



Flotte rechargeable Camions lourds

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

Rapport phase 2 – Groupe Morin

Par : Mathieu Chevigny

Révisé par : Philippe Louiseize, ing. et Charles Trudel, ing.

Date : 31 janvier 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 705-052	18
8. Scénario d'électrification pour le camion 705-052	21
9. Analyse du camion 705-065	28
10. Scénario d'électrification pour le camion 705-065	31
11. Analyse du camion 705-070	37
12. Scénario d'électrification pour le camion 705-070	40
13. Conclusions et recommandations.....	44
14. Sources des données.....	46
15. Informations et contact.....	47
16. Remerciements	48



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 Morin	14
Tableau 3 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 705-052	19
Tableau 4 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 705-052	20
Tableau 5 : Représentation de la moyenne des consommations énergétiques théoriques par type de trajets	24
Tableau 6 : Paramètres d'électrification retenus pour le camion 705-052	26
Tableau 7 : Bénéfices financiers de l'électrification du camion 705-052	26
Tableau 8 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 705-065	29
Tableau 9 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 705-065	30
Tableau 10 : Consommation moyenne calculée du camion en fonction de différente plage de distance parcourue	33
Tableau 11 : Nombre de kWh récupérés en fonction du nombre d'heures de recharge et de la puissance de recharge effective (kW)	34
Tableau 12 : Paramètres d'électrification retenus pour le camion 705-065	35
Tableau 13 : Bénéfices financiers de l'électrification du camion 705-065	35
Tableau 14 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 705-070	38
Tableau 15 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 705-070	39
Tableau 16 : Paramètres d'électrification retenus pour le camion 705-070	42
Tableau 17 : Bénéfices financiers de l'électrification du camion 705-070	43
Tableau 18 : Recommandation d'électrification des camions de Groupe Morin	44

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 705-052, 705-065 et 705-070	13
Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 705-052 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Groupe Morin	18
Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 705-065 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Groupe Morin	28
Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 705-070 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Groupe Morin	37

Liste des graphiques

Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion	15
Graphique 2 : Répartition des vitesses – Groupe Morin	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 705-052	20
Graphique 5 : Journées de mesure du camion 705-052, 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 705-052.....	22
Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 705-052/semaine du 15 au 19 mai 2023	23
Graphique 8 : Décharge/recharge journée du 16 mai (Batterie nominale 300 kWh, avec recharge en journée sur borne 150 kW)	25
Graphique 9 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 705-052.....	26
Graphique 10 : Émissions de CO ₂ eq sur la vie du camion 705-052, Diesel vs. Électrique	27
Graphique 11 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 705-065	30
Graphique 12 : Journées de mesure du camion 705-065, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh).....	31
Graphique 13 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 705-065.....	32
Graphique 14 : Moment des déplacements et arrêts typiques du camion 705-065/Semaine du 10 au 14 juillet 2023	33
Graphique 15 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 705-065/Semaine du 19 au 22 juin 2023	33
Graphique 16 : Émission sur la vie du camion 705-065, Diesel vs. Électrique	36
Graphique 17 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 705-070	39
Graphique 18 : Journées de mesure du camion 705-070, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh).....	40
Graphique 19 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 705-070.....	41
Graphique 20 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 705-070	42
Graphique 21 : Émission sur la vie du camion 705-070, Diesel vs. Électrique	43

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 Morin au Saguenay.

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 :

72 % des journées se terminent en ayant parcouru plus de 225 km

Plusieurs routes ont été effectuées sur une période de 24 h. Les camions ne retournent pas au dépôt du Groupe Morin toutes les nuits.

Camion 705-052 – Tracteur classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	Valeur	
Distances	Moyennes	+/-
Constance	Constant	+
Dénivelé	Faible	+
Recharge en journée	Oui	+
Chargement	Lourd	-
Accessoires	Aucun	+

Estimation de consommation électrique en été	211 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	266 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	oui
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	300 kWh
Batterie disponible ?	oui, avec recharge en journée

Camion 705-065 – Tracteur classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	Valeur	
Distances	Longues	-
Constance	Varié	-
Dénivelé	Moyen	+/-
Recharge en journée	Possible	+/-
Chargement	Lourd	-
Accessoires	Aucun	+

Estimation de consommation électrique en été	239 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	315 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Oui
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	3003 kWh
Batterie disponible ?	Non

Camion 705-070 – Tracteur classe 8		Effet sur le potentiel d'électrification
Critère	Valeur	
Distances	Longues	-
Constance	Varié	-
Dénivelé	Faible	+
Recharge en journée	Possible	+/-
Chargement	Lourd	-
Accessoires	Aucun	+

Estimation de consommation électrique en été	223 kWh / 100 km
Estimation de consommation électrique moyenne, sur 1 an	301 kWh / 100 km
Pénalité de chargement ?	Oui
Capacité nominale requise pour 90 % des journées	2 352 kWh
Batterie disponible ?	Non

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.

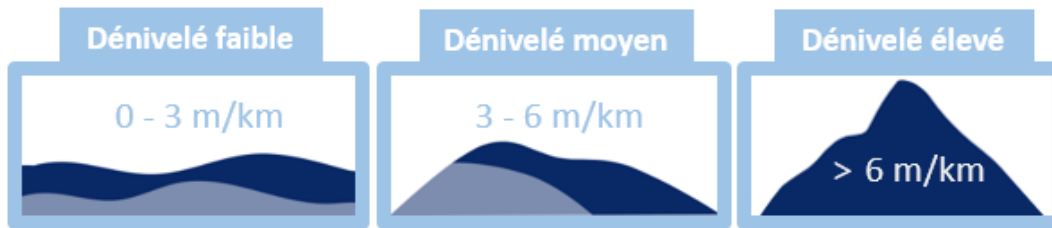


Figure 1 : Échelle de dénivelé allant du plus petit dénivelé au plus grand

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 batteries 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 manufacturiers 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 principalement 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



Établi au Saguenay–Lac-Saint-Jean depuis le début du 20e siècle, le Groupe Morin est une entreprise familiale œuvrant dans le domaine de la construction, de l'agriculture, du transport, du commerce de pièces, de l'énergie et de l'hydroélectricité. Dans le cadre de cette analyse,

les camions du Groupe Morin effectuent principalement des déplacements de produits forestiers.

Le Groupe Morin Transport possède une trentaine de camions à leur actif. Les camions sont achetés neufs et typiquement gardés sur une période de 5 à 6 ans. Durant cette période, ils parcourent environ 1 200 000 kilomètres. Cette valeur correspond au critère de remplacement des véhicules au sein du Groupe Morin.

6. Véhicules analysés

Suite aux discussions avec le gestionnaire du parc, les trois camions retenus pour l'analyse sont les unités 705-052, 705-065 et 705-070. Les deux premiers camions sont des tracteurs de classe 8 de la marque Volvo tandis que le dernier est également un tracteur de classe 8, mais de la marque Western Star.



Figure 2 : Camions utilisés durant la période d'instrumentation, dans l'ordre de gauche à droite : Camions 705-052, 705-065 et 705-070

Ces camions ont été retenus car ils répondaient aux critères généraux de sélection quant aux distances approximatives parcourues, malgré le fait qu'ils ont fait quelques routes 24h/24 sans arrêter au dépôt de Groupe Morin. Les camions effectuent majoritairement des allers-retours entre des scieries et des usines de transformations de produits forestiers dans la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean.

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 Morin.

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

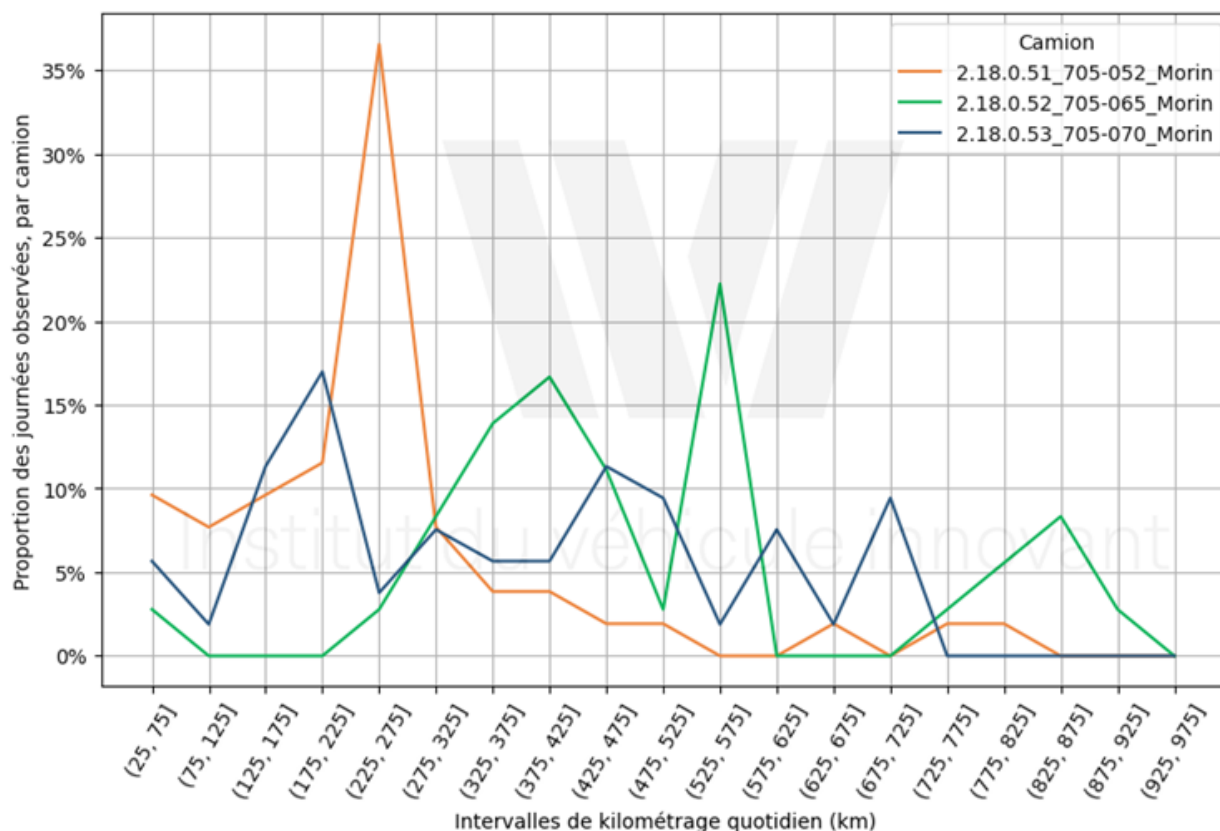
Camion #	705-052	705-065	705-070
Distance parcourue			
Durant le test	13 472 km	19 258 km	25 972 km
Annuellement (estimée)	53 889 km	115 550 km	103 890 km
Carburant			
Consommé durant le test	8 175 L	9 726 L	12 408 L
Consommé annuellement (estimé)	28 029 L	33 346 L	42 542 L
Consommation moyenne	60,7 L/100 km	50,5 L/100 km	47,8 L/100 km
Ralenti			
Temps par jour en moyenne	4,17 h	1,71 h	2,15 h
Carburant consommé au ralenti par jour	21,1 L	5,8 L	8,7 L
Carburant consommé par année (estimé)	3 829 L	754 L	1 783 L
Opérations			
Vitesse moyenne en déplacement	32,4 km/h	52,6 km/h	59,5 km/h
Nombre de jours actifs durant l'analyse	53 jours	38 jours	60 jours
Masse totale moyenne pondérée	36 422 kg	37 608 kg	37 605 kg

Le Tableau 2 représente les faits saillants observés des trois camions diesel instrumentés du Groupe Morin entre mai et août 2023. Il est important de noter que les trajets du camion 705-065 allant à La Tuque ont été retirés à la suite d'une discussion avec le gestionnaire de flotte. Ces déplacements ont été engendrés par la fermeture d'une usine et ne reflètent pas de manière précise la réalité quotidienne de ce camion.

Il est possible de voir que les consommations moyennes et les masses totales moyennes pondérées sont très semblables pour les trois camions. Le camion 705-065 et le 705-070 ont effectué beaucoup plus de kilométrage durant l'essai que le tracteur 705-052 et ils ont roulé à des vitesses moyennes beaucoup plus élevées.

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.

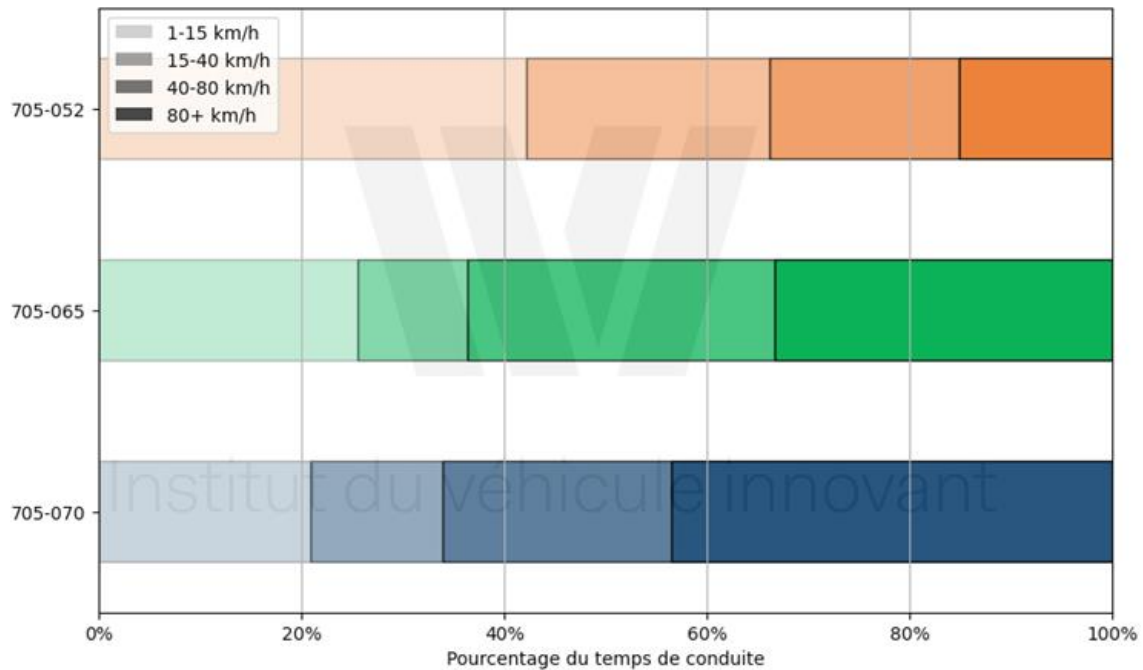
Graphique 1 : Répartition des kilométrages quotidiens par camion



En observant le Graphique 1, il est possible de voir que les distances quotidiennes parcourues par les trois camions n'étaient pas constantes. En effet, outre le camion 705-052 qui a effectué une grande partie de ses déplacements dans un intervalle de 175 à 325 kilomètres par jour, les deux autres camions ont effectué des kilométrages quotidiens très variés. Il est également intéressant de voir que beaucoup de déplacements quotidiens étaient supérieurs à 275 km, ce qui suggère d'entrée de jeu que la distance parcourue par ces camions est plutôt élevée pour un scénario d'électrification.

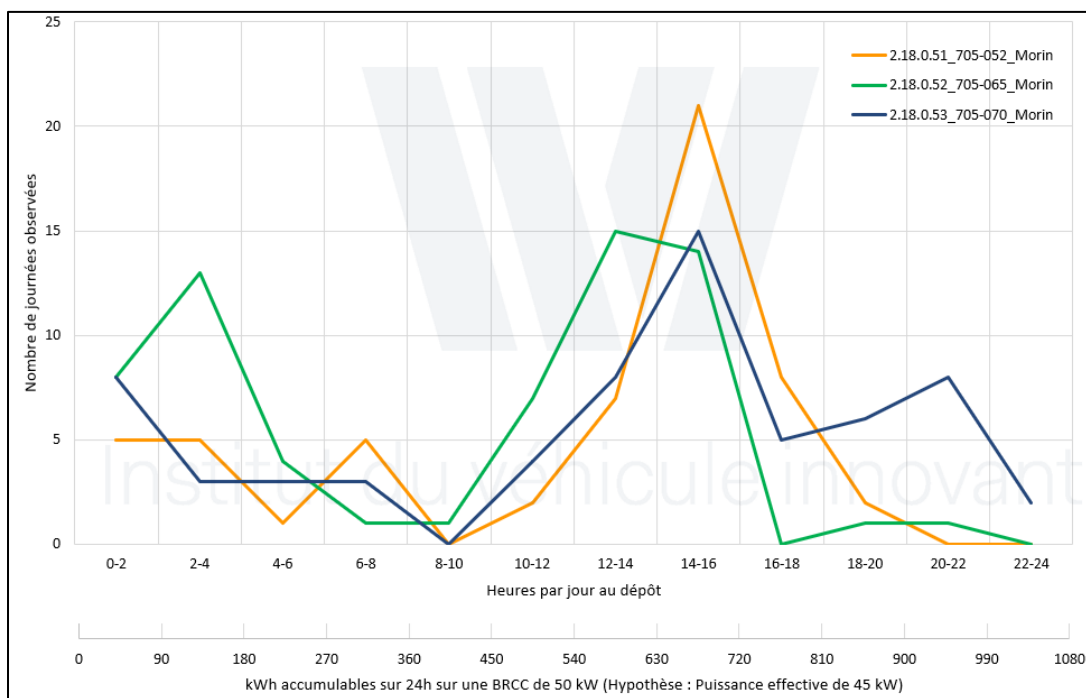
Un autre facteur d'importance est la vitesse du véhicule. Le graphique suivant apporte plus de précisions sur la répartition du temps dans différentes plages de vitesses. De gauche à droite, les quatre dégradés de couleurs indiquent la proportion du temps de conduite passée entre 1 et 15 km/h, 15 – 40 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. Les camions 705-065 et 705-070 ont passé plus de 40 % de leur temps à vitesse d'autoroute. Cette plage de vitesse représente la plage où la consommation énergétique est la plus élevée pour un camion électrique.

Graphique 2 : Répartition des vitesses – Groupe Morin



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 pour exploiter commercialement un véhicule électrique consiste à le charger 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 la moins puissante possible pouvant satisfaire les besoins (incluant les marges de sécurité et de confort), car celles-ci sont moins coûteuses à acquérir, installer puis opérer. Le Graphique 3 montre la répartition des heures passées au dépôt de chaque camion durant les heures d'arrêts.

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



Ce graphique ci-dessus 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 arrêts de ces trois camions ont été faits à différents endroits et à différents moments, soit chez un client, soit directement au dépôt de Groupe Morin. Afin d'analyser correctement les possibilités, il a été convenu avec le gestionnaire de flotte que l'hypothèse où une borne est installée chez un client récurrent peut être analysée. Il est possible de voir que les trois camions ont des nombres d'heures d'arrêt par jour très différents. Le camion 705-052 voit son sommet entre 8 à 20 h par jour au dépôt, ces journées représentent 71 % des jours de la période d'instrumentation. Cela étant dit, cette plage représente un scénario à plusieurs arrêts durant la journée et implique de la recharge durant les chargements de marchandise puisque celui-ci ne s'arrête pas toutes les nuits au dépôt de Morin. Le camion 705-065 a eu plus de 10 h de temps de recharge par jour pour 58 % de ces journées d'instrumentation, tandis que cette même plage correspond à 73 % des journées d'instrumentation pour le 705-070.

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 705-052

Le camion au diesel 705-052 est utilisé pour effectuer des allers-retours entre une scierie et une usine à papier dans la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean.

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.

Le camion effectue des allers-retours entre une usine à papier qui se trouve à environ 8 km de l'entrepôt du Groupe Morin et des scieries. La scierie la plus visitée se trouve à moins de 1 km de l'entrepôt du Groupe Morin.

La deuxième scierie qui a été visitée à plusieurs reprises en juin se trouve dans un rayon de 50 km de l'entrepôt du Groupe Morin.

Figure 3 : Fréquence des livraisons du camion 705-052 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Groupe Morin



Le dénivelé du territoire parcouru est un critère important dans l'évaluation de la consommation d'énergie.

Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 2,6 mètres pour chaque kilomètre parcouru.



🚛 Camion # 705-052

Volvo VNL | 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 et sans valeur 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 705-052

Dans la première section du tableau suivant, il est possible de voir les données importantes du trajet effectué par ce camion entre mai et août 2023. Le trajet quotidien moyen de cette route est de 210 km et le 90^e percentile est de 320 km. Il est conseillé au gestionnaire de flotte d'utiliser la valeur du 90^e percentile comme étant la distance quotidienne pour le dimensionnement de la batterie et des besoins énergétiques.

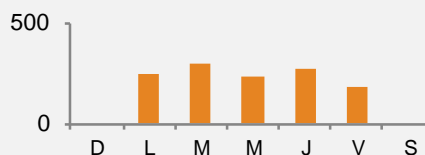
En suivant le graphique à bande suivant, on constate que le camion circule 5 jours par semaine, soit du lundi au vendredi.

Puis, en observant le calendrier, il est possible de voir que le camion a effectué des trajets différents en mai et en juin. Effectivement, en mai, le camion a effectué entre 4 et 10 allers-retours entre l'usine à papier et une scierie se situant à 8 km de celle-ci. De plus, lors des deux premières semaines de mai, le camion a circulé 24 h/24.

À partir du mois de juin, le camion a circulé entre 5 h et 16 h. Il a effectué en moyenne 1 trajet par jour entre l'usine à papier et une scierie se trouvant à plus de 80 km de celle-ci. Le reste de la journée, le camion effectuait le même trajet que durant le mois de mai.

Il est également possible de voir que le camion s'est arrêté durant 2 semaines en juillet. Ces semaines correspondent aux vacances de la construction. De plus, les journées en gris foncé n'ont pas été comptabilisées puisqu'elles constituent des données statistiques aberrantes. Les trajets aberrants sont retirés puisqu'ils ne reflètent pas le trajet régulier du camion.

Max	402	km
90%	320	km
Med	238	km
Moy	210	km
σ	95	km
CV	45%	



	D	L	M	M	J	V	S
	-	-	-	-	-	-	-
mai	-	-	438	147	-	-	-
	-	161	218	182	186	10	-
	-	153	217	211	168	63	-
juin	-	-	52	57	67	82	-
	-	136	84	81	53	82	-
	-	420	574	552	840	281	-
	-	238	227	226	242	220	-
juil.	-	245	252	354	294	-	-
	-	352	668	402	311	-	-
	-	241	384	244	225	253	-
	-	256	238	223	317	389	-
août	-	-	-	-	-	-	-
	-	255	257	254	242	238	-
	-	245	255	95	-	-	-

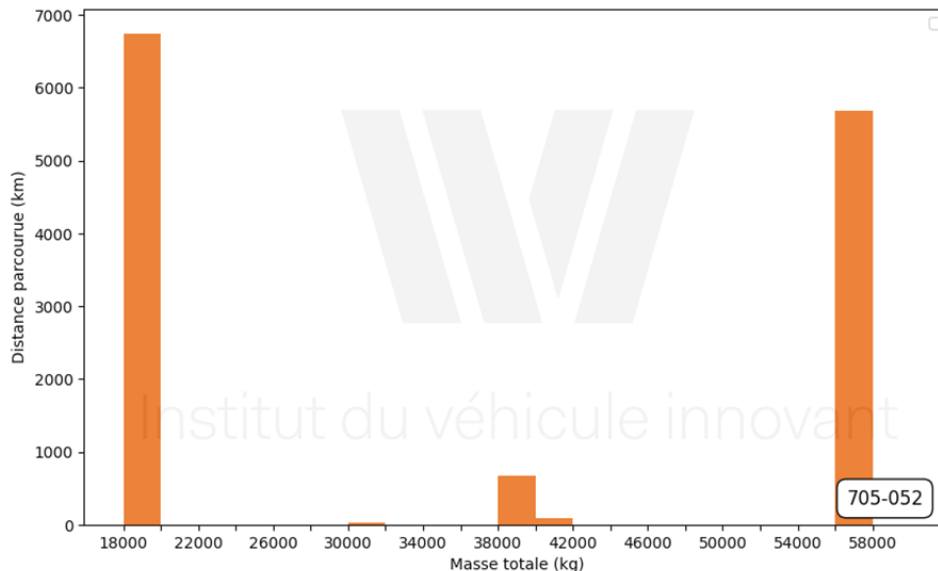


Camion # 705-052

Volvo VNL | 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 Graphique 4 représente la masse totale du camion 705-052 par distance parcourue durant la période d'instrumentation.

Graphique 4 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 705-052



Il est possible d'observer que le camion a majoritairement circulé à vide ou en charge totale. Avec la remorque, la masse totale à vide du camion et de sa remorque est de 18 000 kg (39 600 lb), alors qu'en charge totale, le camion a une masse totale d'environ 58 000 kg (127 600 lb).

En date de l'écriture de ce rapport, le PNB (Poids Nominal Brut) des camions électriques disponible sur le marché est de 36 364 kg (80 000 lb), soit nettement moins élevé que ce que le Groupe Morin utilise. Cependant, des camions électriques certifiés avec un PNB supérieur à 36 364 kg sont attendus dans un avenir très proche. De plus, il est important de prendre en considération qu'un tracteur électrique affiche un surpoids d'environ 2000 à 3000 kg vis-à-vis un camion à moteur diesel. Cela pourrait impacter la capacité de chargement total si le PNB du camion 052 avec remorque est inférieur à 60 000 kg.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 705-052 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 705-052

Critère	Valeur	Effet sur le potentiel d'électrification
Distances	Moyennes	+/-
Constance	Constant	+
Dénivelé	Faible	+
Recharge en journée	Oui	+
Chargement	Lourd	-
Accessoires	Aucun	+

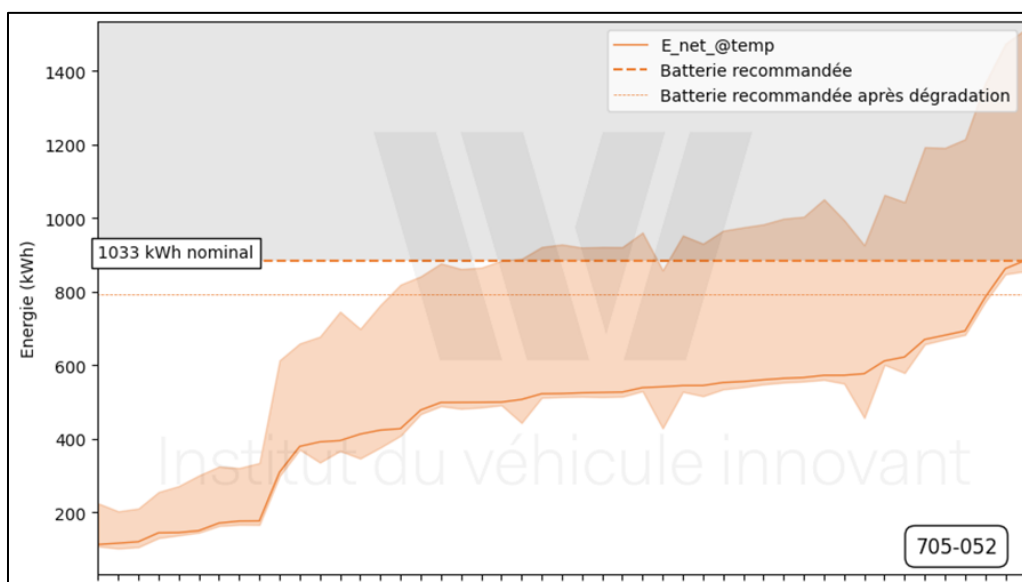


8. Scénario d'électrification pour le camion 705-052

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. 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 705-052, 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 (-20 °C). 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 1033 kWh totaux disposerait de 883 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 705-052 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.



Camion # 705-052

Volvo VNL | Tracteur classe 8 – PNB 36 364 kg

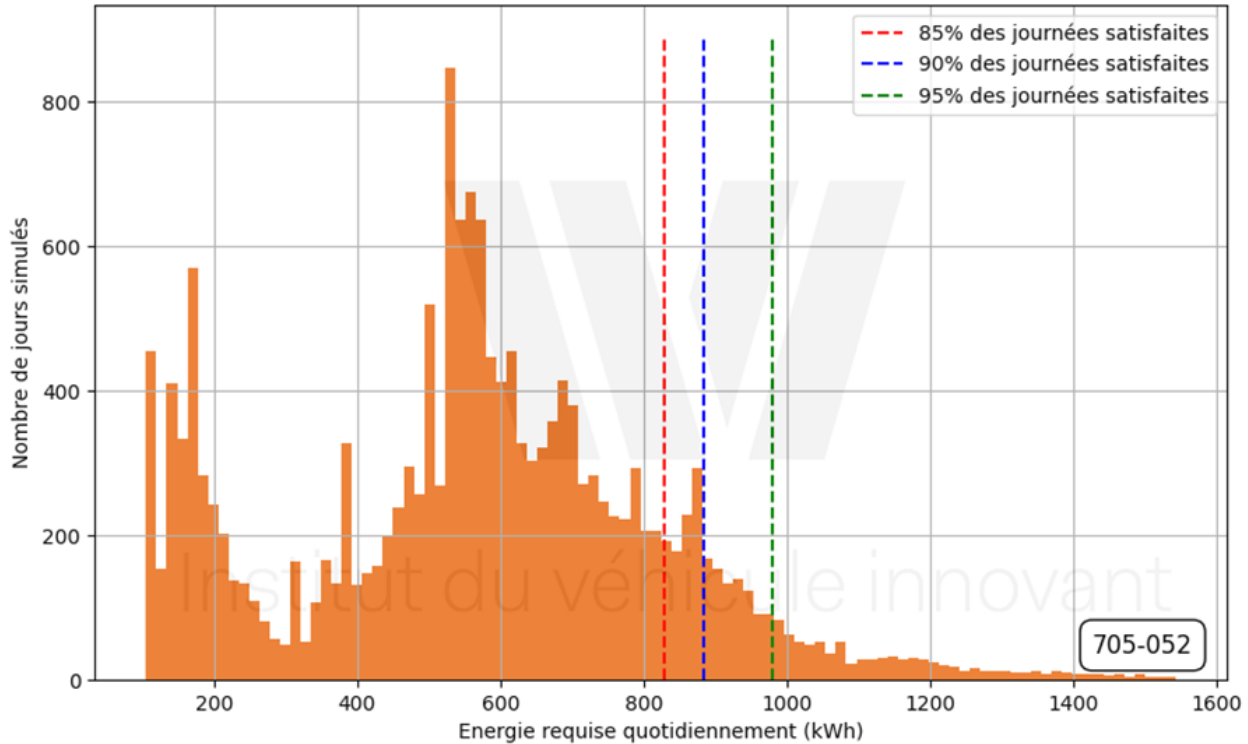
La consommation moyenne du camion à 20 °C est estimée à 211 kWh/100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

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 leurs 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 705-052





Camion # 705-052

Volvo VNL | 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 883 kWh, ce qui équivaut à une batterie dotée d'une énergie nominale 1033 kWh.

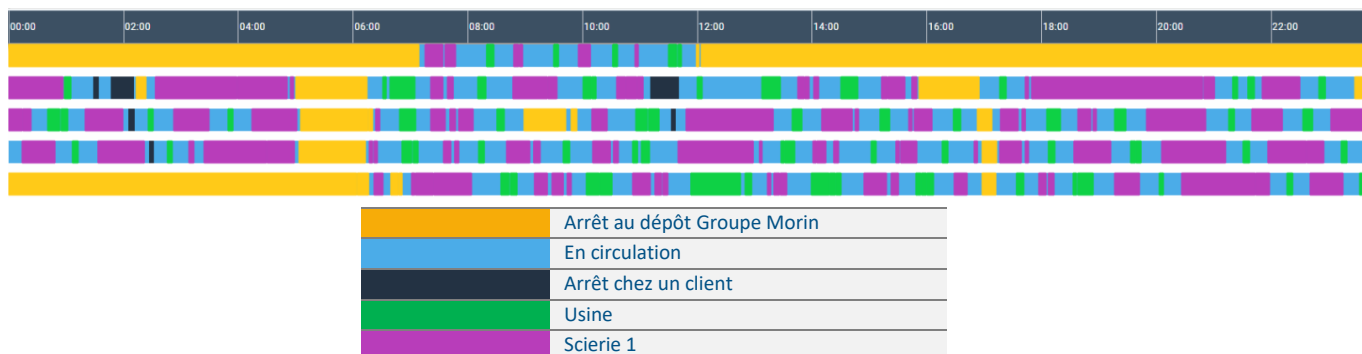
Pour compléter 85 % des journées, la capacité nominale est de 969 kWh.

Pour compléter 95 % des journées, la capacité nominale est de 1146 kWh.

Les configurations de batteries offertes en 2023 pour les camions électriques de classes 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 ci-dessous permettent de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 705-052. Chaque bande horizontale représente un jour de la semaine, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée.

Graphique 7 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 705-052/semaine du 15 au 19 mai 2023



Le Graphique 7 représente les déplacements effectués lors d'une route type du camion 705-052. Il circule 24 h/24 h entre l'usine et la scierie sans nécessairement passer par l'entrepôt du Groupe Morin.

Ce camion pourrait bénéficier de la recharge durant la journée. Il serait possible de bénéficier d'environ 30 minutes de recharge en plaçant une borne à l'endroit de chargement ou de déchargement.



i Afin de continuer l'analyse d'électrification de ce camion, il est intéressant de décortiquer la consommation pour chaque trajet typique qu'il effectue. Les trajets sont divisés entre la scierie 1 et la scierie 2.

Tableau 5 : Représentation de la moyenne des consommations énergétiques théoriques par type de trajets

	Distance (km)	Consommation moyenne par trajet @ 20°C (kWh)	Consommation moyenne par trajet @ -20 C (kWh)
Trajet scierie1 vers usine	8	23	45
Trajet usine vers scierie1	8	9	18
Trajet scierie2 vers usine	83	243	431
Trajet usine vers scierie2	83	128	215

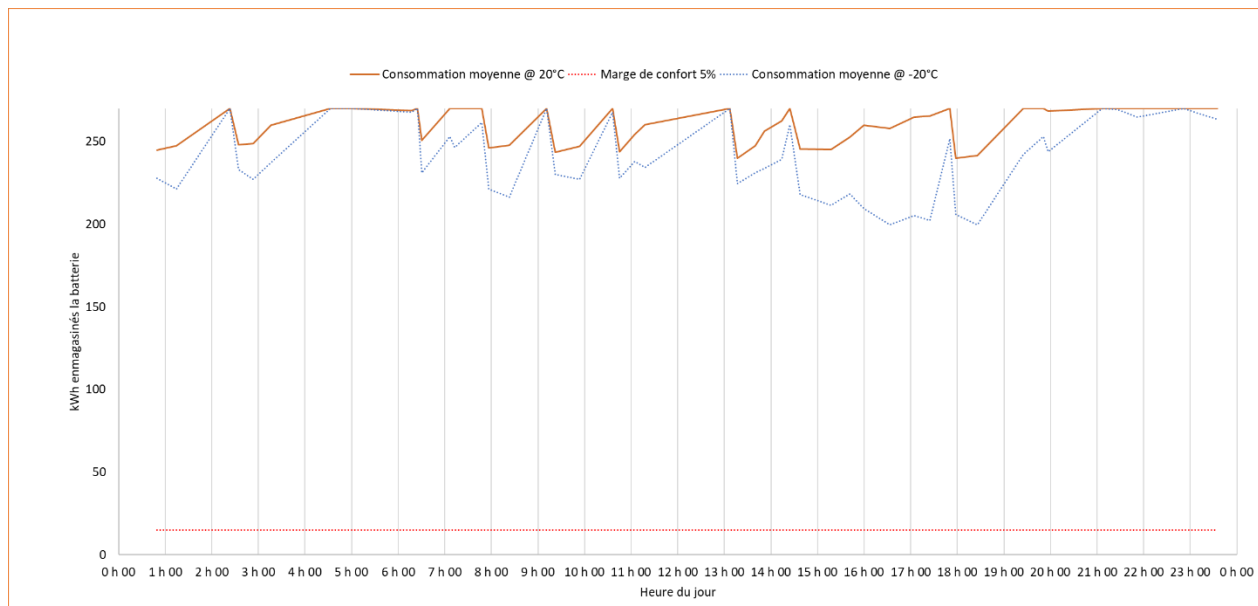
- Le trajet aller-retour entre la scierie 1, située juste à côté de l'entrepôt du Groupe Morin, et l'Usine de papier requiert 32 kWh en été, et 63 kWh à -20 °C.
- L'aller-retour entre la scierie 2 et l'usine de papier nécessite 371 kWh en été, et 646 kWh à -20 °C.

Avec un seul camion électrique, il ne sera pas possible d'accomplir les journées où le camion doit aller à la scierie 2 en hiver. Cependant, il sera possible d'effectuer les allers-retours entre la scierie 1 et l'usine de transformation. Afin de sélectionner la bonne batterie, il est important de vérifier s'il est possible d'installer une borne de recharge à la scierie 1 afin de se recharger lors des périodes d'attente à cet endroit. Il est possible de voir l'effet de cette recharge en journée au Graphique 8.

La consommation moyenne pour effectuer un aller-retour entre la scierie 1 et l'usine est de 32 kWh en été et de 63 kWh en hiver.



Graphique 8 : Décharge/recharge journée du 16 mai (Batterie nominale 300 kWh, avec recharge en journée sur borne 150 kW)



À la suite d'une courte discussion avec le gestionnaire de flotte, il a été établi que le trajet type du camion est celui du mois de mai. Ce trajet consiste en des allers-retours entre la scierie 1 et l'usine 24 h/24, 5 jours par semaine. Ce scénario sera celui représenté pour le reste de l'analyse de ce camion, avec les caractéristiques suivantes :

- 12 allers-retours de 16 km (192 km par jour)
- 5 jours par semaine, sur 50 semaines pour un total de 48 000 km par année
- Consommation moyenne en été par jour : $32 \text{ kWh} * 12 = 384 \text{ kWh}$
- Consommation moyenne en hiver par jour : $63 \text{ kWh} * 12 = 756 \text{ kWh}$
- Temps d'arrêt estimé pour la recharge : $30 \text{ min} * 12 \text{ arrêts} = 6 \text{ heures par jour}$
- Puissance effective de la borne requise afin de faire une recharge complète en hiver : $780 \text{ kWh} / 6\text{h} = 130 \text{ kW}$

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. L'énergie ajoutée quotidiennement en utilisant une borne de 150 kW durant une période de 6h par jour serait donc d'au moins 810 kWh ($6 \text{ h} * 135 \text{ kW}$). Cette borne permettrait d'effectuer toutes les journées de l'année, incluant les journées à -20°C .

En utilisant une borne de 150 kW, le camion retrouverait une charge complète entre chaque aller-retour, ce qui permettrait de minimiser l'énergie nominale de la batterie. Le trajet pourrait être effectué avec une très petite batterie puisque la batterie se recharge complètement entre chaque aller-retour. Une batterie d'au moins 300 kWh est recommandé puisque celle-ci permettra d'effectuer quelques allers-retours en



Camion # 705-052

Volvo VNL | Tracteur classe 8 – PNB 36 364 kg

cas de situation où la recharge est impossible et elle permettra au Groupe Morin d’avoir beaucoup de choix lors de la sélection du camion.

Les paramètres retenus pour un scénario d’électrification du camion 705-052 seraient donc les suivants :

Tableau 6 : Paramètres d’électrification retenus pour le camion 705-052

Batterie nominale recommandée	300 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 150 kW
90 % des opérations remplies ?	Oui*

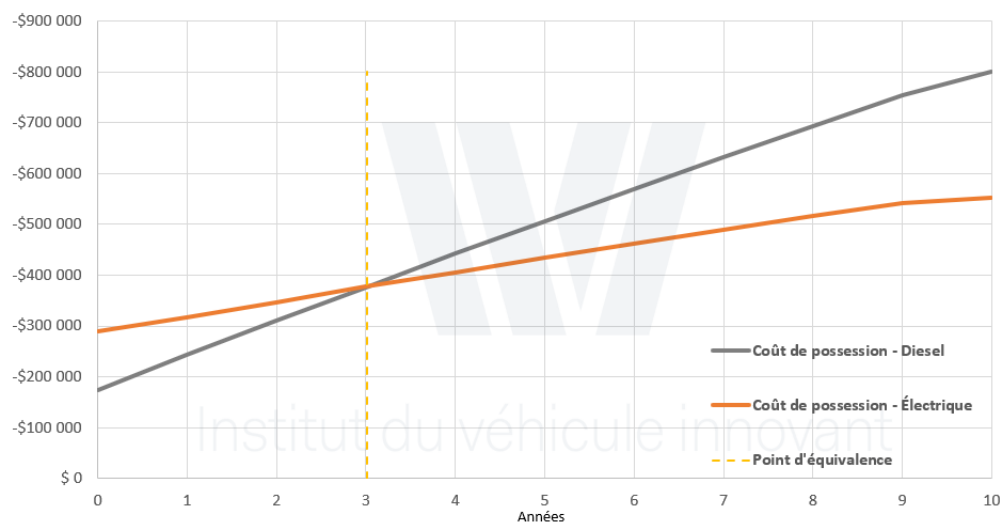
Le scénario d’électrification présenté au bas de la page 25 pourrait apporter les bénéfices financiers indiqués au Tableau 7. La durée de possession utilisée est de 10 ans puisque cette valeur correspond à la plus petite entre les deux critères utilisés par Groupe Morin afin de déterminer la durée de vie de leur camion soit, 10 ans ou l’atteinte de 1 200 000 km.

Tableau 7 : Bénéfices financiers de l’électrification du camion 705-052

Coût annuel de carburant avant électrification	59 729 \$
Coût annuel d’électricité	21 021 \$
Économie annuelle de coûts d’énergie	38 708 \$
Surcoût total à l’achat (après subventions)	115 000 \$
Période de retour sur investissement	3 années
Bénéfice net après 10 ans	247 122 \$

Sur une période de 10 ans, une économie de 247 122 \$ serait envisageable en électrifiant la route du camion 705-052. 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 et 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 0,16 \$/kWh.

Graphique 9 : Comparaison des coûts totaux de possession, camion 705-052



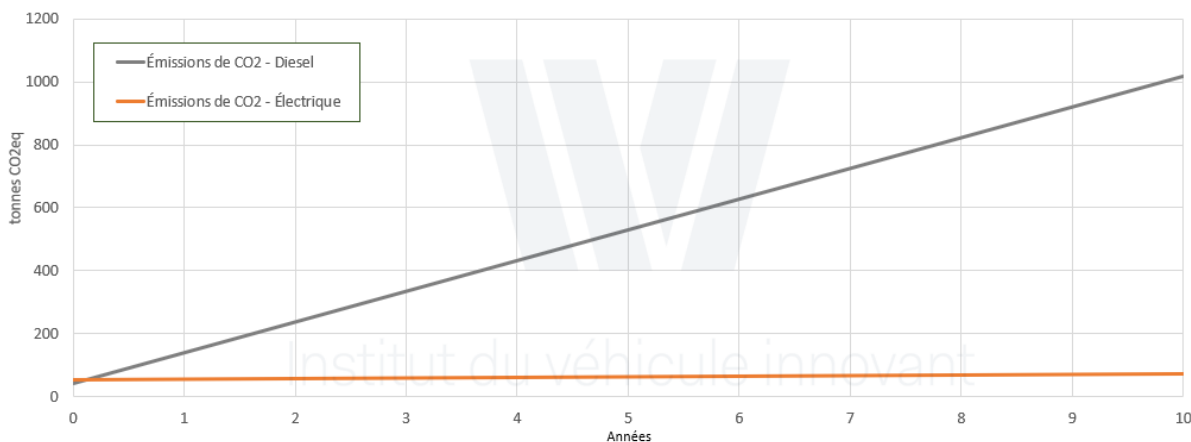


Camion # 705-052

Volvo VNL | 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 942 tonnes de CO₂ équivalent. Un camion électrique produit plus de CO₂ équivalent lors de la fabrication, mais il est nettement moins polluant à utiliser que son équivalent au diesel. Le point d'équivalence d'émission cumulée de GES arriverait après seulement 6 922 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 10 : Émissions de CO₂eq sur la vie du camion 705-052, Diesel vs. Électrique



L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification de cette route telle quelle pour la raison suivante : la masse totale du camion est nettement plus grande que le PNB maximal recommandé pour un camion électrique en date de l'écriture de ce rapport.

Cependant, il est intéressant d'explorer le scénario d'électrification de la route entre la scierie 1 et l'usine de transformation de papier. Un camion qui effectue cette route 24 h sur 24 et 5 jours par semaine pourrait être électrifié s'il est rechargé durant le chargement à la scierie. Une telle route compte 10 à 12 allers-retours de 16 km, soit entre 160 et 192 km par jour. En utilisant une borne de 150 kW et en maximisant la recharge durant le chargement, une batterie de 300 kWh pourrait suffire. L'étude financière et environnementale de ce scénario montre qu'une économie de près de 250 000 \$ serait possible sur 10 ans en plus d'éviter l'émission de plus de 900 tonnes de CO₂ équivalent.

L'IVI recommande au groupe Morin d'étudier la faisabilité interne de la mise en place d'une route indépendante avec ce scénario. Lorsque le PNB des camions électriques le permettra, l'IVI recommandera alors ce scénario d'électrification.



9. Analyse du camion 705-065

Le camion au diesel #705-065 est utilisé pour effectuer des voyages entre des usines de transformation de produit forestier et des clients.

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 :

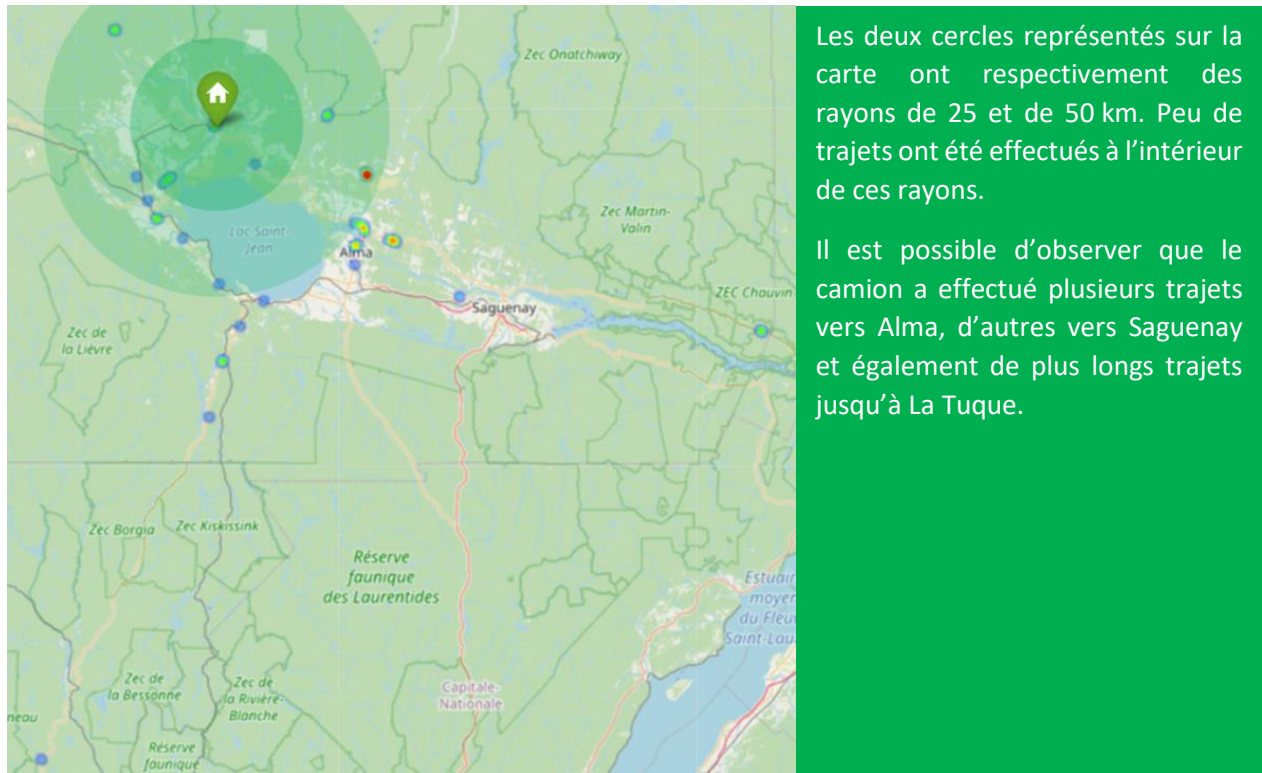


Figure 4 : Fréquence des livraisons du camion 705-065 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Groupe Morin



Le dénivelé parcouru par le camion 705-065 est de taille moyenne. Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 3,8 mètres pour chaque kilomètre parcouru. Il est plus élevé que le camion précédent dû au voyage effectué dans les environs de La Tuque.



Camion # 705-065

Volvo VNL 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 8 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 705-065

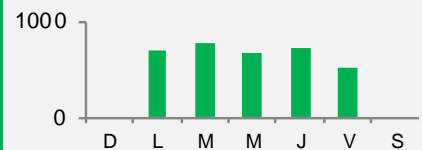
Dans la première section du tableau suivant, il est possible de voir les données importantes du trajet effectué par ce camion entre mai et août 2023. Le trajet quotidien moyen de cette route est de 501 km et le 90^e percentile est de 841 km. Il est conseillé au gestionnaire de flotte d'utiliser la valeur du 90^e percentile comme étant la distance quotidienne maximale de cette route considérée pour dimensionner les besoins énergétiques. Ces deux valeurs sont très élevées et reflètent les longs trajets en pendule effectués par le camion.

En suivant le graphique à bande, on constate que le camion circule 5 jours par semaine, soit du lundi matin au vendredi soir.

En observant le calendrier, il est possible de voir une certaine constance à l'intérieur de chaque mois. C'est-à-dire que le camion a effectué de longues distances durant le mois de mai, des distances beaucoup plus courtes en juin, et il a fini l'essai avec de longues distances en juillet. Durant le mois de mai, le camion a été utilisé afin d'effectuer des trajets jusqu'à La Tuque. En juin, il a effectué de plus courts trajets entre des usines de transformations de produit forestier.

*Après discussion avec le gestionnaire de flotte, il a été déterminé que les trajets à La Tuque n'étaient pas représentatifs du trajet normal de ce camion. Cette route a été effectuée à la suite de certaines fermetures d'usine. Pour cette raison, les journées concernées ont été retirées de l'étude. Ces journées sont représentées par les cases rouges dans le calendrier

Max	1037	km
90%	841	km
Med	495	km
Moy	501	km
σ	200	km
CV	40%	

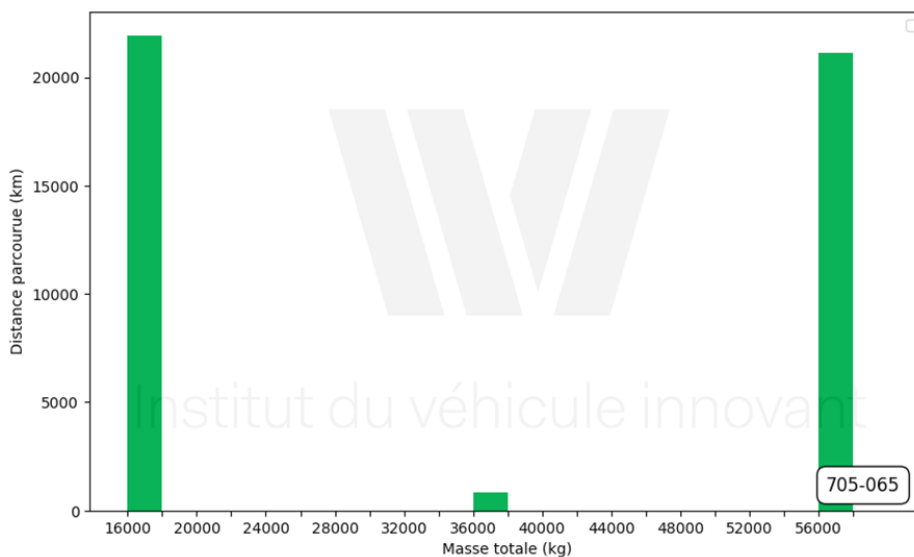


	D	L	M	M	J	V	S
	-	-	-	-	-	-	-
mai	-	-	-	-	-	-	-
	-	994	1254	690	57	646	-
	-	1132	1401	1074	1374	649	-
	-	629	1080	1328	1288	771	-
	-	1131	1218	1272	1198	919	-
juin	-	495	1262	306	978	416	-
	-	591	377	328	363	379	-
	-	452	315	365	481	-	-
	-	543	543	542	542	-	-
juil.	-	-	530	410	682	296	-
	-	326	395	441	442	256	-
	-	759	766	1037	868	409	-
	-	842	841	789	852	591	-
	-	543	405	356	454	536	-
août	-	668	529	529	490	400	-



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 11 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 705-065



Durant la période d'instrumentation, le camion 705-065 a circulé majoritairement sans chargement ou en charge totale, tel qu'illustré dans le Graphique 11 par la bande à 16 000 kg (35 200 lbs) et la bande à 56 000 kg (123 200 lbs).

En date de l'écriture de ce rapport, le PNB des camions électriques disponibles sur le marché est de 36 364 kg (80 000 lb), soit nettement moins élevé que ce que le Groupe Morin transporte. Cependant, des camions électriques certifiés avec un PNB supérieur à 36 364 kg sont attendus dans un avenir très rapproché.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 705-065 permet de déterminer les grandes lignes qui affecteront son potentiel d'électrification des façons suivantes :

Tableau 9 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 705-065

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

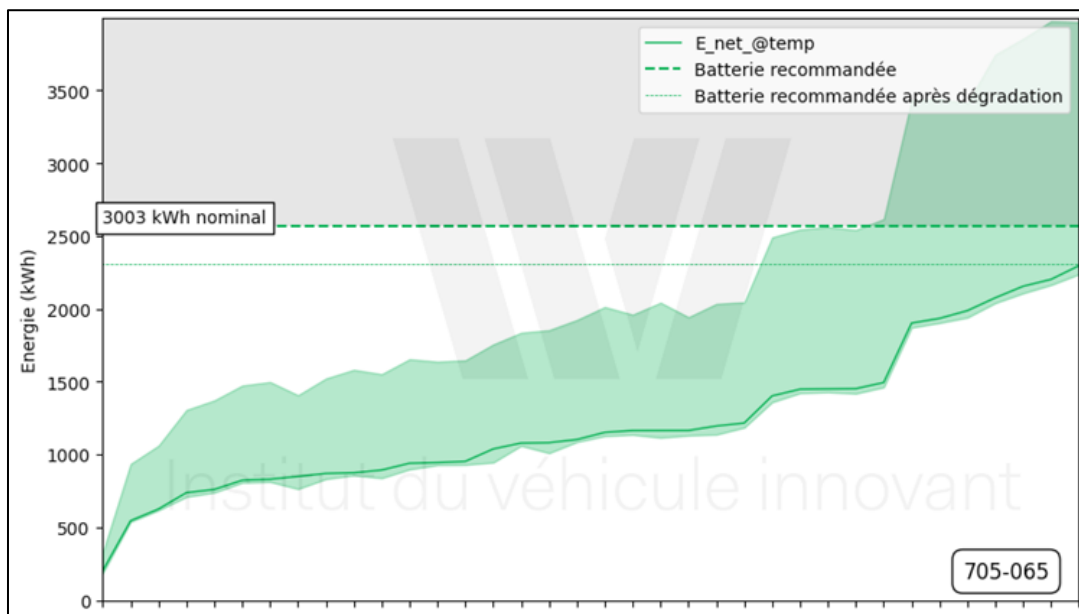


10. Scénario d'électrification pour le camion 705-065

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 12 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 12 : Journées de mesure du camion 705-065, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



Guide d'interprétation du Graphique 12 :

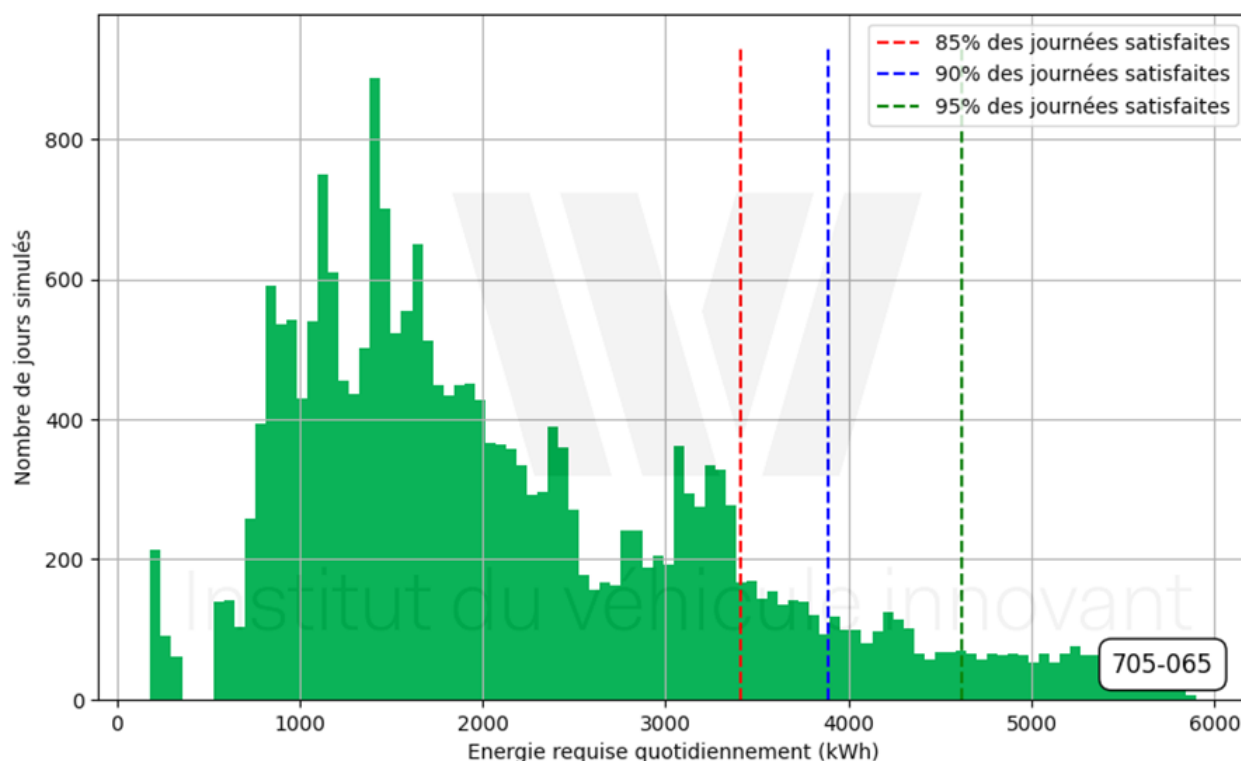
- La courbe verte du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire verte montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20 °C) ou très froid (-20 °C). La 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 3003 kWh disposerait de 2568 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 705-065 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 239 kWh/100 km. Elle sera plus élevée en hiver, pouvant être jusqu'à 50 % supérieure lors des quelques jours de grands froids.

Le Graphique 13 représente les tailles de batteries recommandées pour accomplir 85 %, 90 % ou 95 % des journées d'une année, sans que le camion électrique 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 13 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 705-065



Une batterie de 4545 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 3992 et de 5403 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 classes 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.



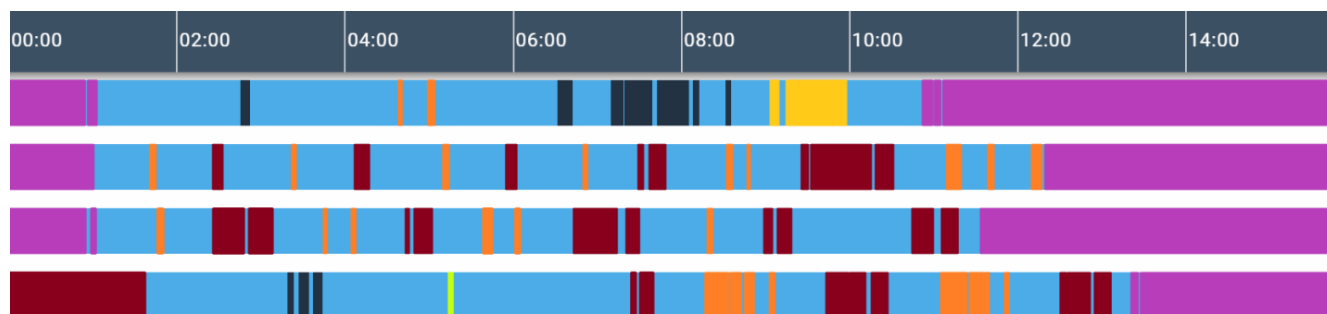
i Comme mentionné plus haut, le camion 705-065 a effectué plusieurs trajets à La Tuque durant la période d'instrumentation. Ces trajets ne font pas partie de la route habituelle de ce camion, ils impactent donc négativement l'analyse de dimensionnement de batterie pour cette route. Afin de décortiquer l'importance de chaque trajet, le tableau ci-dessous représente chaque plage de distance en km effectué par le camion durant la période d'instrumentation ainsi que la consommation moyenne calculée en kWh pour chacune de ces plages en fonction de la température. Il est alors possible de remarquer que plus de 75 % des trajets sont sous les 80 km et ces trajets consomment en moyenne entre 136 et 243 kWh, selon la météo.

Tableau 10 : Consommation moyenne calculée du camion en fonction de différente plage de distance parcourue

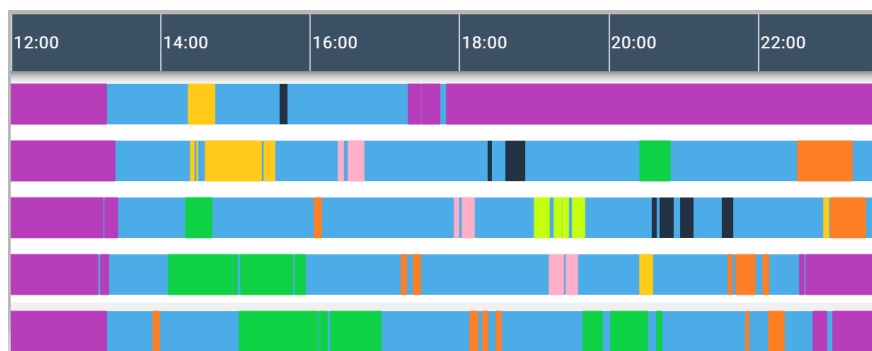
Plage distance (km)	0-20	20-40	40-80	80-120	120+
Nb de trajet	60	154	340	23	133
% des trajets	8%	22%	48%	3%	19%
kWh moyen @20	18,4	66,4	136,3	246,6	465,2
kWh moyen @temp	19,8	69,4	142,5	252,5	514,2
kWh moyen @-20	34,6	121,5	242,9	416,8	828,5

Les graphiques ci-dessous permettent de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 705-065. 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. Celle-ci est coupée afin de montrer seulement la plage où le camion a circulé.

Graphique 14 : Moment des déplacements et arrêts typiques du camion 705-065/Semaine du 19 au 22 juin 2023



Graphique 15 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 705-065/Semaine du 10 au 14 juillet 2023






	Arrêt au dépôt
	En circulation
	Arrêt chez un client
	Client 1
	Client 2
	Usine 2
	Client 3
	Client 4

En observant les deux graphiques ci-dessus, il est possible de voir que le camion 705-065 a circulé entre plusieurs clients durant la période d'instrumentation. L'horaire de ce camion n'étant pas constant, il est difficile d'établir un horaire de recharge standard. Le camion finit ces journées chez le client 2.

En plus des deux horaires mentionnés dans les graphiques ci-dessus, le camion a également fait des trajets sur 24 h durant quelques journées de la période d'instrumentation. Ces trajets ressemblaient beaucoup à ceux du camion 705-052.

Tout comme le camion 705-070, le camion 705-065 n'a pas d'horaire constant et il n'arrête pas à l'entrepôt de Groupe Morin durant la nuit. Le Tableau 11 représente le nombre de kilowattheures que le camion pourrait récupérer en fonction de la durée de la recharge et de la puissance de la borne. Il est recommandé au gestionnaire de flotte d'évaluer quelles sont les possibilités de recharge en journée pour ce camion. Pour ce faire, il est recommandé d'identifier des clients très réguliers et établir un partenariat pour installer une borne sur leur terrain. Par la suite, le gestionnaire peut utiliser le tableau ci-dessous pour choisir la borne la moins puissante qui pourrait fournir l'énergie demandée par le camion afin de compléter une journée typique. Prenons par exemple un scénario où le camion n'a pas accès à la recharge en journée et qu'il est à l'arrêt 6 h par jour. Il est possible de déterminer la puissance de la borne requise en divisant la capacité avec marge de confort par le nombre d'heures de recharge.

Tableau 11 : Nombre de kWh récupérés en fonction du nombre d'heures de recharge et de la puissance de recharge effective (kW)

	Puissance effective en kW (90% puissance nominale)				
	45	90	135	315	
Nombre heure de recharge (h)	2	90	180	270	630
	4	180	360	540	1260
	6	270	540	810	1890
	8	360	720	1080	2520
	10	450	900	1350	3150
	12	540	1080	1620	3780
	14	630	1260	1890	4410

Par exemple : un arrêt de 8 h par jour avec une borne de 350 kW (315 kW effectifs) permet de recharger 2520 kWh par jour



En prenant l’hypothèse que le client principal à Alma est en accord avec l’installation d’une borne de recharge et qu’une batterie de puissance nominale de 3003 kWh existerait, il serait possible de calculer la puissance de la borne nécessaire. En divisant l’énergie réelle de la batterie par le nombre d’heures à l’arrêt du camion, on arrive à la puissance effective nécessaire pour la borne de recharge. En considérant une période d’arrêt moyenne d’environ 12 h par jour, une borne de 214 kW de puissance effective (2568 kWh/12 h) serait nécessaire pour recharger le camion. En prenant en compte une efficacité de 90 %, la borne devrait avoir une puissance de 240 kW.

Les paramètres retenus pour un scénario d’électrification du camion 705-065 seraient donc les suivants :

Tableau 12 : Paramètres d’électrification retenus pour le camion 705-065

Capacité de la batterie embarquée	3003 kWh
Puissance de la borne de recharge	BRCC 240 kW
Batterie disponible sur le marché actuel ?	Non

La capacité nominale de la batterie embarquée est bien au-dessus de la capacité maximale disponible en ce moment sur le marché. Pour cette raison, l’électrification de cette route telle qu’elle est présentement constituée ne pourrait pas être envisagée. Par conséquent, les bénéfices financiers n’ont pas pu être calculés pour un camion non existant. Cependant, les économies possibles ont été évaluées concernant les coûts d’énergies et ils sont indiqués au Tableau 13. La durée de possession utilisée est de 10 ans puisque cette valeur correspond à la plus petite entre les deux critères utilisés par Groupe Morin afin de déterminer la durée de vie de leur camion soit, 10 ans ou l’atteinte de 1 200 000 km.

Tableau 13 : Bénéfices financiers de l’électrification du camion 705-065

Coût annuel de carburant avant électrification	119 623 \$
Coût annuel d’électricité	59 586 \$
Économie annuelle de coûts d’énergie	60 037 \$
Économies en énergie après 10 ans	600 370 \$

Les économies potentielles totales s’élèvent à 600 370\$ après 10 ans. Il faudrait alors s’assurer que le surcoût dû à l’installation d’une infrastructure de recharge et l’achat d’un camion après incitatifs serait inférieur à cette économie potentielle. Le coût du diesel considéré est 2,00 \$/L et le coût de l’électricité est fixé à 0,16 \$/kWh.

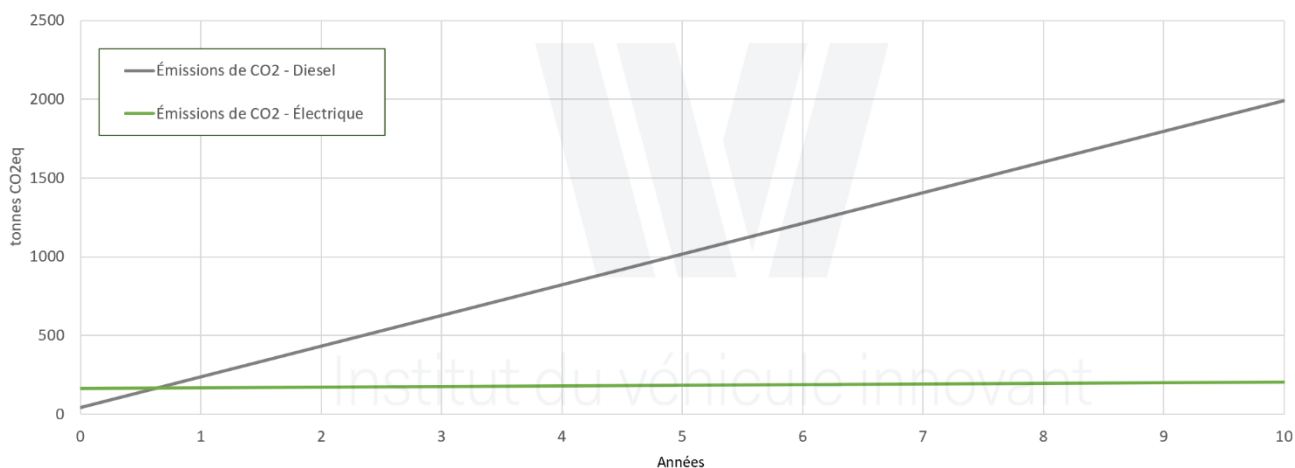
Il est possible de calculer le bénéfice environnemental de l’électrification de cette route, celui-ci est représenté à la figure ci-dessous. Ce bénéfice n’est pas négligeable puisque l’électrification éviterait la propagation de plus de 1 786 tonnes de CO2 équivalent. Le point d’équivalence d’émission des GES arriverait après seulement 74 558 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.



Camion # 705-065

Volvo VNL 2020 | Tracteur classe 8 – PNB 36 364 kg

Graphique 16 : Émission sur la vie du camion 705-065, Diesel vs. Électrique



L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification de cette route pour deux raisons. Premièrement, en date de l'écriture de ce rapport, la masse totale du camion est bien au-dessus du PNB recommandé pour un camion électrique. Aussi, la batterie recommandée afin d'effectuer 90 % des trajets quotidiens de ce camion sur une année standard est de 3003 kWh, soit bien au-delà de ce qui est actuellement disponible sur le marché, soit 650 kWh et moins.

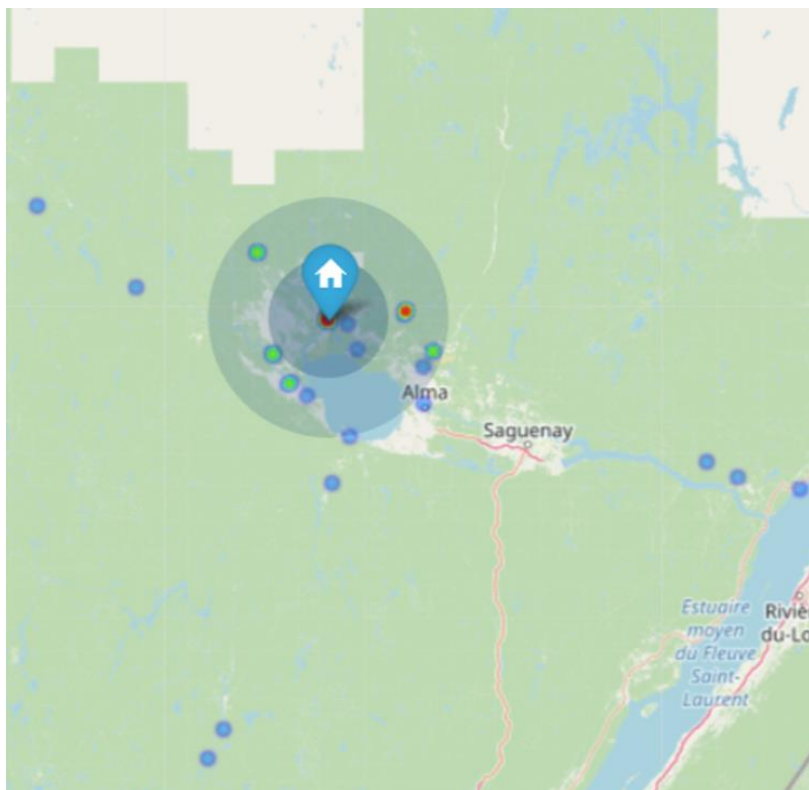
Cependant, comme démontré au Tableau 10, ce camion effectue plusieurs courtes routes entre des clients réguliers. Si le Groupe Morin a d'autres camions qui effectuent les mêmes routes, il serait intéressant de créer une route dédiée à un camion électrique avec des bornes de recharge au point de chargement. Puisque l'économie monétaire et environnementale est très importante pour ce camion, l'IVI encourage le Groupe Morin à étudier cette possibilité avec leur client.



11. Analyse du camion 705-070

Tout comme les deux autres camions, le 705-070 est utilisé pour effectuer des voyages entre des usines de transformation de produit forestier et des clients.

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 :



Le camion a effectué plusieurs allers-retours entre une scierie et une usine de transformation de produit forestier tout près de l'entrepôt du Groupe Morin, soit dans un rayon de 25 km. Il a également visité à plusieurs reprises une scierie qui se situe dans un rayon de 50 km de l'entrepôt.

Le camion a également fait plusieurs autres routes dans un rayon nettement supérieur à 50 km à partir de l'entrepôt du Groupe Morin.

Figure 5 : Fréquence des livraisons du camion 705-070 dans un rayon de 25 et 50 km de l'entrepôt de Groupe Morin



Le dénivelé parcouru par le camion 705-070 est de taille faible. Cet indice de côtes à gravir indique que le camion devra monter en moyenne un dénivelé positif de 2,4 mètres pour chaque kilomètre parcouru.



Camion # 705-070

Western Star 5700 XE 2022 | 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 14 : Représentation visuelle des distances parcourues quotidiennement par le camion 705-070

Le trajet quotidien moyen de cette route est de 360 km et le 90^e percentile est de 577 km. Il est conseillé au gestionnaire de flotte d'utiliser la valeur du 90^e percentile comme étant la distance à considérer pour le dimensionnement de la version électrique de cette route. Ces deux valeurs sont très élevées et reflètent les longs trajets effectués par le camion.

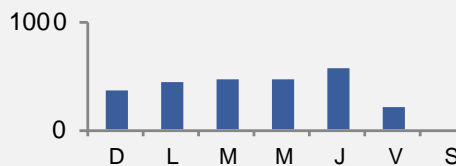
En observant le graphique à bande suivant, on constate rapidement que le camion circule 5 à 6 jours par semaine, soit du dimanche au vendredi.

À partir du calendrier, il est possible de voir que le camion a effectué de courtes distances quotidiennes durant le mois de mai. Celles-ci se sont allongées en juin et en juillet.

*Après discussion avec le gestionnaire de flotte, il a été déterminé que les trajets à La Tuque n'étaient pas représentatifs du trajet normal de ce camion. Cette route a été effectuée à la suite de certaines fermetures d'usine.

**Les journées représentées par des cases grises sont des journées qui n'ont pas été comprises dans l'étude puisqu'elles ont été comptées comme étant des valeurs anormales.

Max	827	km
90%	577	km
Med	373	km
Moy	360	km
σ	185	km
CV	51%	



	D	L	M	M	J	V	S
mai	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	313	827	390	-
	-	282	169	-	-	363	-
	-	189	192	190	191	376	-
	-	-	332	174	188	159	-
juin	-	363	190	175	222	175	-
	-	536	520	520	-	390	-
	357	329	410	564	978	52	-
	-	478	950	513	1061	70	-
juil.	237	493	-	113	573	8	-
	-	357	370	-	-	-	-
	428	656	348	502	410	256	-
	428	509	370	173	190	-	-
	-	512	606	967	289	56	-
août	-	577	672	1179	1350	-	-
	428	436	825	581	-	-	-

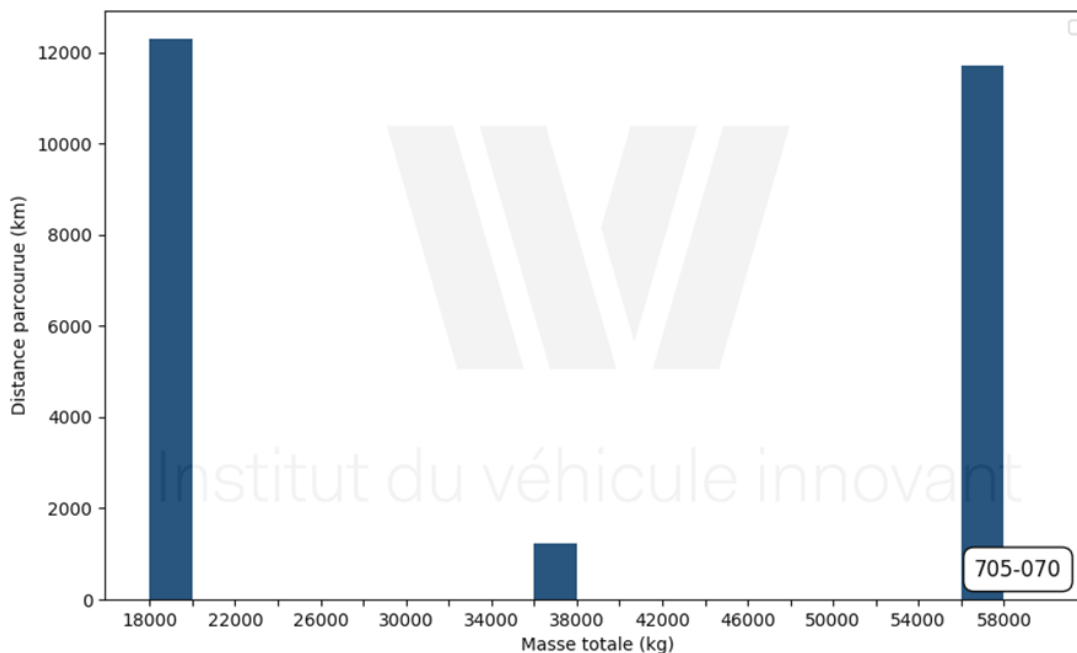


Camion # 705-070

Western Star 5700 XE 2022 | 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 montre la distance parcourue selon la masse du véhicule.

Graphique 17 : Proportion de la distance parcourue selon le chargement transporté du camion 705-070



Le camion a majoritairement circulé à vide ou en charge totale. Sa masse totale à vide avec la remorque est de 18 000 kg (39 600 lb). En charge totale, le camion pèse environ 58 000 kg (127 600 lb).

Prendre en note qu'en date de l'écriture de ce rapport, le PNB des camions électriques disponibles sur le marché est de 36 364 kg (80 000 lb), soit nettement moins élevé que ce les cargaisons transportées par le Groupe Morin. Cependant, des camions électriques certifiés avec un PNB supérieur à 36 364 kg sont attendus dans un avenir très proche.

En résumé, l'analyse des déplacements du camion 705-070 permet de déterminer les grandes lignes qui affecteront son potentiel d'électrification des façons suivantes :

Tableau 15 : Effet des données principales sur le potentiel d'électrification du camion 705-070

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

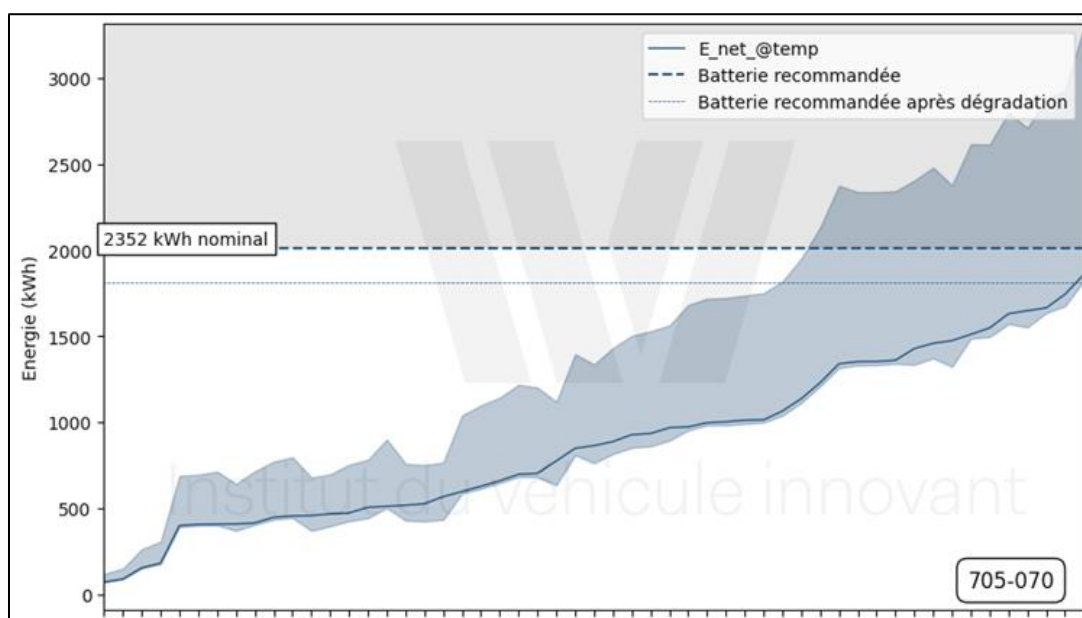


12. Scénario d'électrification pour le camion 705-070

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 18 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 18 : Journées de mesure du camion 705-070, classées par ordre croissant des besoins quotidiens simulés en énergie (kWh)



Guide d'interprétation du Graphique 18 :

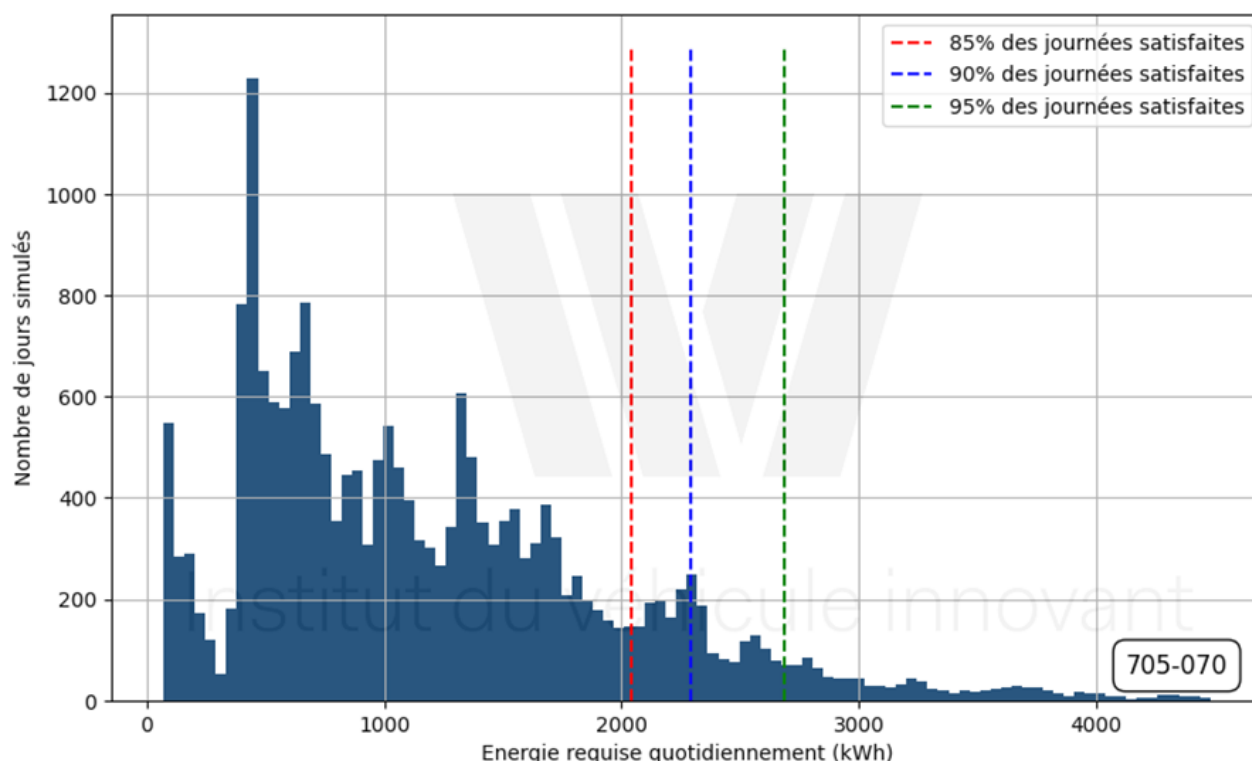
- La courbe bleue du graphique ci-dessus montre l'énergie requise simulée pour un camion électrique (en kWh) pour compléter chaque journée du test à la température extérieure réelle.
- L'aire bleue montre la différence d'énergie pour une même journée s'il fait chaud (20 °C) ou très froid. La valeur plus 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 2352 kWh disposerait de 2011 kWh avec marge de confort lorsque neuf (ligne horizontale pointillée épaisse), cette batterie permettrait au camion 705-070 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 19 représente les tailles de batteries recommandées pour accomplir 85 %, 90 % ou 95 % des journées d'une année, sans que le camion électrique 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 19 : Énergie consommée par jour pour les journées simulées pour le camion 705-070



Une batterie de 2352 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 2087 et de 2741 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 classes 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.

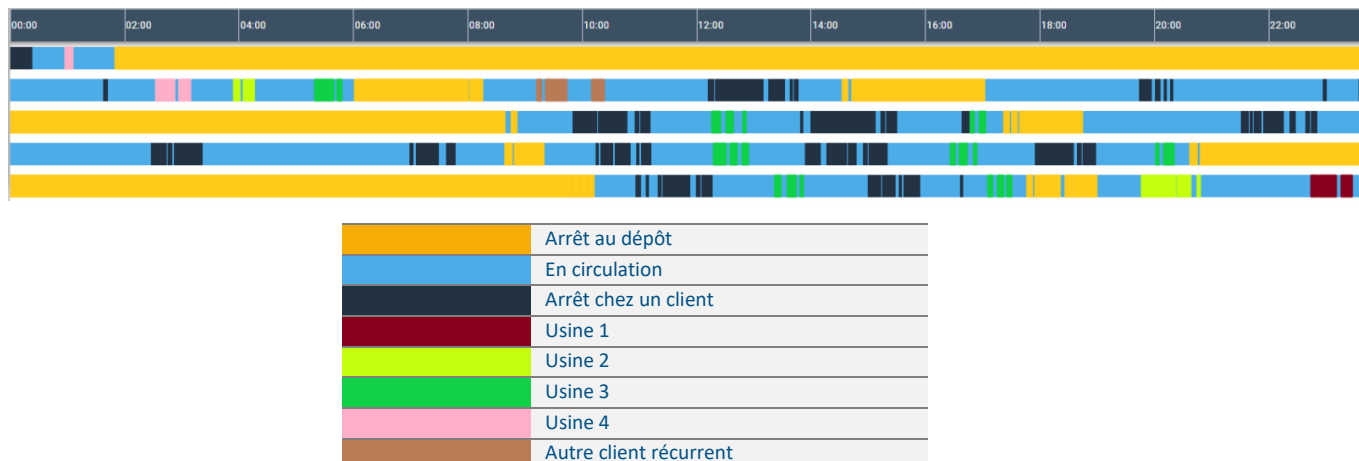
Le Graphique 20 permet de visualiser les arrêts lors d'une semaine typique du camion 705-070. Chaque bande horizontale représente un jour du lundi au vendredi, de bas en haut. L'échelle en haut du graphique représente l'heure de la journée. Le graphique ci-bas représente la semaine du 19 au 23 juin 2023.



Camion # 705-070

Western Star 5700 XE 2022 | Tracteur classe 8 – PNB 36 364 kg

Graphique 20 : Moments des déplacements et arrêts typiques du camion 705-070



Le calendrier ci-dessus montre une des semaines du camion 705-070. Les semaines parcourues par ce camion n'étant pas constantes, il est difficile d'établir un horaire de recharge pour celui-ci. Durant la période d'instrumentation, le camion a également fait quelques trajets sur une période de 24 h.

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.

Puisque le camion n'effectue pas de long arrêt au dépôt du Groupe Morin durant la nuit et qu'il ne semble pas avoir une route régulière, il est difficile de déterminer la borne à utiliser afin d'obtenir une charge complète chaque jour. Le Tableau 11 représente le nombre de kilowattheures que le camion pourrait récupérer en fonction de la durée de la recharge et de la puissance de la borne. Il est recommandé au gestionnaire de flotte d'évaluer quelles sont les possibilités de recharge en journée pour ce camion, donc quels clients réguliers pourraient être équipés de bornes de recharge. Par la suite, le gestionnaire peut utiliser ce tableau pour choisir la borne la moins puissante qui pourrait fournir l'énergie demandée par le camion afin de compléter une journée typique.

Les paramètres retenus pour un scénario d'électrification du camion 705-070 seraient donc les suivants :

Tableau 16 : Paramètres d'électrification retenus pour le camion 705-070

Capacité de la batterie embarquée	2352 kWh
Batterie disponible sur le marché actuel ?	Non

La capacité nominale de la batterie requise est bien au-dessus de la capacité maximale disponible en ce moment sur le marché. Pour cette raison, l'électrification de cette route telle qu'elle est présentement constituée ne pourrait pas être envisagée en date de l'écriture de ce rapport. Par conséquent, les bénéfices financiers n'ont pas pu être calculés pour un camion non existant. Cependant, les économies possibles ont été calculées concernant les coûts d'énergies et ils sont indiqués au Tableau 17. La durée de possession utilisée est de 10 ans puisque cette valeur correspond à la plus petite entre les deux critères utilisés par Groupe Morin afin de déterminer la durée de vie de leur camion soit, 10 ans ou l'atteinte de 1 200 000 km.



Camion # 705-070

Western Star 5700 XE 2022 | Tracteur classe 8 – PNB 36 364 kg

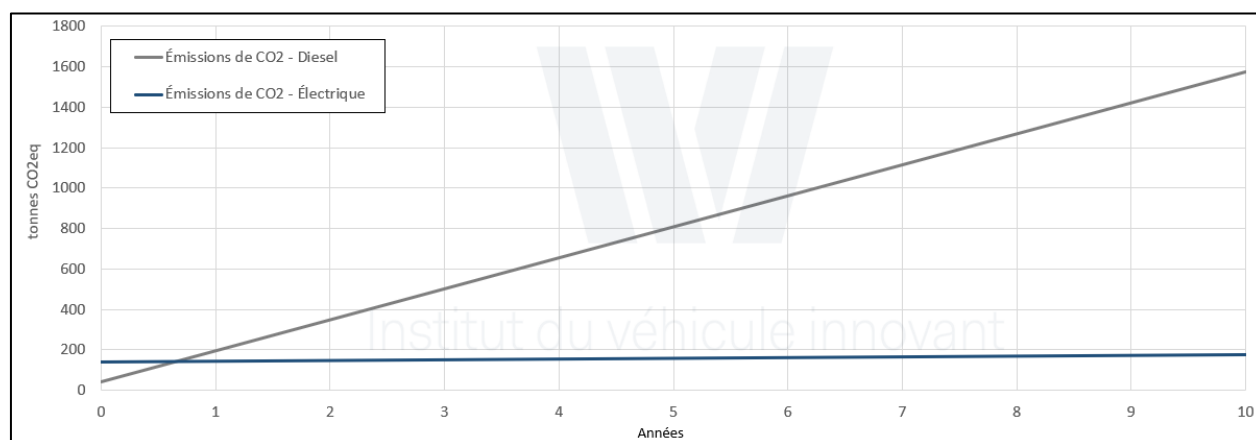
Tableau 17 : Bénéfices financiers de l'électrification du camion 705-070

Coût annuel de carburant avant électrification	101 802 \$
Coût annuel d'électricité	51 048 \$
Économie annuelle de coûts d'énergie	50 754 \$
Économies possibles après 10 ans	507 540 \$

Les économies potentielles totales s'élèvent à 507 540 \$ après 10 ans. Il faudrait alors s'assurer que le surcoût dû à l'installation d'une infrastructure de recharge et l'achat d'un camion après incitatifs soient inférieurs à cette économie. 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 1 527 tonnes de CO₂ équivalent. Le point d'équivalence d'émission des GES arriverait après seulement 62 007 km. Ces valeurs viennent des analyses indépendantes de l'IVI, basées sur des études de l'ICCT et tiennent compte des émissions de GES de la production d'électricité par barrages hydro-électriques.

Graphique 21 : Émission sur la vie du camion 705-070, Diesel vs. Électrique



L'IVI n'est pas en mesure de recommander l'électrification de cette route pour deux raisons. Premièrement, en date de l'écriture de ce rapport, la masse totale du camion est bien au-dessus du PNB recommandé pour un camion électrique. Aussi, la batterie recommandée pour effectuer 90 % des trajets quotidiens de ce camion sur une année est de 2352 kWh, soit bien au-delà de ce qui est actuellement disponible sur le marché.

Cela étant dit, il est possible de voir que ce camion a effectué des déplacements entre plusieurs clients réguliers. Si certains de ces clients s'équipent d'une borne et permettent par le fait même la recharge du camion lors de son chargement ou de son déchargement, il serait alors possible d'effectuer de la recharge en journée et de diminuer la capacité nominale de la batterie requise.

13. Conclusions et recommandations

L'analyse des trois camions diesel instrumentés chez Groupe Morin 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 18 : Recommandation d'électrification des camions de Groupe Morin

Véhicule		Camion 705-052 avec recharge	Camion 705-065	Camion 705-070
Potentiel d'électrification (/10)		5,1	1,1	1,1
Recommandation d'électrification de l'IVI		Non	Non	Non
Capacité totale de la batterie nécessaire pour effectuer un certain pourcentage des déplacements annuels	85 %	300 kWh avec recharge en journée	2694 kWh	2087 kWh
	90 %		3003 kWh	2352 kWh
	95 %		3664 kWh	2741 kWh
Puissance de la borne de recharge afin d'effectuer 90 % des déplacements annuels		150 kW	240 kW	À déterminer

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, capacité des batteries et disponibilité des accessoires amènera probablement une amélioration de ces scores avec le temps.

Les trois camions analysés du Groupe Morin effectuent des trajets entre des usines de transformation de produit forestier et des scieries. Premièrement, en date de l'écriture de ce rapport, les chargements des trois camions sont trop lourds pour les PNB des camions électriques disponibles sur le marché. Cela étant dit, le camion 705-052 est intéressant puisqu'il effectue plusieurs courts trajets. Si les clients sont en accord avec l'installation d'une borne de recharge sur leur terrain, il serait possible de rouler ce camion 24 h/24 et d'effectuer les trajets pendulaires avec une petite batterie. La taille de la batterie recommandée est de 300 kWh et la puissance nominale de la borne est de 150 kW. Il est important de noter que sans recharge en journée, il faudrait une batterie nominale de 384 kWh pour effectuer 12 allers-retours par jour en été, et 780 kWh en hiver. Cette taille de batterie diminue énormément lorsque le camion bénéficie

de la recharge sur une borne lors du chargement. Cela permettrait d'électrifier cette route avec une petite batterie et par ce fait même, éviter l'émission de plus de 942 tonnes de CO2 équivalent.

Les trajets des deux autres véhicules ne sont pas assez constants pour émettre une hypothèse sur un trajet standardisé. Sans recharge en journée, les distances parcourues quotidiennement de même que leur masse totale engendrent un besoin énergétique beaucoup trop grand par rapport aux batteries actuellement disponibles sur le marché. Cependant, il serait possible pour le Groupe Morin de discuter avec leurs clients réguliers afin de poser des bornes au point de chargement. La recharge en journée permettrait de réduire considérablement la taille de batterie nécessaire à la réalisation des trajets quotidiens. Puisque le retour financier et environnemental est très avantageux pour ces deux camions, il pourrait être intéressant d'étudier cette avenue avec les tableaux de besoin énergétique par trajet émis dans ce rapport. En attendant, il n'est pas possible d'électrifier ces deux routes telles qu'elles sont présentées en date de l'écriture de ce rapport.

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 Morin comme étant propice à la recharge, alors que ceci pourrait être moindre si le chargement de la cargaison prend beaucoup de temps, par exemple. Il faudra faire attention de positionner une borne à un endroit permettant de recharger le véhicule pendant qu'on y ajoute les marchandises, ou de le rebrancher après. 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 Morin. 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 Groupe Morin, 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.