



Flotte rechargeable Camions lourds

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

Rapport phase 2 – Groupe Bellemare

Par : Philippe Louiseize, ing.

Révisé par : Mathieu Chevigny et Charles Trudel, ing.

Date : 19 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 60276	18
8. Scénario d'électrification pour le camion 60276	21
9. Analyse du camion 60242	26
10. Scénario d'électrification pour le camion 60242	29
11. Analyse du camion 60243	34
12. Scénario d'électrification pour le camion 60243	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 Groupe Bellemare	14
Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 60276 ...	19
Tableau 4 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 60276	20
Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 60276.....	24
Tableau 6 : Bénéfices financiers de l'électrification du camion 60276	24
Tableau 7 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 60242 ...	27
Tableau 8: Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 60242	28
Tableau 9: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 60242.....	31
Tableau 10: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 60242	31
Tableau 11 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 60243 .	35
Tableau 12 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 2012	36
Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 60243.....	39
Tableau 14: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 60243	40
Tableau 15: Recommandation d'électrification des camions de Groupe Bellemare	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 60276, 60242 et 60243.....	13
Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 60276 dans un rayon de 5 et 10 km de l'entrepôt de Groupe Bellemare	18
Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 60242 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Groupe Bellemare	26
Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 60243 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Groupe Bellemare	34

Liste des graphiques

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion	15
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Groupe Bellemare	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 60276... ..	20
Graphique 5: Journées de mesure du camion 60276, 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 60276	22
Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 60276.....	23
Graphique 8 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 60276	24
Graphique 9: Émission sur la vie du camion 60276, Diesel vs. Électrique	25
Graphique 10: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 60242.. ..	28
Graphique 11: Journées de mesure du camion 60242, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh).....	29
Graphique 12 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 60242	30
Graphique 13 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 60242.....	31
Graphique 14: Émission sur la vie du camion 60242, Diesel vs. Électrique	32
Graphique 15: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 60243.. ..	36
Graphique 16: Journées de mesure du camion 60243, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh).....	37
Graphique 17 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 60243	38
Graphique 18 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 60243.....	39
Graphique 19: Émission sur la vie du camion 60243, 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 Groupe Bellemare.

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 :

96 % des journées du camion 60276 se terminent en ayant parcouru moins de 125 km

93 % des arrêts de nuit au terminal durent 10 heures ou plus, soit assez pour ajouter 450 kWh avec une borne de 45 kW pour chaque camion

Camion 60276 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification		
Critère	Valeur			
Distances	Très Courtes	+	Estimation de consommation électrique en été	187 kWh / 100 km
Constance	Constant	+	Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	244 kWh / 100 km
Dénivelé	Faible	+	Pénalité de chargement ?	Oui
Recharge en journée	Possible	+	Capacité nominale requise pour 90 % des journées	279 kWh
Chargement	Très Lourd	-	Batterie disponible ?	Oui
Accessoires	Aucun	+		

Camion 60242 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification		
Critère	Valeur			
Distances	Longues	-	Estimation de consommation électrique en été	215 kWh / 100 km
Constance	Varié	-	Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	267 kWh / 100 km
Dénivelé	Faible	+	Pénalité de chargement ?	Oui
Recharge en journée	Non	-	Capacité nominale requise pour 90 % des journées	1 969 kWh
Chargement	Très Lourd	-	Batterie disponible ?	Non
Accessoires	PTO	-		

Camion 60243 – Tracteur Classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification		
Critère	Valeur			
Distances	Longues	-	Estimation de consommation électrique en été	223 kWh / 100 km
Constance	Varié	-	Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	284 kWh / 100 km
Dénivelé	Élevé	-	Pénalité de chargement ?	Oui
Recharge en journée	Non	-	Capacité nominale requise pour 90 % des journées	2 005 kWh
Chargement	Très Lourd	-	Batterie disponible ?	Non
Accessoires	PTO	-		

2. Méthodologie

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

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

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

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

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

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

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

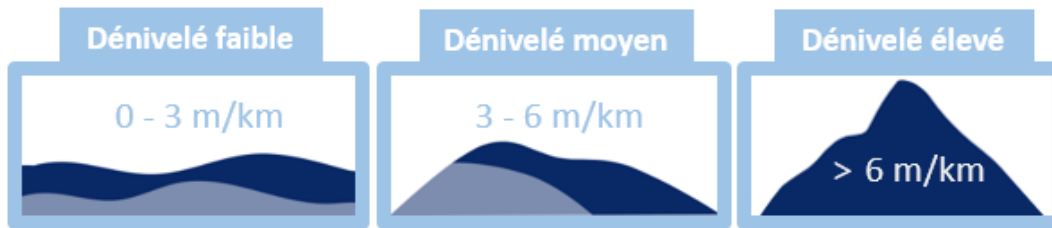


Figure 1 : Échelle de dénivelé allant du plus petit dénivelé au plus grand

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

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

3. Méthodologie : Scénarios d'électrification

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4. Limites de l'analyse

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

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

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

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

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

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

5. Présentation de l'entreprise



Groupe Bellemare est une entreprise familiale qui opère dans divers secteurs tels que le transport hors norme, la fabrication d'abrasifs et minéraux, la location de conteneurs, le

recyclage, la production de béton, et l'extraction de matériaux tels que la terre, le sable et les graviers. Établie à Trois-Rivières et fondée en 1959, l'entreprise compte maintenant plus de 500 employés. Les activités de la division Transport Bellemare couvrent toute l'Amérique du Nord.

Le Groupe Bellemare compte 179 camions dans sa flotte et plus de 350 remorques. La plupart des remorques sont des citernes ou transportent du vrac ainsi que des remorques hors normes. Les tracteurs doivent donc majoritairement être équipés d'une prise de force (*PTO*) ou d'un souffleur / pompe à vide (*Blower*).

6. Véhicules analysés

Suite aux discussions avec le gestionnaire du parc, les trois camions retenus pour l'analyse sont les unités 60276, 60242 et 60243. Ces véhicules sont tous des tracteurs classe 8. Le premier est un Western Star, alors que les deux autres sont des véhicules identiques, de marque International. Une seule photo a été fournie pour ces deux unités.



Figure 2 : Camions utilisés durant la période d'instrumentation, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 60276, 60242 et 60243

Ces camions ont été retenus, car ils répondaient aux critères généraux de sélection quant aux distances approximatives parcourues et au retour au dépôt la nuit. En effet, l'unité 60276 est dédiée à deux endroits à 10 km de son port d'attache au plus. Les deux autres camions se rendent principalement à quatre endroits, tous à moins de 50 kilomètres de Groupe Bellemare. L'entreprise opère 8 autres camions dont les équipements et routes ressemblent à ceux-ci.

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 Groupe Bellemare.

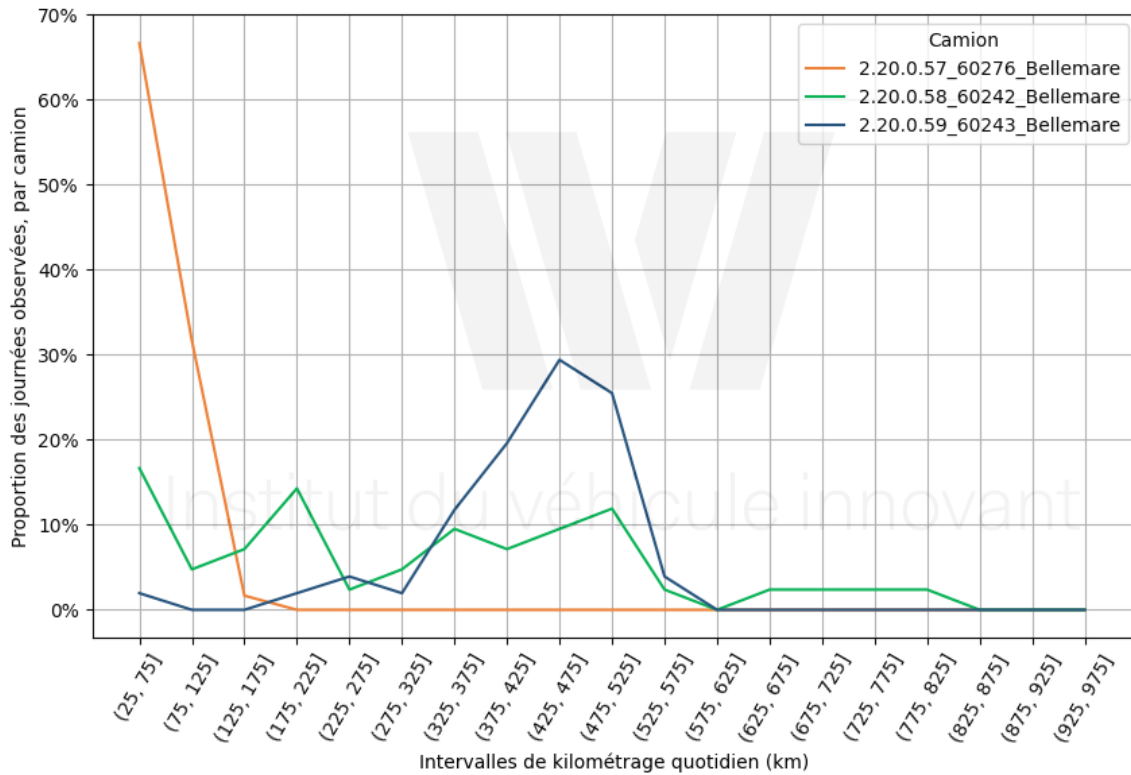
Tableau 2 : Informations de base sur l'utilisation des véhicules de Groupe Bellemare

Camion #	60276	60242	60243
Distance parcourue			
Durant le test	4 034 km	13 413 km	22 054 km
Annuellement (estimée)	16 136 km	53 652 km	88 217 km
Carburant			
Consommé durant le test	2 578 L	7 203 L	12 423 L
Consommé annuellement (estimé)	10 313 L	28 812 L	49 691 L
Consommation moyenne observée	63,9 L/100 km	53,7 L/100 km	56,3 L/100 km
Ralenti			
Temps par jour en moyenne	2,0 h	2,5 h	2,4 h
Carburant consommé au ralenti par jour	9,2 L	9,9 L	8,0 L
Carburant consommé par année (estimé)	2 257 L	1 701 L	1 671 L
Opérations			
Vitesse moyenne en déplacement	23,8 km/h	52,0 km/h	51,3 km/h
Nombre de jours actifs durant l'analyse	58 jours	41 jours	49 jours
Masse totale moyenne	31 782 kg	34 348 kg	36 027 kg

Le tableau ci-haut permet d'observer que les camions du Groupe Bellemare sont très chargés. De plus, les unités 60242 et 60243 circulent à des vitesses relativement élevées. Ces deux éléments entraîneront une consommation électrique plutôt élevée. Le camion 60276 roule beaucoup moins vite, en moyenne. Ce dernier parcourt aussi des distances beaucoup plus courtes que les autres.

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



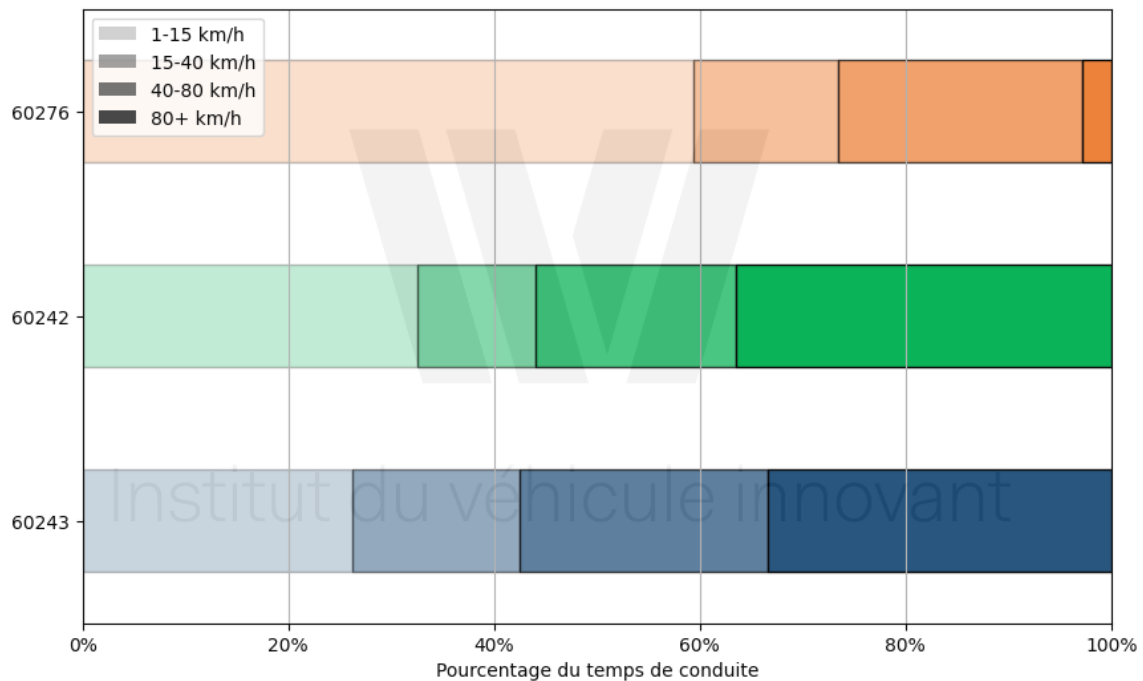
En observant le Graphique 1, il est possible de remarquer que le camion 60276 parcourt de très courtes distances par rapport aux deux autres. Celui-ci n’a jamais dépassé 125 km durant la période d’instrumentation. Les camion 60242 et 60243 ont des opérations plus longues et variées. Les distances plus populaires par jour se situent entre 325 et 525 km.

Pour ces deux véhicules, environ 60 % des journées sont entre 325 et 525 km.

Le camion 60276 a complété 97 % des journées en ayant parcouru moins de 125 km. Il y a donc une ou deux journées d’exception.

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.

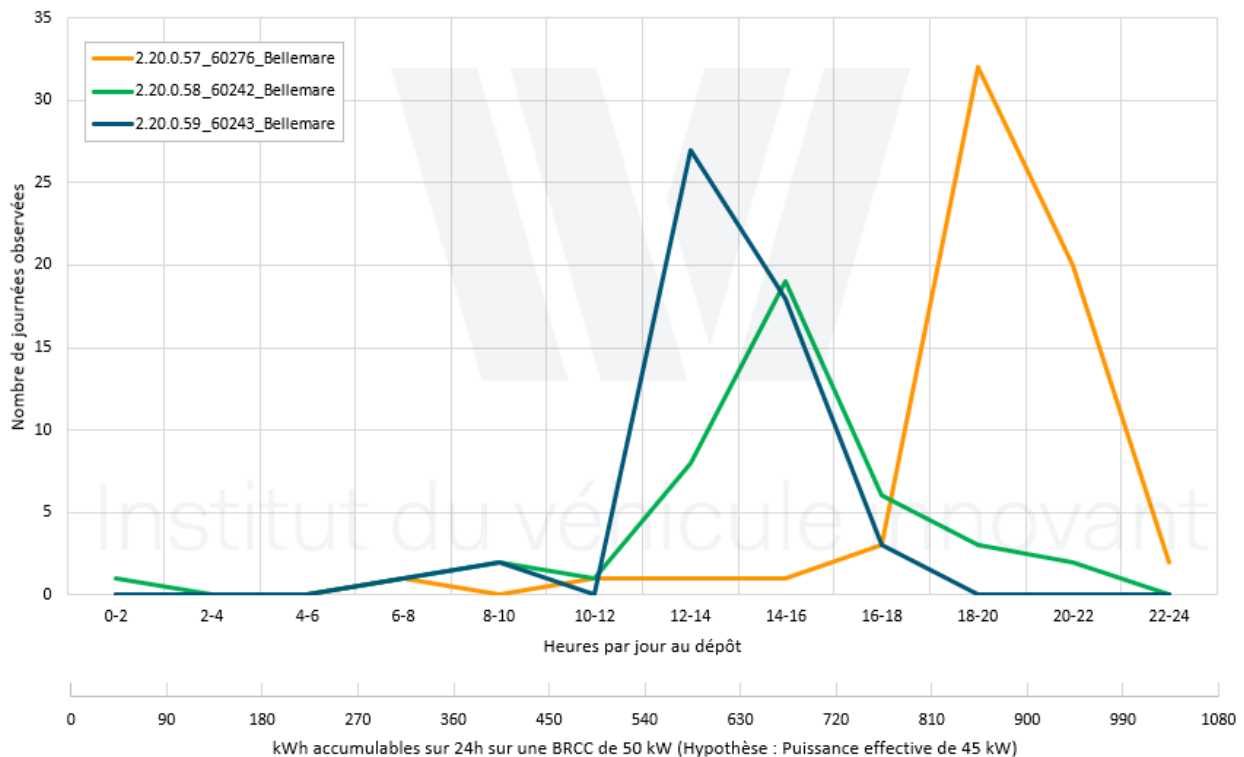
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Groupe Bellemare



L'observation du Graphique 2 montre des véhicules qui ont des opérations très différentes. Le camion 60276 roule majoritairement à moins de 15 km/h, et très peu à haute vitesse (4 % du temps environ). Les deux autres véhicules roulent à plus de 80 km/h beaucoup plus longtemps, soit plus de 35 % du temps de conduite.

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 reviennent au terminal du Groupe Bellemare en fin de journée et disposent de plusieurs heures pour s’y charger. Le Graphique 3 montre la répartition des heures passées sur le terrain de Groupe Bellemare 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 au dépôt. Par exemple, un camion arrêté 10 heures et branché sur une borne de 50 kW, soit de puissance effective de 45 kW, pourrait théoriquement accumuler 450 kWh d’énergie dans la batterie. Ces valeurs pourront être comparées aux besoins quotidiens en énergie, pour prouver que la recharge au dépôt peut suffire aux besoins du camion.

Les camions 60242 et 60243 disposent de plus de 10 heures par jour, 91 % des jours.

Le camion 60276 dispose d’un total de plus de 16 heures par jour, 89 % 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 60276

Le camion au diesel 60276 effectue un trajet pendulaire entre deux carrières à Trois-Rivières, tout près de son terminal. Il quitte celui-ci avec une remorque vide, est chargé à l'un des deux endroits visités et revient se décharger à son point de départ. Sa remorque est unique par rapport aux autres unités du Groupe Bellemare car il s'agit d'une citerne par gravité. Ceci signifie qu'aucun accessoire n'est requis pour la vider.

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



Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 60276 dans un rayon de 5 et 10 km de l'entrepôt de Groupe Bellemare



Le dénivelé du territoire parcouru est un critère important dans l'évaluation de la consommation d'énergie. La topographie de la route du camion 60276 est assez simple. Il gravit une légère pente à l'aller, alors qu'il est vide, puis la redescend au retour pleinement chargé.

Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 1,9 mètres pour chaque kilomètre parcouru.



Camion # 60276

Western Star 5700XE 2017 | 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 5 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 60276

Tel que mentionné par le participant avant l'analyse, le camion parcourt généralement environ 65 km par jour. Il arrive qu'il ait plus de voyages à faire, ce qui est reflété par la distance au 90^e percentile, soit environ 90 – 95 km par jour. Cette dernière distance devrait être celle qui sera considérée par le gestionnaire de flotte dans un scénario d'électrification. Les quelques journées plus longues sont exceptionnelles.

Le camion est utilisé 5 jours par semaine, du lundi au vendredi. Ses opérations sont assez constantes d'une journée à l'autre.

Il pourrait sembler que le camion a parcouru des distances moins grandes les vendredis. Ceci est dû au fait que les journées plus longues se produisent moins souvent lors de cette journée.

Max	126	km
90%	92	km
Med	65	km
Moy	65	km
σ	23	km
CV	35%	



	D	L	M	M	J	V	S
mai	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	84	105	63	-
	-	-	77	105	97	44	-
	-	86	76	94	86	65	-
juin	-	67	77	126	85	43	-
	-	89	-	16	33	54	-
	-	86	84	94	65	-	-
	-	92	34	76	53	-	-
juil.	-	84	54	87	62	65	-
	-	74	64	55	67	34	-
	-	64	55	-	65	55	-
	-	32	53	53	65	82	-
	-	64	54	32	74	33	-
août	-	55	55	54	74	54	-
	-	53	32	43	73	5	-

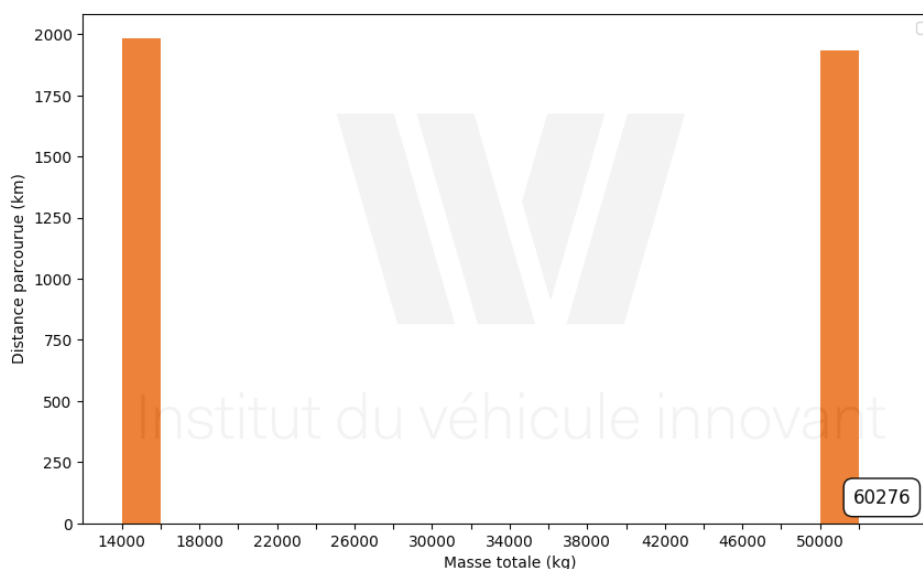


Camion # 60276

Western Star 5700XE 2017 | 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. Les chargements étant très réguliers, ils ont été appliqués aux différents trajets vers les carrières ou vers le terminal de Groupe Bellemare. Le graphique suivant montre la distance parcourue selon la masse du véhicule.

Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 60276



Tel que rapporté par le participant, le camion transporte une remorque vide 50 % du temps, et il est chargé à la limite permise pour une remorque à trois essieux l'autre 50 % du temps.

Un camion électrique, un peu plus lourd dû au poids de la batterie, limiterait donc le chargement qu'il est possible de transporter pour la moitié des trajets, soit tous les retours vers le dépôt de Groupe Bellemare. L'IVI n'est pas en mesure d'évaluer les conséquences financières de cette perte de chargement dans les calculs de rentabilité, mais une telle évaluation sera nécessaire.

De plus, il serait nécessaire d'obtenir l'autorisation du manufacturier sélectionné pour opérer à plus de 80 000 lbs (36 364 kg) de masse totale.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 60276 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 60276

Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	Très Courtes	+
Constance	Constant	+
Dénivelé	Faible	+
Recharge en journée	Possible	+
Chargement	Très Lourd	-
Accessoires	Aucun	+

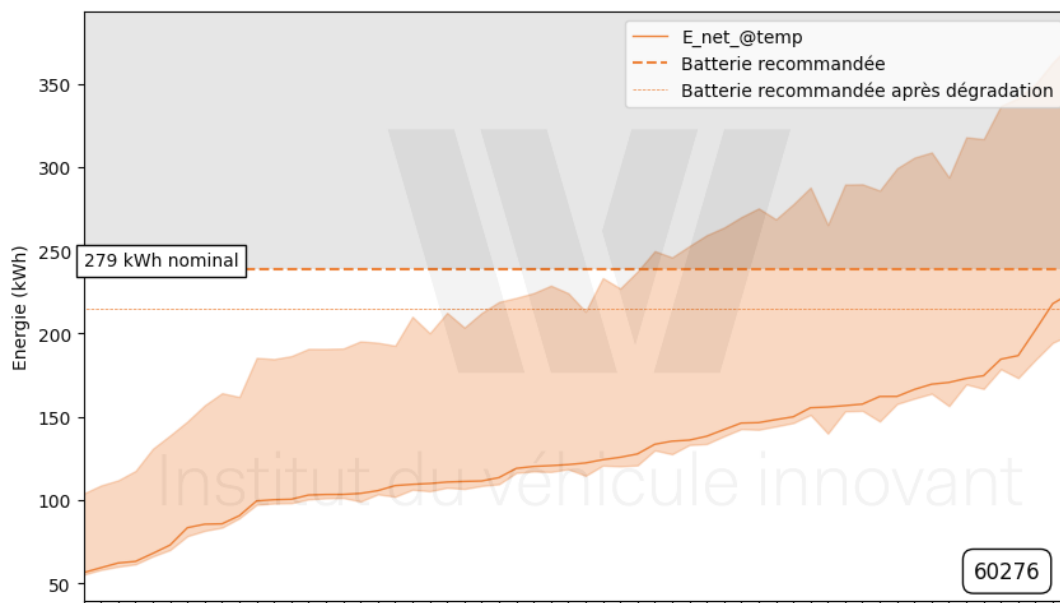


8. Scénario d'électrification pour le camion 60276

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'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 recommandée répondra au besoin.

Graphique 5: Journées de mesure du camion 60276, 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 279 kWh total disposerait de 238 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 60276 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.



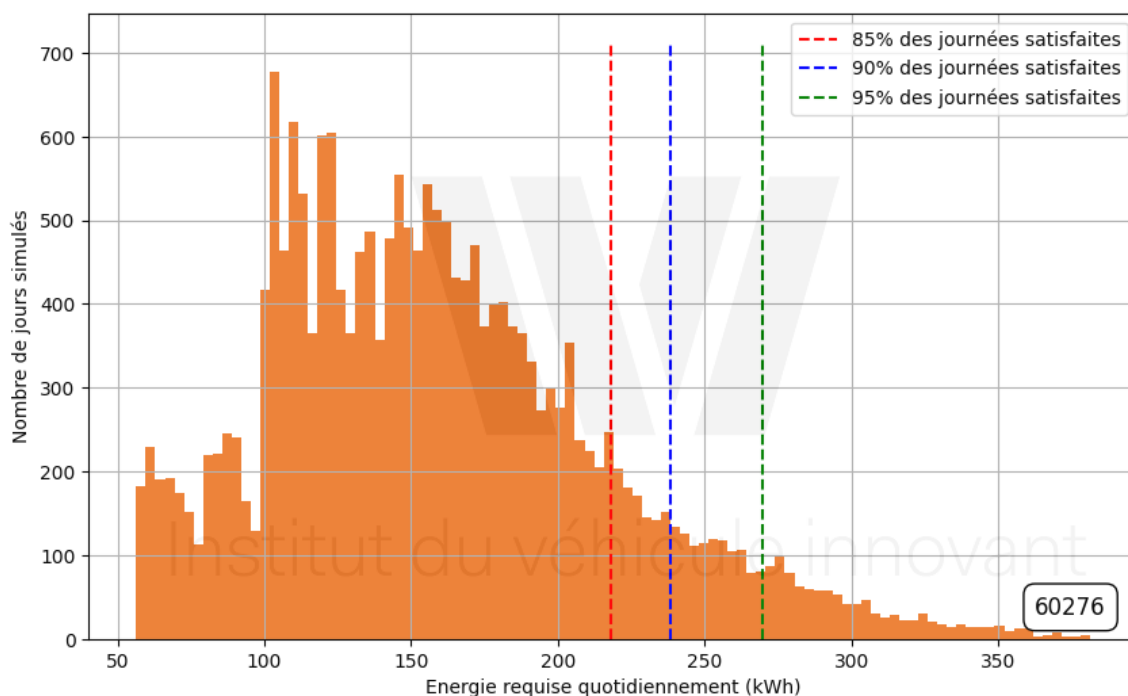
La consommation moyenne du camion à 20°C est estimée à 187 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

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 public, 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 60276





Camion # 60276

Western Star 5700XE 2017 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Pour compléter par camion électrique 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 238 kWh, ce qui équivaut à une batterie dotée d'une énergie nominale 279 kWh.

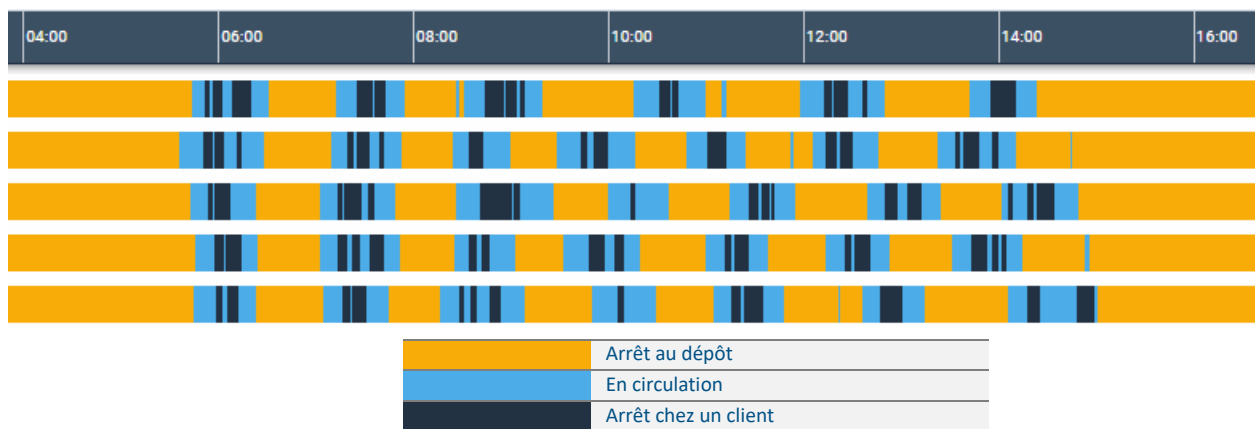
Pour compléter 95 % des journées, la capacité nominale est de 315 kWh.

Pour compléter 85 % des journées, la capacité nominale est de 255 kWh.

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 7 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 60276. 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 a eu aucun déplacement.

Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 60276



Le camion 60276 circule normalement de 5h30 à 15h. Il est donc arrêté près de 14 heures par nuit.

Il visite deux sites non loin de son port d'attache, et il revient à ce dernier à chaque voyage de 10 ou 20 km. Lors de ces arrêts au dépôt il passe généralement 30 – 60 minutes, ce qui ajoute près de 5h d'opportunités de recharge par jour, en plus des nombreuses heures disponibles 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 multipliant la puissance par le nombre d'heures, on arrive à l'énergie ajoutée quotidiennement. Celle-ci serait donc d'au moins 630 kWh (14 h * 45 kW). Cette valeur est plus que suffisante pour effectuer une charge complète.



Camion # 60276

Western Star 5700XE 2017 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 60276 seraient donc les suivants :

Tableau 5: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 60276

Capacité de la batterie embarquée	279 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 50 kW
90 % des opérations remplies ?	Oui

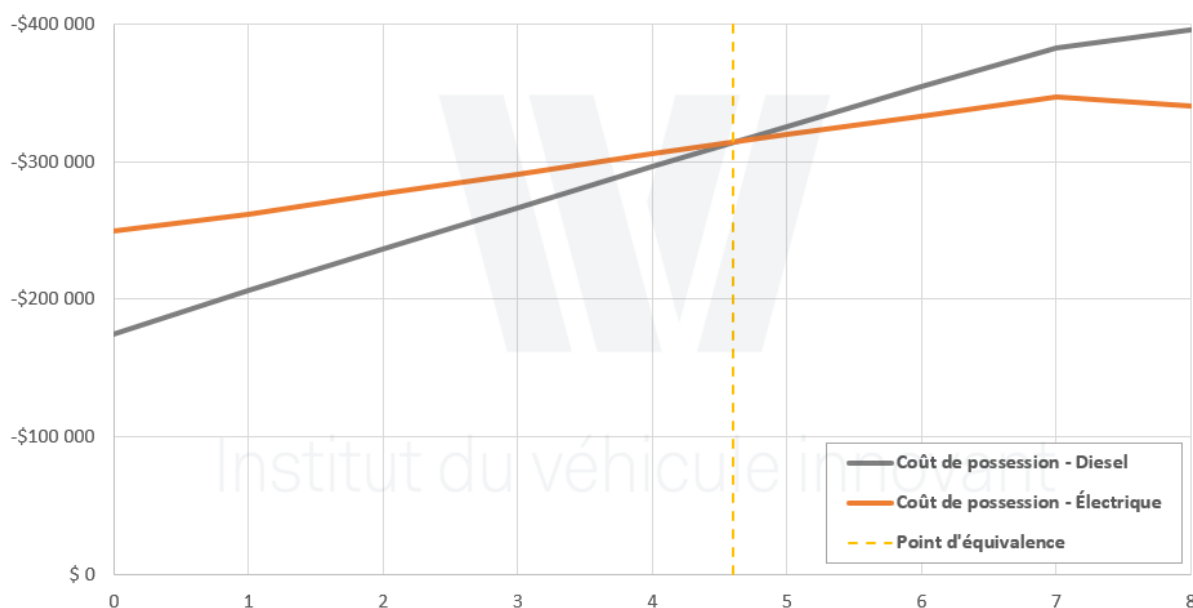
Le scénario d'électrification précédent pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 6. Les bénéfices sont comptabilisés sur 8 ans, soit la durée que Groupe Bellemare conserve typiquement ce type de véhicule.

Tableau 6 : Bénéfices financiers de l'électrification du camion 60276

Coût annuel de carburant avant électrification	20 992 \$
Coût annuel d'électricité	4 778 \$
Économie annuelle de coûts d'énergie	16 214 \$
Surcoût total à l'achat (après subventions)	70 000 \$
Période de retour sur investissement	4,6 années
Bénéfice net après 8 ans	55 073 \$

Sur une période de 8 ans, le camion électrique aurait un coût total de 340 380 \$ tandis que celui du camion diesel serait plutôt de 395 453 \$. La différence représente une économie potentielle de 14 %. Ces simulations tiennent compte des incitatifs actuels, de l'inflation, de la maintenance des camions, de l'énergie et de la puissance, du coût de la borne, de son installation et de son entretien. Le coût du diesel considéré est 2,00 \$/L et le coût de l'électricité est fixé à 0,12 \$/kWh.

Graphique 8 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 60276



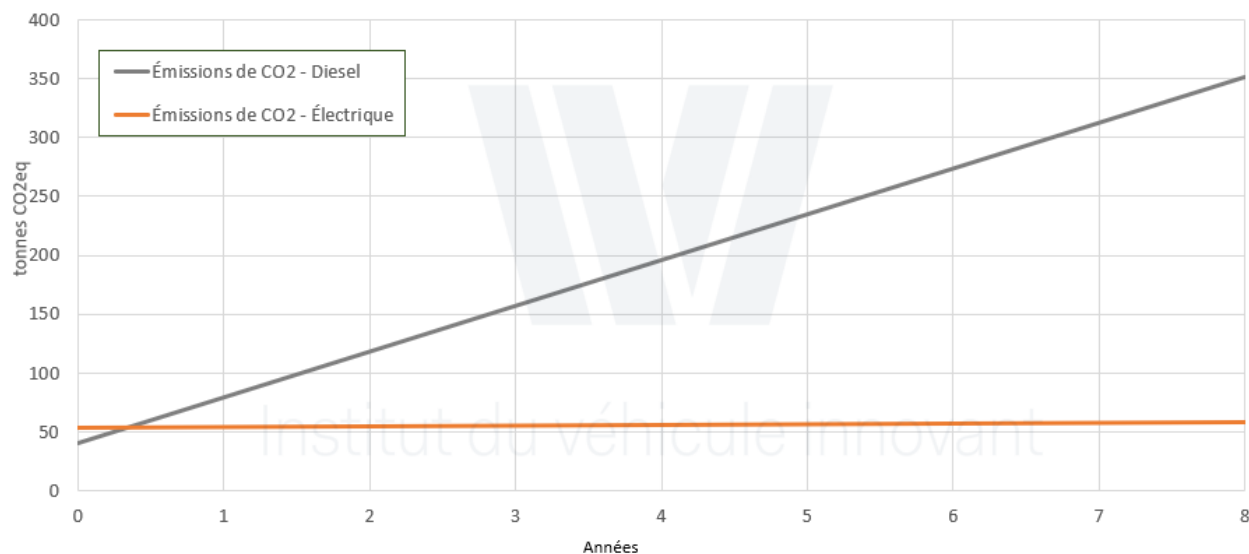


Camion # 60276

Western Star 5700XE 2017 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Il est possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 293 tonnes de CO₂ équivalent. Un camion électrique est plus polluant à produire, mais définitivement moins polluant à utiliser que son équivalent au diesel. Le point d'équivalence d'émission cumulées de GES arriverait après seulement 5 390 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 9: Émission sur la vie du camion 60276, Diesel vs. Électrique



L'IVI ne peut pas pour le moment recommander l'électrification de la route parcourue par le camion 60276. Les distances quotidiennes sont facilement réalisables avec à peu près tous les camions disponibles sur le marché. Malgré les courtes distances parcourues, le scénario d'électrification est rentable pour ce camion en considérant les données de consommation du véhicule diesel fournies par le participant. Cependant, la charge transportée par ce camion est au-delà des limites permises pour les camions électriques actuellement offerts. Lorsque les tracteurs de classe 8 permettant de tracter une masse totale suffisante seront offerts, l'électrification sera recommandée.

De plus, les arrêts fréquents au terminal de Groupe Bellemare en journée permettraient de recharger le camion à chaque voyage, ce qui ferait en sorte de conserver l'état de charge de la batterie élevé, ou même d'utiliser le camion pour d'autres routes en fin de journée pour améliorer la rentabilité.

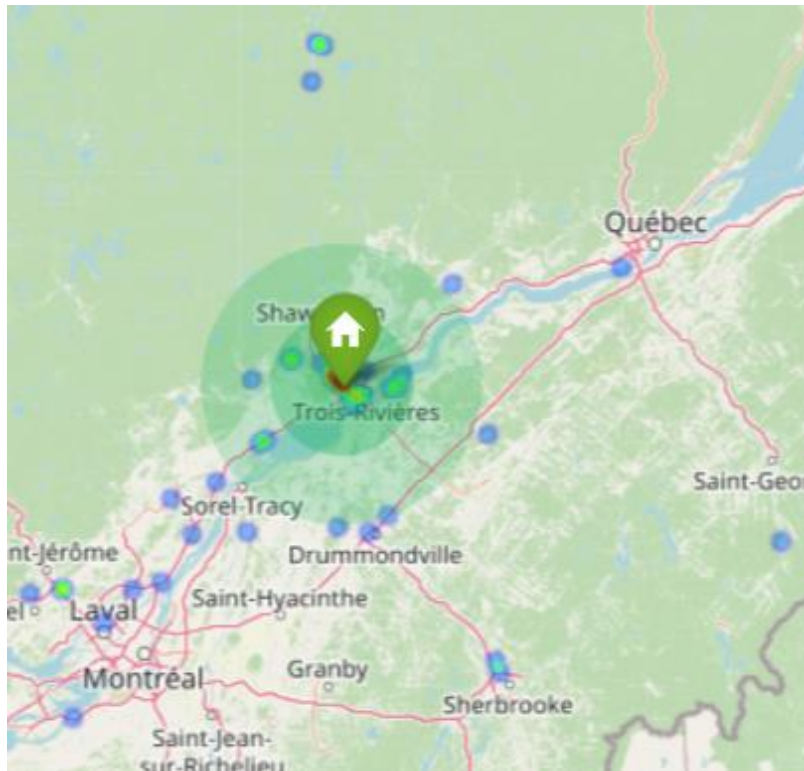
Alors qu'un voyage aller-retour requiert en moyenne 20 ou 37 kWh d'énergie en été selon la destination, un arrêt de 30 minutes permettrait de restituer près de 25 kWh à la batterie, et un arrêt de 60 minutes près de 50 kWh. Il revient donc à dire que positionner une borne de recharge à l'endroit où le camion vide son chargement en journée permettrait de partir chaque aller-retour avec un état de charge près de 100 %.



9. Analyse du camion 60242

Le camion au diesel 60242 est habituellement utilisé pour le transport de vrac vers une usine de béton du Groupe Bellemare. Le camion se rend toujours à cette usine avec une remorque 3 essieux pleinement chargée, et ramène une remorque vide.

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 :



Durant l'analyse des déplacements de l'unité 60242, des trajets très variés ont été observés dû à un manque de demande pour la route normale vers l'usine de béton. Ainsi, beaucoup d'endroits ont été visités un peu partout dans la province, dans un rayon d'environ 200 km à partir de Trois-Rivières.

Beaucoup de trajets ont tout de même eu lieu à proximité. La plupart de ceux-ci sont des livraisons au même endroit que le camion 60276.

Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 60242 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Groupe Bellemare



La topographie des routes parcourues par le camion 60242 est relativement plate. L'effort additionnel servant à graver les pentes rencontrées représente peu d'énergie.



Camion # 60242

International HX620 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 5 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 60242

Les distances parcourues par le camion 60242 sont plutôt variées et peu répétitives. En ce sens, pour un scénario visant à remplacer un camion électrique pour combler l'entièreté des besoins quotidiens de cette route, il faudrait viser être en mesure de compléter la journée du 90^e percentile. Cette journée représente 527 km parcourus.

Les distances moyenne et médiane sont beaucoup moins élevées, mais les journées sont si peu régulières que ces valeurs ne sont pas représentatives.

Le camion est utilisé 5 jours par semaine du lundi au vendredi, mais il n'a pas été utilisé de façon régulière durant l'analyse des données.

Bien que plusieurs trajets aient été semblables à ceux effectués par le camion 60276, les journées du 60242 sont beaucoup plus longues. À plusieurs reprises, les courtes livraisons à Trois-Rivières ont été accompagnées de livraisons plus loin.

Aucunes données n'ont été enregistrées au milieu du mois de juin. Le camion n'a pas roulé car il fut remplacé par un camion électrique pour tester les opérations de la route 60276 durant cette période.

Max	801	km
90%	527	km
Med	229	km
Moy	286	km
σ	216	km
CV	76%	

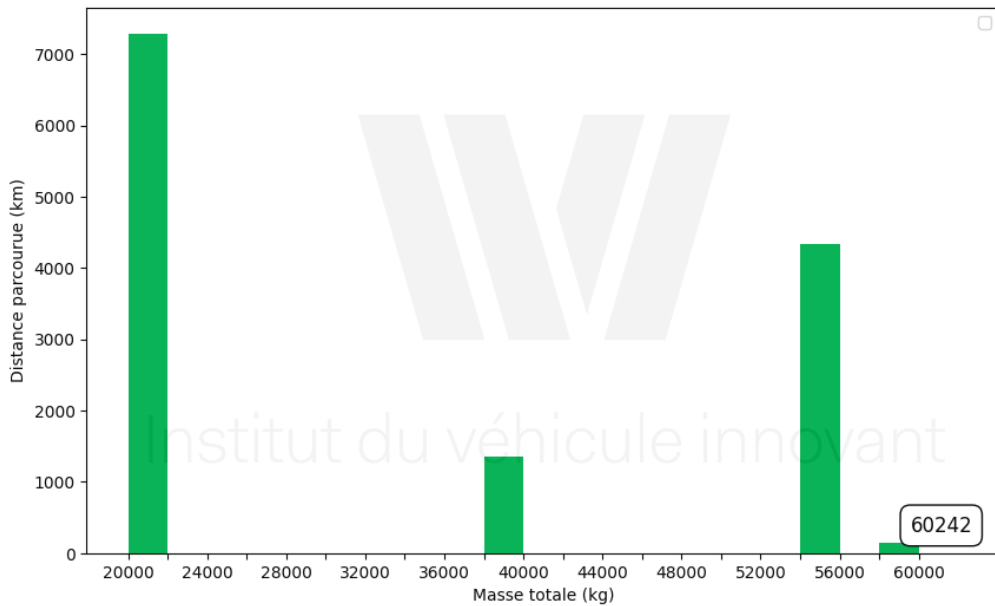


	D	L	M	M	J	V	S
mai	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	80	147	348	-
	-	-	391	801	103	317	-
	-	455	693	200	451	49	-
juin	-	454	176	483	280	-	-
	-	36	-	-	-	-	-
	-	-	55	47	8	-	-
juil.	-	-	508	197	552	409	-
	-	-	163	200	34	-	-
	-	-	14	13	91	392	-
	-	50	205	229	365	-	-
	-	731	127	67	639	-	-
août	-	446	369	-	507	-	-
	-	327	511	498	200	6	-



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 montre la distance parcourue selon la masse du véhicule.

Graphique 10: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 60242



Comme le camion 60276, le 60242 est soit chargé à la capacité maximale pour une remorque 3 essieux, ou sinon il tire sa remorque vide. Il faudrait donc prévoir une analyse approfondie sur l'effet de la réduction du chargement sur la rentabilité, et étudier plus sérieusement la possibilité ou attendre la disponibilité de camions électriques pouvant tracter une remorque à trois essieux.

Le graphique 10 montre une barre à environ 38 000 kg. Ceci représente certains trajets où un aller-retour a été comptabilisé comme un seul trajet. Une masse moyenne a donc été appliquée pour calculer une consommation moyenne réaliste, mais elle ne représente pas une situation réelle.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 60242 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 60242

Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	Longues	-
Constance	Varié	-
Dénivelé	Faible	+
Recharge en journée	Non	-
Chargement	Très Lourd	-
Accessoires	PTO	-

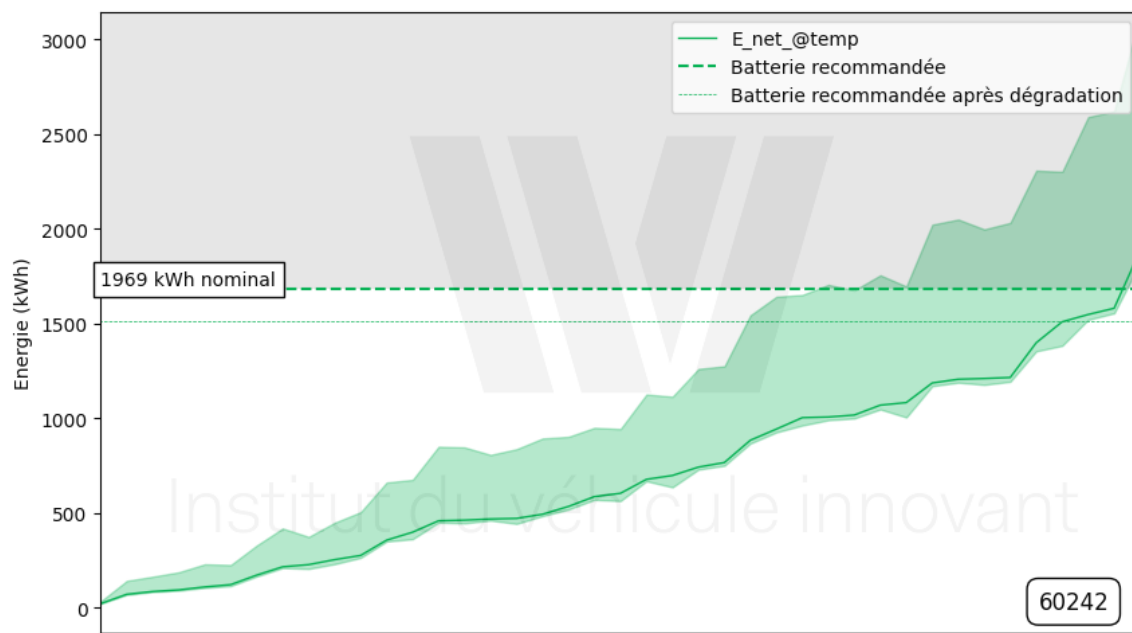


10. Scénario d'électrification pour le camion 60242

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 11 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 11: Journées de mesure du camion 60242, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



Guide d'interprétation du Graphique 11 :

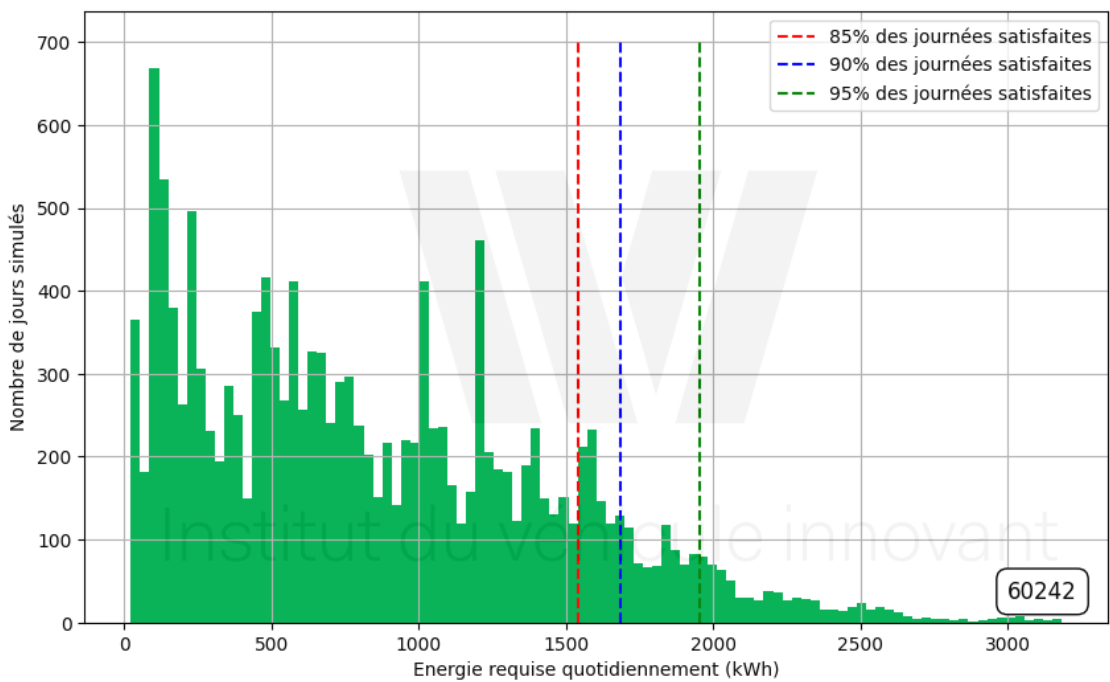
- La courbe verte du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire verte montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20°C) ou très froid. La valeur plus 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 1969 kWh disposerait de 1683 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 60242 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 215 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

Le graphique Graphique 12 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** 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 12 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 60242



Une batterie de 1969 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 1803 et de 2288 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.

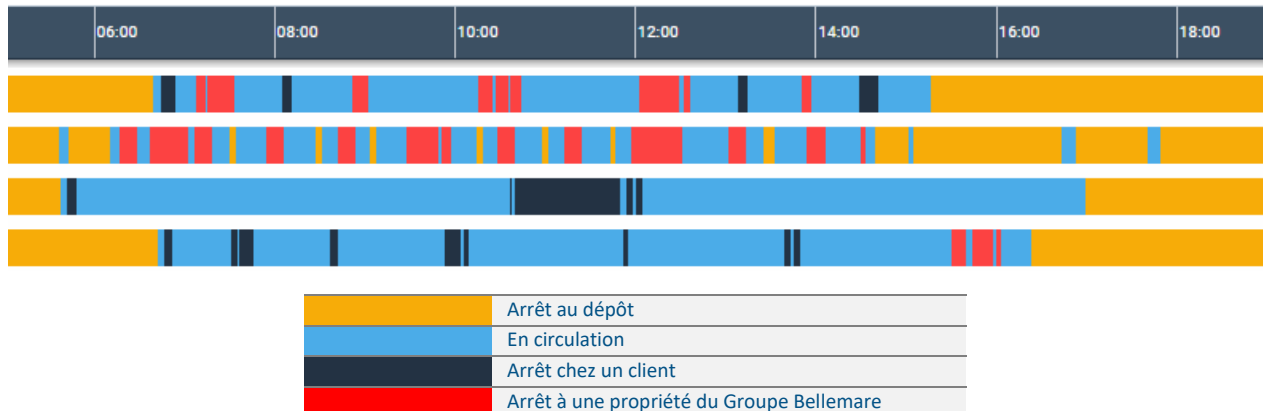
Le Graphique 13 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 60242. Chaque bande horizontale représente un jour du mardi au vendredi, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée. Les nuits ont été coupées, car il n'y a eu aucun déplacement.



Camion # 60242

International HX620 2019 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Graphique 13 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 60242



Le camion 60242 est utilisé entre 6h et 17h environ. Ceci lui laisse environ 14h par jour pour recharger. Une stratégie alternative consisterait à le faire recharger à chaque arrêt, sur une propriété du Groupe Bellemare, ou bien d’y faire l’échange avec un autre tracteur déjà présent à un tel endroit et rechargé. Ce scénario serait possible lors des arrêts en rouge sur le graphique précédent, mais pas pour les autres arrêts. Ce scénario ne permettrait donc pas de répondre à toutes les demandes, car certains jours le camion ne s’arrête à aucun endroit où la recharge serait possible.

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 quotidiennement par le nombre d’heures disponibles, on arrive à la puissance de l’infrastructure requise. Celle-ci serait donc d’au moins 121 kW (1683 kWh / 14 h). Une borne de recharge de 150 kW sera requise pour répondre à ce besoin.

Les paramètres retenus pour un scénario d’électrification du camion 60242 seraient donc les suivants :

Tableau 9: Paramètres d’électrification retenus pour le camion 60242

Capacité de la batterie embarquée	1969 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 150 kW
Batterie disponible sur le marché actuel ?	Non

Un véhicule muni d’une telle batterie n’est pas disponible sur le marché pour le moment. Malgré ceci, il est possible d’estimer les économies en carburant et les bénéfices environnementaux. Le scénario d’électrification précédent pourrait donc apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 10, pour une utilisation sur 8 ans.

Tableau 10: Bénéfices financiers de l’électrification du camion 60242

Coût annuel de carburant avant électrification	55 543 \$
Coût annuel d’électricité	23 379 \$
Économie annuelle de coûts d’énergie	32 164 \$
Bénéfice net après 8 ans	257 312 \$



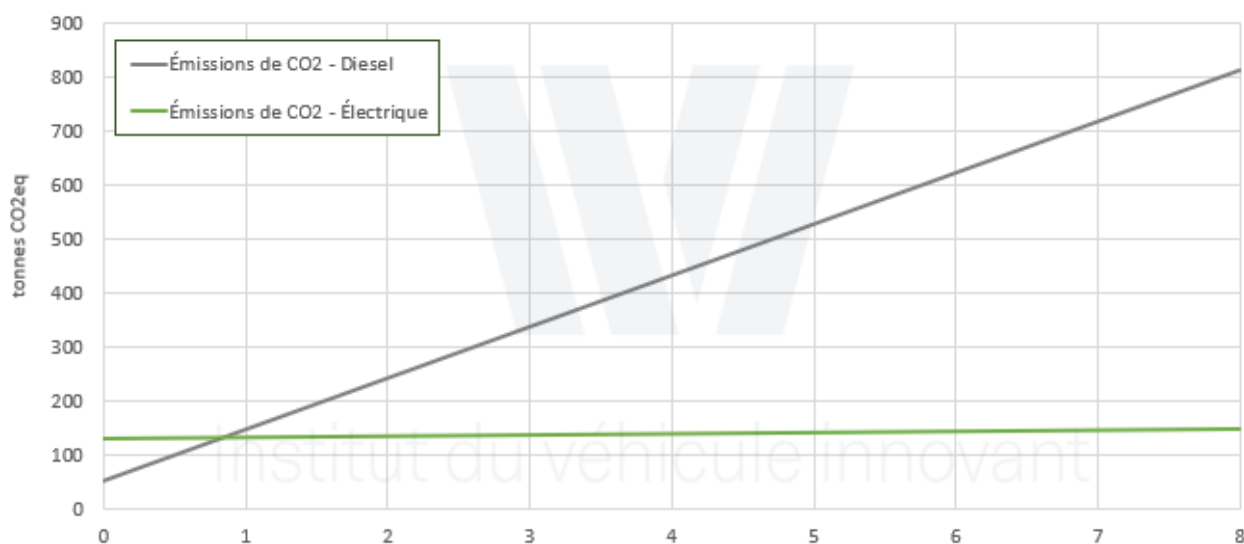
Camion # 60242

International HX620 2019 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

Sur une période de 8 ans, le camion électrique permettrait d'économiser 257 312 \$ sur les coûts d'énergie. Le surcoût à l'achat d'un véhicule et de son infrastructure de recharge devrait donc être inférieur à ceci pour rentabiliser cette transition. Ces simulations tiennent compte du coût de l'énergie et de la puissance. Le coût du diesel considéré est 2,00 \$/L et le coût de l'électricité est fixé à 0,16 \$/kWh (ce coût plus est plus élevé que pour le premier camion, car la puissance requise est plus grande).

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 667 tonnes de CO₂ équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 46 840 km. Ces valeurs viennent des analyses indépendantes de l'IVI, basées sur des études de l'*International Council on Clean Transportation (ICCT)* et tiennent compte des émissions de GES de la production d'électricité par barrages hydro-électriques.

Graphique 14: Émission sur la vie du camion 60242, Diesel vs. Électrique





Camion # 60242

International HX620 2019 | Tracteur Classe 8 – PNB 36 364 kg

L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification des routes du camion 60242 telles qu'observées. Un camion proposant une batterie contenant suffisamment d'énergie pour compléter l'entièreté des distances quotidiennes n'est pas encore offert sur le marché, et les opportunités de recharge durant la journée ne sont insuffisantes et irrégulières. De plus, le camion est régulièrement chargé à plus de 80 000 lbs (36 364 kg), ce qui est la limite autorisée pour les camions actuellement offerts.

Il était prévu que le camion 60242 effectue une route entre Charrette et Béton Bellemare à Trois-Rivières, mais ce trajet n'a pas été observé lors de la période d'analyse. Malgré ceci, quelques trajets ont été répétés à plusieurs occasions et il serait intéressant de connaître le potentiel d'électrification de ces routes en particulier, si le volume est suffisant. Le trajet ayant le plus de potentiel est celui entre Groupe Bellemare et la sablière Bellemare :

Route	Besoin énergétique en été
Groupe Bellemare - Sablière Bellemare (Saint-Étienne-de-Grès)	
Aller (vide)	21 kWh
Retour (plein)	35 kWh

En plus de ce trajet, ce camion a souvent parcouru les deux mêmes trajets que l'unité 60276. Puisque ce trajet est facilement électrifiable, il serait intéressant de quantifier à quelle fréquence les véhicules du Groupe Bellemare effectuent ce dernier pour déterminer si plus d'un camion pourrait être dédié à cette route.

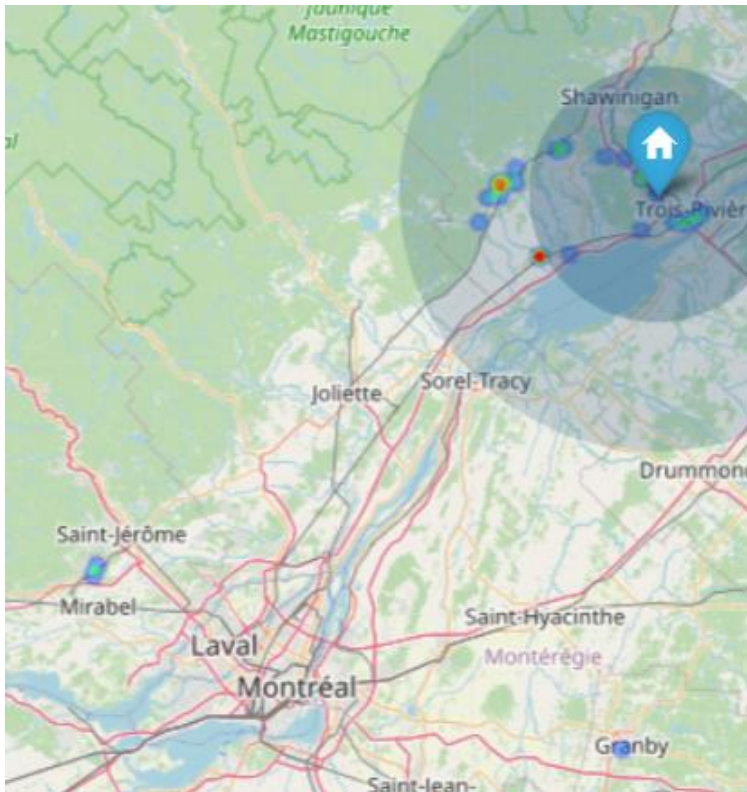
Quant au trajet qui était prévu avant l'analyse, celui-ci mesure 33 kilomètres par aller. En estimant que la consommation pour ces voyages serait semblable à celle observée lors de la phase d'instrumentation, il est possible de croire qu'un camion électrique actuellement sur le marché serait en mesure de faire un aller-retour. Ceci n'inclut toutefois pas la route pour se rendre de Groupe Bellemare à Charrette, et il y a peu de chances que plus d'un voyage soit possible. Comme le camion fait jusqu'à 7 allers-retours par jour, il faudrait prévoir plus d'un véhicule électrique pour remplacer le camion actuel. Ce véhicule additionnel pourrait être rechargé pendant que le premier effectue un voyage, puis l'inverse. Si cette option semble intéressante pour les gestionnaires de Groupe Bellemare, une étude plus approfondie devrait être réalisée pour s'assurer de la viabilité de ce scénario.



11. Analyse du camion 60243

Le camion 60243 est utilisé pour transporter du vrac entre Charrette et Louiseville. Puisqu'il transporte cette cargaison dans une benne, il est muni d'un PTO (*Power Take-Off*).

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 :



Lors de la période d'analyse, le camion s'est bien rendu souvent à Charrette et à Louiseville. Ces deux endroits sont à l'intérieur du rayon de 50 km à partir de terminal de Groupe Bellemare.

Bien qu'il ait beaucoup voyagé entre ces deux points, il a plus souvent parcouru la route entre Louiseville et Sainte-Angèle-de-Prémont. Ces deux destinations sont d'ailleurs représentées par les deux points rouges sur la Figure 5.

Occasionnellement il s'est rendu plus loin, jusqu'à Granby et Mirabel.

Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 60243 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Groupe Bellemare



Les routes aux environs de Trois-Rivières et de la Mauricie sont plus montagneuses que dans la vallée du Saint-Laurent. Ceci explique l'indice de dénivelé moyen du camion 60242, indiquant que la dépense énergétique liée à monter des côtes sera un peu plus élevée qu'un camion évoluant exclusivement sur des routes à la topographie plate.



Camion # 60243

International HX620 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 5 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 60243

Le camion 60243 est généralement utilisé 5 jours par semaine, du lundi au vendredi. Les distances qu'il parcourt sont assez irrégulières, bien que ses destinations soient plutôt constantes.

Il n'y a pas de journée de semaine typiquement plus longue que les autres.

La journée moyenne est de 391 kilomètres, mais dans une optique de projet d'électrification, la valeur du 90^e percentile fournira une meilleure idée de la distance qu'il faut viser être en mesure de parcourir. Cette dernière valeur est de 512 km par jour.

Max	560	km
90%	512	km
Med	440	km
Moy	391	km
σ	141	km
CV	36%	

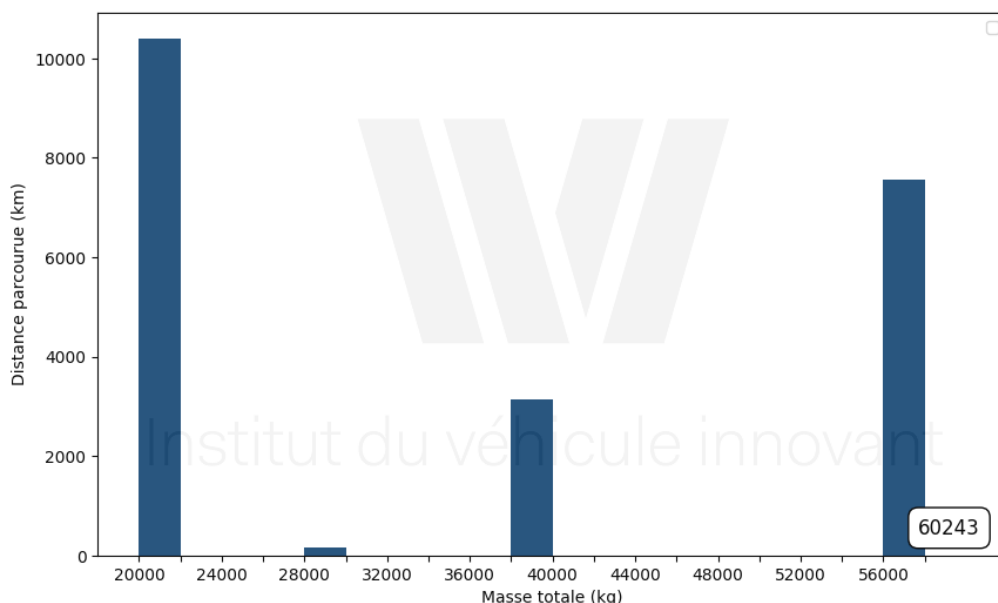


	D	L	M	M	J	V	S
mai	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	32	10	14	-
	-	-	458	467	473	409	-
14	441	511	341	437	373	-	-
juin	-	515	421	414	441	369	-
	-	485	522	387	496	319	257
	-	-	262	223	481	-	-
	-	73	449	447	349	-	-
juil.	-	513	462	392	537	346	-
	-	404	448	500	518	391	-
	-	465	560	508	486	413	-
	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
août	-	425	368	415	444	439	-
	-	440	489	447	485	91	-



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 montre la distance parcourue selon la masse du véhicule.

Graphique 15: Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 60243



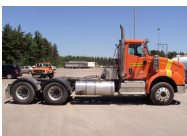
Le camion 60243 est chargé de manière très semblable aux deux précédents. Soit il est chargé à la limite de poids autorisé pour un camion tirant une remorque à trois essieux (environ 56 000 kg), soit il ramène une remorque vide. La distance parcourue avec un chargement moyen devrait être redistribuée également entre la masse à vide et pleinement chargée.

Tout comme les deux autres camions, un camion électrique réduirait la charge utile pouvant être transportée sur cette route. De plus, les modèles actuellement sur le marché requièrent une autorisation du fabricant pour opérer au-delà de 80 000 lbs (36 364 kg).

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 60243 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 60243

Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	Longues	-
Constance	Varié	-
Dénivelé	Élevé	-
Recharge en journée	Non	-
Chargement	Très Lourd	-
Accessoires	PTO	-

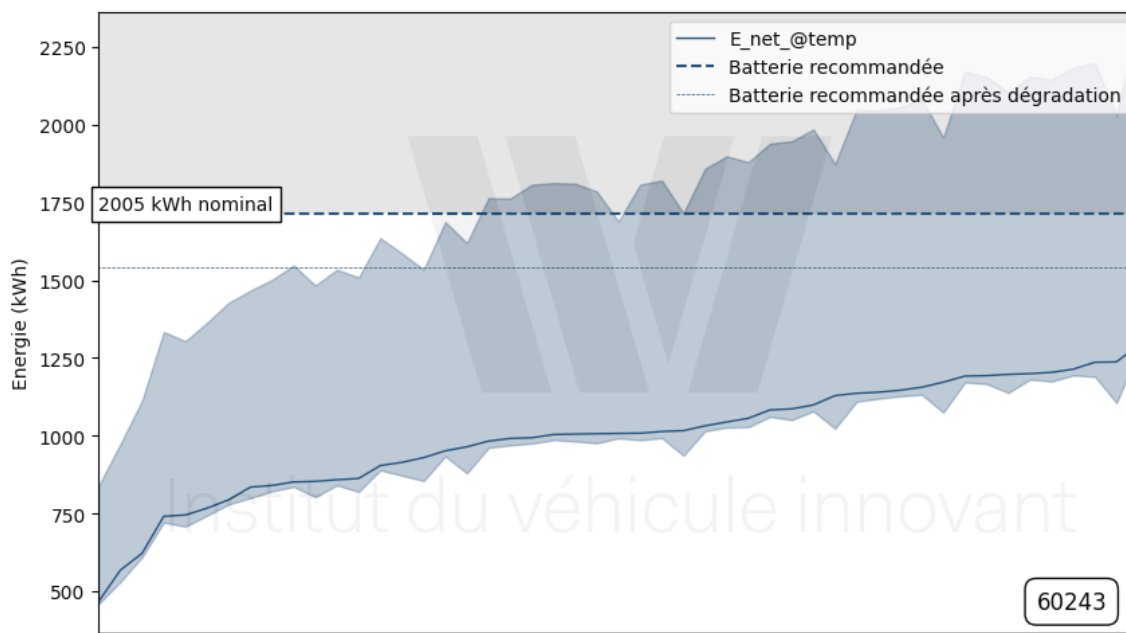


12. Scénario d'électrification pour le camion 60243

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

Le Graphique 16 montre la distribution de ces énergies pour chaque journée de l'analyse. Ces journées ont été réordonnées en ordre croissant de besoin énergétique quotidien. Ceci permet de mieux visualiser à quel point la configuration de batterie répondra au besoin.

Graphique 16: Journées de mesure du camion 60243, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



Guide d'interprétation du Graphique 16 :

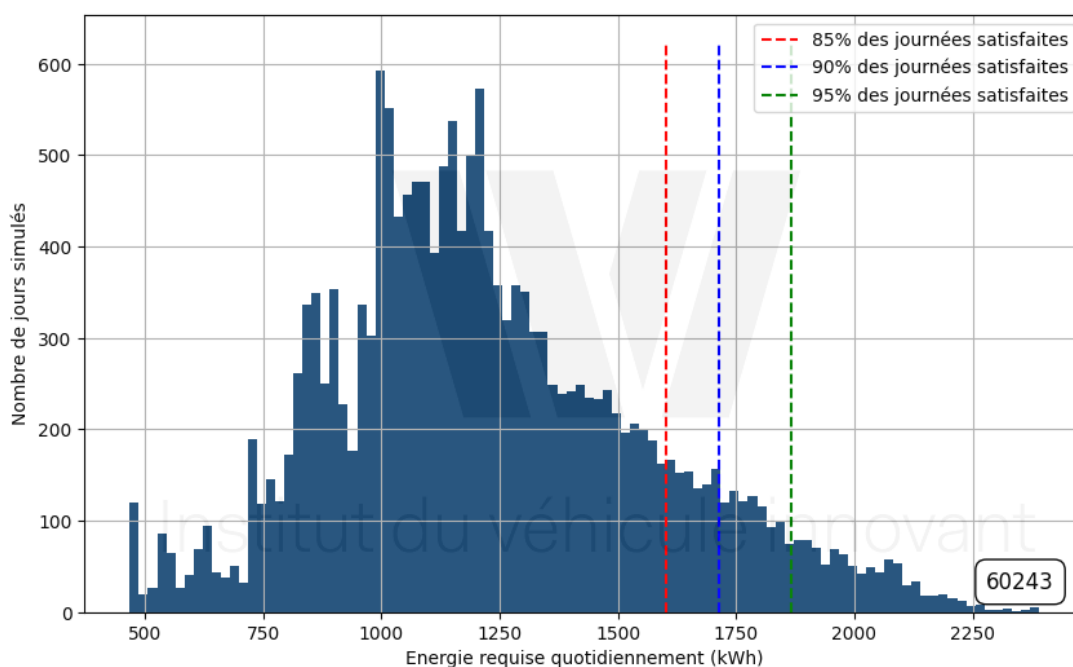
- La courbe bleue du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire bleue montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20°C) ou très froid. La valeur plus élevée représente l'énergie lors d'une journée froide (-20°C).
- La zone sous la ligne pointillée horizontale représente les journées où le camion dispose d'assez d'énergie pour compléter tous les trajets de la journée.
- Un camion avec une batterie de capacité nominale de 2005 kWh disposerait de 1714 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 60243 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 223 kWh / 100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

Le Graphique 17 représente les tailles de batteries recommandées pour accomplir 85%, 90% ou 95% des journées d'une année, sans que le camion électrique n'ait recours à la recharge en cours de journée. Pour obtenir ce graphique, l'IVI a considéré que toutes les journées de l'année ont des chances égales de se faire attribuer les routes de l'une ou l'autre des journées valides de l'échantillon récolté. L'IVI a développé une méthode pour propager sur une année les données récoltées en trois mois. Cette méthode est expliquée en détail au-dessus du Graphique 6.

Graphique 17 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 60243



Une batterie de 2005 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 1872 et de 2184 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.

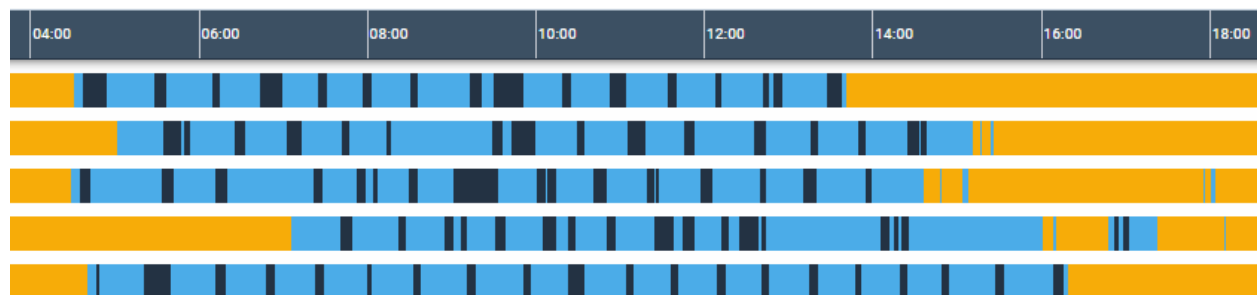
Le Graphique 18 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 60243. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée. Les nuits ont été coupées, car il n'y avait aucun déplacement.



Camion # 60243

International HX620 2019 | Tracteur Classe 8– PNB 36 364 kg

Graphique 18 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 60243



	Arrêt au dépôt
	En circulation
	Arrêt chez un client

Le camion 60243 débute sa journée un peu avant 5h le matin, et termine généralement autour de 16h. Il dispose donc régulièrement de plus de 12 heures par jour pour recharger.

Durant la journée, il fait de multiples arrêts, presque tous sur un terrain appartenant au Groupe Bellemare. Moyennant l'installation de plusieurs bornes de recharge, l'entièreté ou une partie de ces arrêts pourraient devenir des opportunités de recharge, permettant de compléter les activités avec une batterie plus petite.

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 quotidiennement par le nombre d'heures disponibles, on arrive à la puissance de l'infrastructure requise. Celle-ci serait donc d'au moins 143 kW (1714 kWh / 12 h). Une borne de recharge de 150 kW sera requise pour répondre à ce besoin.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 60243 seraient donc les suivants :

Tableau 13: Paramètres d'électrification retenus pour le camion 60243

Capacité de la batterie embarquée	2 005 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 150 kW
Batterie disponible sur le marché actuel ?	Non



Un véhicule muni d'une telle batterie n'est pas disponible sur le marché pour le moment. Malgré ceci, il est possible d'estimer les économies en carburant et les bénéfices environnementaux. Le scénario d'électrification précédent pourrait donc apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 14, pour une utilisation sur 8 ans.

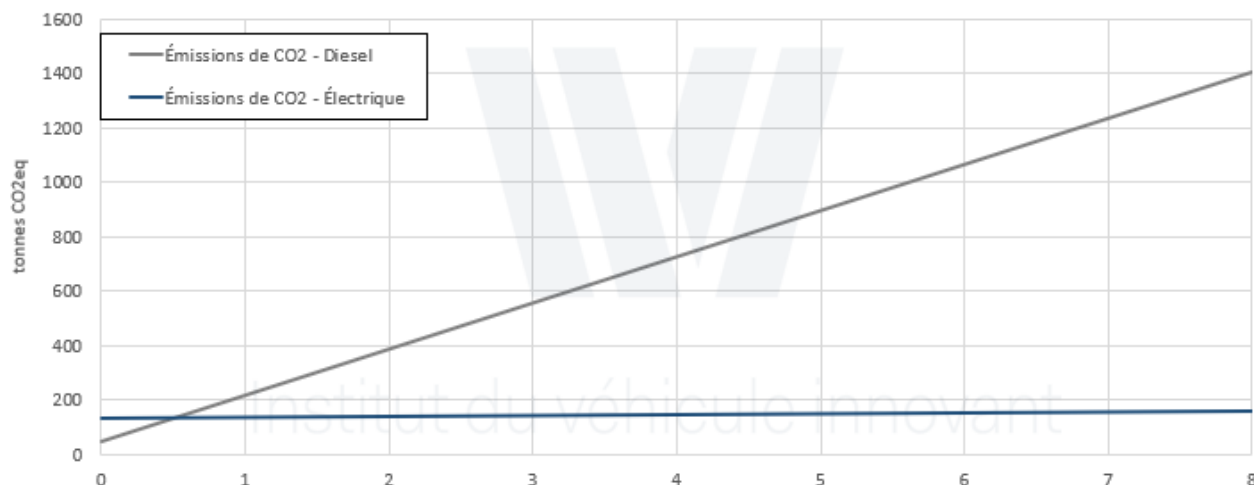
Tableau 14: Bénéfices financiers de l'électrification du camion 60243

Coût annuel de carburant avant électrification	98 380 \$
Coût annuel d'électricité	40 888 \$
Économie annuelle de coûts d'énergie	57 492 \$
Bénéfice net après 8 ans	459 936 \$

Sur une période de 8 ans, le camion électrique permettrait d'économiser 459 936 \$ sur les coûts d'énergie. Le surcoût à l'achat d'un véhicule et de son infrastructure de recharge devrait donc être inférieur à ceci pour rentabiliser cette transition. Ces simulations tiennent compte du coût de l'énergie et de la puissance. Le coût du diesel considéré est 2,00 \$/L et le coût de l'électricité est fixé à 0,16 \$/kWh.

Même si les camions actuels ne disposent pas de batteries offrant suffisamment d'énergie, il est possible de calculer le bénéfice environnemental de l'électrification de cette route, celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Ce bénéfice n'est pas négligeable puisque l'électrification éviterait la propagation de plus de 1 217 tonnes de CO₂ équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 44 207 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 19: Émission sur la vie du camion 60243, Diesel vs. Électrique





Camion # 60243

International HX620 2019 | Tracteur Classe 8– PNB 36 364 kg

L'IVI n'est pas en mesure de recommander le remplacement de l'entièreté des activités du camion 60243 par un véhicule électrique en ce moment. Compléter tous les trajets d'une journée sans recharger au dépôt requiert une batterie munie d'une énergie plus grande que celles présentement offertes. De plus, les camions sur le marché en ce moment ne permettent pas de tirer des charges supérieures à 80 000 lbs (36 364 kg) sans autorisation du manufacturier, ce que le camion 60243 fait couramment.

Certaines adaptations des opérations pourraient rendre ce scénario d'électrification possible. Le camion visite un nombre restreint d'endroits au courant de la journée, faisant principalement la navette entre 3 points. De plus, ces lieux sont des propriétés du Groupe Bellemare. Il serait donc possible d'y installer des infrastructures de recharge pour ajouter de l'énergie au véhicule en cours de journée.

Le tableau ci-dessous résume l'énergie requise pour l'aller-retour vers les deux endroits le plus fréquemment visités :

Route	Énergie requise pour l'aller-retour en été	Aller-retour possible en hiver ?
Louiseville – Charrette	165 kWh	Oui
Louiseville – Saint-Angèle-de-Prémont	112 kWh	Oui

Malgré ceci, les arrêts ne sont pas assez longs en ce moment pour pleinement recharger un véhicule avant de repartir. Il serait donc nécessaire d'ajouter un camion qui chargerait pendant que le premier effectue une livraison.

Une étude de rentabilité pour ce scénario devrait donc être faite pour tenir compte de l'acquisition de deux camions et deux bornes de recharge pour effectuer les opérations actuellement complétées par un seul véhicule.

13. Conclusions et recommandations

L'analyse des trois camions diesel instrumentés chez Groupe Bellemare 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 Groupe Bellemare

Véhicule	Camion 60276	Camion 60242	Camion 60243
Potentiel d'électrification (/10)	6,8	2,6	2,6
Recommandation d'électrification de l'IVI	Non	Non	Non
Capacité totale de batterie requise pour effectuer 85 % des déplacements	255 kWh	1 803 kWh	1 872 kWh
Capacité totale de batterie requise pour effectuer 90 % des déplacements	279 kWh	1 969 kWh	2 005 kWh
Capacité totale de batterie requise pour effectuer 95 % des déplacements	315 kWh	2 288 kWh	2 184 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.

L'électrification de la route 60276 présente un bon potentiel d'électrification. Celle-ci ne nécessite pas une grosse batterie, ni une borne de recharge puissante. Le score d'électrification n'est pas plus élevé, car le véhicule est souvent très chargé. Le chargement alloué par le manufacturier du camion sélectionné serait à vérifier.

Les deux autres camions sont un peu plus compliqués. En plus du chargement élevé, ceux-ci parcourent de grandes distances. Un changement important dans la gestion des itinéraires et possiblement l'ajout de véhicules et de bornes de recharges à plusieurs endroits serait nécessaire pour arriver à électrifier la majeure partie des activités de ces véhicules avec les véhicules actuellement disponibles.

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.

Dans son analyse, l'IVI a considéré chaque minute passée au dépôt de Groupe Bellemare comme étant propice à la recharge, alors que ceci pourrait être moindre si le chargement de la cargaison prend beaucoup de temps, par exemple. Le positionnement de la borne devra être considéré pour maximiser les possibilités de recharge. 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 Groupe Bellemare. Ces véhicules ont été choisis sur le volet par l'IVI et le participant pour répondre aux questionnements des gestionnaires de flotte et pour leurs déplacements limités pouvant produire des candidats à l'électrification. Il ne faut donc pas utiliser ces résultats comme généralisation quant au potentiel d'électrification de l'entièreté du parc de Bellemare, 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 :

GEOTAB.