automotive Li-Ion Batteries: Current Status and Future Perspectives, Argonne National Lab, auteurs : Dr. Y. L. Ding, Z. P. Cano, Prof. A. P. Yu, Prof. Z. W. Chen, lien : <https://www.osti.gov/pages/servlets/purl/1561559>
- https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global-LCA-passenger-cars-jul2021_0.pdf
- <https://www.ghgenius.ca/index.php>

Coût des véhicules électriques :

- Données publiées dans les médias et données privilégiées obtenues de partenaires

Données scientifiques pour les calculs énergétiques :

- Projets antérieurs de l'IVI
- <https://x-engineer.org/drivetrain-losses-efficiency/>
- https://www.researchgate.net/figure/Drag-coefficient-of-different-vehicles-type-1_fig1_331695168

15. Informations et contact

Si vous avez des questions à la suite de la lecture du présent rapport, vous pouvez contacter l'équipe du projet à l'aide des informations ci-dessous :

Institut du véhicule innovant

100, rue Claude-Audy, Saint-Jérôme (Québec), J5L 0J2

450-431-5744 x 261 | flotte@ivisolutions.ca

Plusieurs publications auxquelles l'IVI a participé pourront aider le gestionnaire de flotte dans sa démarche d'électrification. Celles-ci peuvent être trouvées à l'adresse suivante :

- <https://www.ivisolutions.ca/ressources-consultables/>

16. Remerciements

Ce projet est réalisé grâce à la participation financière du gouvernement du Québec dans le cadre du programme Action-Climat Québec et rejoint les objectifs du Plan pour une économie verte 2030.



L'équipe tient également à remercier Hydro-Québec pour son implication à titre de partenaire majeur.



Enfin, l'équipe tient à remercier tous les partenaires du projet Flotte Rechargeable – Camions Lourds. Leur dévouement, leur professionnalisme et leur coopération ont été d'une haute importance pour l'achèvement de ce rapport.



La collecte de données pour cette phase du projet a notamment été rendue possible en utilisant les appareils GO de :

