

TP 13266F

**GESTION THERMIQUE POUR VÉHICULE ÉLECTRIQUE
EN CLIMAT FROID - ANALYSE, CONCEPTION,
IMPLANTATION ET ÉVALUATION**

Préparé pour le
Centre de développement des transports
Sécurité et Sûreté
Transports Canada

par
TN conseil, Conseillers en technologie de l'environnement inc.

Mai 1998

TP 13266F

**GESTION THERMIQUE POUR VÉHICULE ÉLECTRIQUE
EN CLIMAT FROID - ANALYSE, CONCEPTION,
IMPLANTATION ET ÉVALUATION**

par

Normand Vallières et Pierre Hosatte
TN conseil, Conseillers en technologie de l'environnement inc.
5227, Notre-Dame est, bureau 200
Montréal, Qc, H1N 3K5

Mai 1998

AVERTISSEMENT

Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles du contractant et ne reflètent pas nécessairement celles du Centre de développement des transports.

Équipe de recherche :

Pierre Hosatte, dipl. ing., dea, TN conseil, directeur du projet
Normand Vallières, ing., TN conseil, modélisation, analyse énergétique, implantation
Michel Lamarche, ing., PMG, ing. d'essais et conseiller
Claude Sauvageau, ing., PMG, ing. d'essais
Jean-Pierre Desgroseillers, tech. d'essais
Jean-Marie Brazeau, tech. d'essais

An English summary is included before the Table of Contents.



1. N° de la publication de Transports Canada TP 13266F		2. N° de l'étude 9050		3. N° de catalogue du destinataire	
4. Titre et sous-titre Gestion thermique pour véhicule électrique en climat froid - Analyse, conception, implantation et évaluation				5. Date de la publication Mai 1998	
				6. N° de document de l'organisme exécutant	
7. Auteur(s) Normand Vallières et Pierre Hosatte				8. N° de dossier - Transports Canada ZCD-1465-648-2	
9. Nom et adresse de l'organisme exécutant TN conseil Conseillers en technologie de l'environnement inc. 5227, rue Notre-Dame Est, Bureau 200 Montréal, Québec H1N 3K5				10. N° de dossier - TPSGC XSD-6-01328	
				11. N° de contrat - TPSGC ou Transports Canada T8200-6-6525/001-XSD	
12. Nom et adresse de l'organisme parrain Centre de développement des transports (CDT) 800, boul. René-Lévesque Ouest 6^e étage Montréal (Québec) H3B 1X9				13. Genre de publication et période visée Final	
				14. Agent de projet Claude Guérette	
15. Remarques additionnelles (programmes de financement, titres de publications connexes, etc.) Financé par le Programme de recherche et développement énergétiques (PRDE)					
16. Résumé <p>L'objectif principal du projet est d'augmenter l'autonomie du véhicule électrique Chrysler TEVan de Transports Canada, utilisé en conditions hivernales, rechargé et stationné à l'extérieur.</p> <p>Un modèle de simulation du véhicule a été élaboré et validé. Il permet de dresser le bilan des consommations du véhicule, notamment pour la traction et le chauffage. Ce modèle a permis la sélection de deux systèmes de gestion thermique qui donnent la priorité à l'augmentation de l'autonomie, au confort des occupants et à la facilité d'implantation.</p> <p>Deux solutions ont été retenues et mises en place. La première conserve l'aspect «tout électrique» du véhicule, l'autre propose l'installation d'une chaufferette au carburant diesel.</p> <p>On présente ces solutions et les résultats d'évaluation obtenus, incluant des essais en situation réelle et des tests sur dynamomètre en chambre climatique au Centre d'essais pour véhicules automobiles de Transports Canada.</p>					
17. Mots clés Véhicule électrique, gestion thermique, autonomie, utilisation en conditions hivernales, modélisation, essai ou test sur dynamomètre			18. Diffusion Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.		
19. Classification de sécurité (de cette publication) Non classifiée		20. Classification de sécurité (de cette page) Non classifiée		21. Déclassification (date) —	22. Nombre de pages xvi, 33, ann.
					23. Prix —



1. Transport Canada Publication No. TP 13266F		2. Project No. 9050		3. Recipient's Catalogue No.	
4. Title and Subtitle Gestion thermique pour véhicule électrique en climat froid - Analyse, conception, implantation et évaluation				5. Publication Date May 1998	
				6. Performing Organization Document No.	
7. Author(s) Normand Vallières and Pierre Hosatte				8. Transport Canada File No. ZCD-1465-648-2	
9. Performing Organization Name and Address TN conseil Conseillers en technologie de l'environnement inc. 5227 Notre-Dame Street East, Suite 200 Montreal, Quebec H1N 3K5				10. PWGSC File No. XSD-6-01328	
				11. PWGSC or Transport Canada Contract No. T8200-6-6525/001-XSD	
12. Sponsoring Agency Name and Address Transportation Development Centre (TDC) 800 René Lévesque Blvd. West 6th Floor Montreal, Quebec H3B 1X9				13. Type of Publication and Period Covered Final	
				14. Project Officer Claude Guérette	
15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.) Sponsored by the Program of Energy Research and Development (PERD)					
16. Abstract <p>The main objective of the project is to boost the endurance of Transport Canada's Chrysler TEVan electric vehicle for use in winter conditions, recharged and parked outside.</p> <p>A simulation was developed and validated. This made it possible to calculate the vehicle's energy consumption, in particular the demands of traction and heating. Using the model, two heating control systems were selected, both of which give priority to enhanced endurance, passenger comfort and ease of installation.</p> <p>Two solutions were adopted and implemented. The first maintains the vehicle's "all-electric" concept, and the other relies on a diesel-fired heater.</p> <p>These solutions are outlined, together with the evaluation results, including road trials and dynamometer tests conducted in the weather chamber at the Transport Canada automobile test centre.</p>					
17. Key Words Electric vehicle, heating control, endurance, winter operation, modelling, dynamometer trials or tests			18. Distribution Statement Limited number of copies available from the Transportation Development Centre		
19. Security Classification (of this publication) Unclassified	20. Security Classification (of this page) Unclassified	21. Declassification (date) —	22. No. of Pages xvi, 33, apps	23. Price —	

REMERCIEMENTS

Nous, les auteurs, désirons remercier Messieurs Maurice et Stéphane Boily, de la Société des aéroports de Montréal, de nous avoir facilité l'accès au véhicule, pour les renseignements techniques le concernant, pour les essais routiers qui nous ont permis de compléter nos données et pour l'aide à l'implantation de certaines solutions. Nous remercions également Monsieur Denis Boucher, de Transports Canada, pour l'information relative au coefficient de frottement des pneus, Monsieur Michel Lamarche du Centre d'essais pour véhicules automobiles de Blainville, pour les renseignements techniques et les données de monitoring du véhicule, ainsi que Messieurs Claude Sauvageau, ing., Jean-Pierre Desgroseillers, Tech., et Jean-Marie Brazeau, Tech., du Centre d'essais pour véhicules automobiles de Blainville, pour les essais sur dynamomètre et pour l'implantation d'un système d'acquisition de données.

Les participants à la session de remue-méninges qui nous ont aidé à trouver des solutions originales ont également contribué aux résultats de ce travail et nous remercions Monsieur André Lafleur, de CANMET-LRDE à Varennes, de nous avoir aidé à l'organiser et à la diriger. Nos remerciements s'adressent également à M. Blaise Labrecque, du LRDE de CANMET à Varennes, pour son assiduité à nos réunions de travail, ses conseils et ses avis dans le déroulement du projet.

Enfin, nous tenons à remercier particulièrement M. Claude Guérette, du Centre de développement des transports de Transports Canada, pour son implication, ses conseils et son soutien tout au long du projet et pour la confiance qu'il nous a accordée.

SOMMAIRE

Problèmes

Un véhicule expérimental de Transports Canada (Chrysler TEVan) a été évalué en conditions réelles à l'aéroport de Dorval entre 1994 et 1995. Les problèmes vécus en hiver par le véhicule TEVan sont les suivants :

- autonomie et fiabilité réduites;
- perte de confiance des utilisateurs du véhicule en hiver.

Objectif

L'objectif du projet est de proposer et d'implanter un système de gestion thermique du véhicule TEVan permettant d'améliorer ses performances dans les conditions hivernales de Montréal et ayant un impact positif sur :

- l'autonomie du véhicule en priorité;
- la fiabilité et la sécurité du véhicule;
- le confort de l'habitacle;
- la température d'opération des accus;
- l'efficacité énergétique globale du véhicule en hiver à 0 °C et à -20 °C.

Modèle informatique

Le travail a commencé par une collecte de données spécifiques au véhicule et aux accus. L'accès au véhicule et des essais routiers nous ont permis de compléter cette collecte.

Un modèle de simulation du comportement du véhicule TEVan a été développé à partir des données recueillies. Le modèle a été validé à partir de journées réelles d'utilisation du véhicule qui ont été surveillées de près par le Centre d'essais pour véhicules automobiles (CEVA) de Transports Canada.

Solutions

Une recherche bibliographique sur les différentes méthodes d'optimisation énergétique applicables aux véhicules électriques a été réalisée. Pour nous assurer d'évaluer toutes les solutions potentiellement intéressantes, nous avons organisé une réunion d'échange d'informations et d'opinions (réunion de remue-méninges) avec des spécialistes impliqués dans le domaine.

Les solutions les plus prometteuses ont été évaluées individuellement à l'aide du modèle informatique pour déterminer l'amélioration de l'autonomie du véhicule.

Des critères de sélection complémentaires et une grille d'évaluation ont été établis afin de déterminer les meilleures solutions. À partir de ces solutions, nous avons étudié différentes combinaisons, en prenant en priorité les solutions individuellement les plus avantageuses. Les critères d'évaluation donnent la priorité à l'augmentation d'autonomie du véhicule et à la facilité d'implantation à court terme sur le véhicule existant. Nous avons ensuite utilisé à nouveau notre modèle et la grille pour évaluer l'impact de ces solutions combinées.

Implantation

Deux combinaisons de solutions ont été retenues et implantées au véhicule à titre expérimental pour évaluations séparées.

Une solution laissant le véhicule tout électrique comprenant :

- le préchauffage des accumulateurs (accus);
- le préchauffage de l'habitacle;
- le préchauffage de l'air neuf de ventilation avec l'huile à transmission;
- la réduction de l'air neuf de ventilation;
- l'isolation de la carrosserie.

Une solution intégrant une chaufferette au diesel comprenant :

- le préchauffage des accus;
- le préchauffage de l'habitacle;
- la réduction de l'air neuf de ventilation;
- une chaufferette au diesel.

Les modifications apportées au véhicule ont augmenté son poids de 30 kg (65 lbs).

Essais sur dynamomètre

Des essais sur dynamomètre ont été effectués au CEVA sous une température de -20 °C pour évaluer les gains de performances du véhicule électrique TEVan modifié. Deux séries d'essais ont donc été effectuées sur le véhicule. La première série d'essais consistait à vérifier les performances du véhicule sans modifications. La deuxième série d'essais consistait à vérifier les performances du véhicule modifié avec chauffage électrique et avec chauffage diesel.

Les essais sur dynamomètre au CEVA ont montré que l'autonomie du véhicule modifié tout électrique sous des conditions hivernales sévères (-20 °C) est de 82,5 km, ce qui représente une autonomie très légèrement inférieure à l'autonomie qu'avait le véhicule à Dorval en été 1995.

Les mêmes essais ont montré que l'autonomie du véhicule modifié avec chauffage diesel, sous -20 °C, est de 100 km, ce qui est équivalent et même légèrement supérieur à l'autonomie qu'avait le véhicule à Dorval à l'été de 1995.

Selon les essais au CEVA, la différence d'autonomie entre le véhicule modifié tout électrique et le véhicule non modifié a été de 12,5 km. De la même façon, l'amélioration de l'autonomie du véhicule modifié avec chauffage diesel a été de 30 km par rapport au véhicule non modifié. Lors des essais, la température initiale des accus du véhicule non modifié était de -10 °C, tandis qu'elle était de 12 °C à 15 °C dans les deux autres cas.

- 1- Véhicule non modifié : autonomie de 70 km
- 2- Véhicule modifié tout électrique : autonomie de 82,5 km
- 3- Véhicule modifié avec chauffage diesel : autonomie de 100 km

Le tableau de la page suivante donne le bilan des résultats obtenus au CEVA.

Bilan du véhicule non modifié et modifié selon les deux configurations
(Résultats des essais au CEVA sous -20 °C)

		Véhicule non modifié	Véhicule modifié tout électrique	Véhicule modifié chauff. diesel
Autonomie	(km)	69,9	82,4	99,7
Recharge des accus	(kWh)	54,5	57,5	57
Préchauff. de l'habitacle	(kWh)	0	1,5	1,5
Chauff. Des accus	(kWh)	0	5,3	5,3
Énergie ac consommée	(kWh)	54,5	64,3	63,8
Bilan basé sur la recharge	(km/kWh)	1,28	1,43	1,75
Bilan basé sur l'énergie ac total	(km/kWh)	1,28	1,28	1,56
	(kWh/km)	0,78	0,78	0,64

Les bilans globaux montrent que le véhicule modifié n'est pas pénalisé par rapport au véhicule non modifié, même en ajoutant des charges ac. La meilleure performance est obtenue avec le véhicule modifié avec chauffage diesel avec un bilan de 1,56 km/kWh_{ac total}, soit 22 p. cent supérieur au véhicule non modifié.

L'autonomie générale du véhicule à -20 °C, déterminée à partir des essais sur dynamomètre au CEVA, n'est pas vraiment comparable à la réalité. En effet, ces essais ont plutôt tendance à surestimer l'autonomie du véhicule à cause des points suivants :

1. Le dynamomètre n'est pas compensé pour le changement de la densité de l'air à -20 °C (les essais sur dynamomètre sont prévus pour une température de +20 °C). L'air plus dense que l'on retrouve sous -20 °C provoque plus de résistance au déplacement du véhicule et plus particulièrement pour le TEVan qui n'est pas du tout aérodynamique.
2. La température des pneus a une grande influence sur l'autonomie du véhicule; plus ils sont froids plus le coefficient de frottement est grand, de sorte que plus d'énergie est nécessaire pour parcourir la même distance. En situation réelle, les pneus roulent sur le sol qui est à une température égale à la température ambiante (-20 °C dans notre cas d'étude). Lors d'un essai sur dynamomètre, les pneus roulent sur deux cylindres qui s'échauffe plus rapidement avec le temps (même si des ventilateurs sont disposés de façon à souffler l'air ambiant sur les rouleaux et les pneus).

Essais en conditions réelles

À la suite des essais au CEVA, le véhicule a été utilisé en conditions réelles à partir du 5 mars 1998. Le véhicule a été utilisé 65 p. cent du temps sur l'autoroute et 35 p. cent sur un circuit urbain.

La distance parcourue par le véhicule modifié avec chauffage diesel, sous des températures extérieures moyennes de -12 °C et des nuits entre -15 °C et -18 °C, était de l'ordre de 50 à 73 km sans que l'indicateur n'indique de basse tension au niveau des accus (indication «low batt.»). L'autonomie du véhicule est donc supérieure à ces distances.

Deux essais complémentaires ont montré une autonomie de 89 km sous une température extérieure moyenne de -4 °C, et de 90 km sous une température moyenne de 4 °C.

SUMMARY

Problems

A Transport Canada experimental vehicle (Chrysler TEVan) was evaluated under real conditions at Dorval Airport in 1994 et 1995. The problems encountered by the TEVan in winter are as follows:

- reduced endurance and reliability;
- loss of user confidence.

Objective

The project objective is to propose and implement a heating control system in the TEVan vehicle capable of improving its performance in Montreal winter conditions and having a positive impact on:

- vehicle endurance, as the chief priority;
- vehicle reliability and safety;
- cab comfort;
- accumulator operating temperature;
- overall winter operating efficiency at 0°C and -20°C.

Computer model

The work began with the gathering of specific data on the vehicle and the accumulators. This was achieved by examining and road-testing the vehicle.

A simulation of the TEVan's performance was developed on the basis of these data. The model was validated through days of actual use, closely monitored by Transport Canada's automobile test centre.

Solutions

A bibliography search was run on various energy optimization methods applicable to electric vehicles. To ensure that we did not miss any potentially relevant solutions, we organized a round table (brainstorming) session with specialists in the field to exchange information and views.

The most promising solutions were evaluated one by one using computer modelling to determine how they improved vehicle endurance.

Supplementary selection criteria and a rating scheme were established to identify the best solutions. On the basis of these solutions, we studied different combinations, giving priority to the individually most advantageous solutions. The evaluation criteria give priority to improved vehicle endurance and ease of installation in existing vehicles. We then reran our model and the rating scheme to assess the impact of these combined solutions.

Installation

Two combined solutions were adopted and implemented experimentally for separate evaluations.

The “all-electric” solution, comprising:

- accumulator preheating;
- cab preheating;
- preheating of fresh air using the transmission oil;
- reduced fresh air in ventilation;
- bodywork insulation.

The solution using a diesel-fired heater, comprising:

- accumulator preheating;
- cab preheating;
- reduced fresh air in ventilation;
- diesel-fired heater.

The modifications made to the vehicle increased its weight by 30 kg (65 lbs).

Dynamometer trials

Dynamometer trials were carried out at the automobile test centre at -20°C to assess the performance gains of the modified TEVan. Two series of tests were run on the vehicle, one to check the performance of the unmodified vehicle, and the other to compare the performance of the modified vehicle with electric heating and with diesel-fired heating.

The centre’s dynamometer tests gave the modified all-electric vehicle an endurance of 82.5 km under severe winter conditions (-20°C), slightly less than that achieved by the vehicle used at Dorval in the summer of 1995.

The tests rated the endurance of the modified diesel-heated vehicle at 100 km below -20°C , equivalent to or slightly better than that of the Dorval vehicle in the summer of 1995.

According to the centre’s tests, the difference in endurance between the all-electric modified vehicle and the unmodified vehicle was 12.5 km, and the endurance of the diesel-heated modified vehicle exceeded that of the unmodified vehicle by 30 km. During the trials, the starting temperature of the accumulators in the unmodified vehicle was -10°C , as opposed to 12°C to 15°C for the other two.

- 1- Unmodified vehicle: endurance 70 km
- 2- Modified all-electric vehicle: endurance 82.5 km
- 3- Modified diesel-heated vehicle: endurance 100 km

The following table presents the test centre’s results.

Results for unmodified vehicle and modified vehicle in two configurations
(results of tests at temperatures below -20°C)

	Unmodified vehicle	All-electric modified vehicle	Diesel-heated modified vehicle
Endurance (km)	69.9	82.4	99.7
Accumulator recharging (kWh)	54.5	57.5	57
Cab preheating (kWh)	0	1.5	1.5
Accumulator heating (kWh)	0	5.3	5.3
AC power consumption (kWh)	54.5	64.3	63.8
Results based on recharging (km/kWh)	1.28	1.43	1.75
Results based on total AC power consumption (km/kWh)	1.28	1.28	1.56
	(kWh/km)	0.78	0.64

Overall results show that the modified vehicle does not suffer by comparison with the unmodified one, even when AC charges are factored in. The best performance is obtained by a modified diesel-heated vehicle, at 1.56 km/kWh_{total AC}, i.e. 22% better than for the unmodified vehicle.

The vehicle's general endurance at -20°C, as determined from the centre's dynamometer tests, does not actually match real life. The tests tend to overestimate endurance for two reasons:

1. The dynamometer makes no allowance for changing air density at -20°C (dynamometer trials are designed for a temperature of +20°C). The denser air at temperatures below -20°C offers more resistance to the vehicle's movement, especially as the TEVan is not at all aerodynamic.
2. Tire temperature has a great effect on vehicle endurance; the colder it gets, the greater is the coefficient of friction, so that more energy is needed to cover the same distance. In real life, the tires run on ground whose temperature is the same as that of the ambient air (-20 °C in the case of our study). In dynamometer tests, the tires run on two revolving cylinders, which are quicker to warm up (even when fans are used to blow ambient air over the tires and rollers).

Road testing

After the tests, the vehicle was used under real-life conditions starting on March 5, 1998. Sixty-five percent of the running time was spent on highway driving and 35 percent on city streets.

The distance covered by the diesel-heated modified vehicle at an average outside air temperature of -12°C, dropping to between -15°C and -18°C at night, ranged from 50 to 73 km without the accumulator depletion indicator ("low batt.") coming on, meaning that its endurance exceeds these distances.

Two supplementary tests indicated an endurance of 89 km at an average outside temperature of -4°C and 90 km at an average temperature of 4°C.

TABLE DES MATIÈRES

1.- Introduction	1
1.1- Contexte.....	1
1.2- Sommaire des caractéristiques du Chrysler TEVan.....	2
1.3- Objectifs du projet	2
1.4- Méthodologie de l'étude	2
1.5- Modélisation du véhicule électrique	3
1.6- Sélection des solutions	3
2.- Description des solutions implantées dans le véhicule TEVan	5
2.1- Isolation thermique renforcée de l'habitacle	5
2.2- Modification du contrôle de la ventilation, du chauffage et de la climatisation de l'habitacle.....	5
2.2.1- Utilisation du sélecteur de la vitesse de ventilation.....	5
2.2.2- Utilisation du sélecteur de puissance et récupération de chaleur sur huile à transmission.....	5
2.3- Chauffage de l'habitacle avec une chaufferette auxiliaire au diesel	7
2.4- Isolation des compartiments à accus et contrôle de la ventilation des accus.....	8
2.5- Préchauffage des accus.....	8
2.6- Préchauffage de l'habitacle avec chaufferettes électriques sur minuterie	8
2.7- Vidange du tuyau de remplissage d'eau des accus	8
3.- Essais du véhicule au CEVA	9
3.1- Description sommaire des essais.....	9
3.2- Résultats des essais du véhicule non modifié.....	11
3.3- Résultats des essais du véhicule modifié.....	12
3.3.1- Véhicule modifié tout électrique.....	12
3.3.2- Véhicule modifié avec chauffage diesel.....	15
3.4- Comparaison des résultats obtenus au cours des essais	17
4.- Modélisation informatique du modèle	19
4.1- Validation du modèle informatique	20
4.2- Comparaison des essais au CEVA par rapport au modèle	21
4.2.1- Véhicule non modifié	21
4.2.2- Véhicule modifié tout électrique.....	22
4.2.3- Véhicule modifié avec chauffage au diesel.....	23
4.2.4- Conclusion.....	23

5.- Résultats en situations réelles	25
5.1- Utilisation du véhicule	25
5.2- Autonomie	25
5.3- Recharge des accus	26
5.4- Chauffage des accus	26
5.5- Points positifs	26
5.6- Points à améliorer	27
6.- Conclusion	29

ANNEXES

- 1- Description des solutions implantées dans le véhicule TEVAN
 - 2- Résultats des essais au CEVA, véhicule non modifié
 - 3- Résultats des essais au CEVA, véhicule modifié
 - 4- Résultats en situations réelles – récapitulation de l'utilisation du véhicule
-

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Le véhicule TEVan à sa station de recharge lors des essais en situations réelles	1
Figure 2.1 :	Intégration du système de récupération de chaleur sur l'huile à transmission.....	6
Figure 2.2 :	Chaufferette diesel installée sous la grille de protection	7
Figure 2.3 :	Réservoir diesel installé sous le capot du véhicule	7
Figure 3.1 :	Vue générale sous le capot du véhicule avec le système d'acquisition de données	10
Figure 3.2 :	Évolution de la température de l'habitacle au début du cycle d'utilisation du véhicule à -20 °C.....	13
Figure 3.3 :	Augmentation de la température de l'habitacle en mode préchauffage électrique	14
Figure 3.4 :	Température de l'habitacle, température à la sortie de la conduite d'air, et courant consommé par la chaufferette diesel au début du cycle d'utilisation à -20 °C.....	15
Figure 3.5 :	Ampérage consommée par les plaques chauffantes lors de la mise en attente du véhicule.....	16
Figure 4.1 :	Répartition de la consommation (véhicule en utilisation jour 355 ('95) sous -4 °C).....	19
Figure 4.2 :	Estimation de la répartition de la consommation pour une journée à -20 °C (température initiale des accus à -10 °C).....	19
Figure 4.3 :	Énergie électrique fournie par les accus.....	23
Figure 4.4 :	Augmentation de la température des accus en cours d'utilisation	24
Figure 6.1 :	Véhicule non modifié	31
Figure 6.2 :	Véhicule modifié tout électrique.....	31
Figure 6.3 :	Véhicule modifié avec chauffage diesel	32

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2 :	Valeurs stabilisées - récupération sur huile à transmission	6
Tableau 3.1 :	Description d'un essai sur banc dynamométrique selon la norme SAE J1634.....	10
Tableau 3.2 :	Performance du véhicule non modifié sous -20 °C	11
Tableau 3.3 :	Performance du véhicule modifié tout électrique sous -20 °C	12
Tableau 3.4 :	Performance du véhicule modifié avec chauffage diesel sous -20 °C	15
Tableau 3.5 :	Comparaison des performances au cours des essais sous -20 °C	17
Tableau 4.1 :	Description du profil de vitesses modélisé	20
Tableau 4.2 :	Journée typique par rapport au modèle (temp. ext. -4 °C).....	20
Tableau 4.3 :	Véhicule non modifié (temp. ext. -20 °C).....	21
Tableau 4.4 :	Véhicule modifié chauffage électrique (temp. ext. -20 °C).....	22
Tableau 4.5 :	Véhicule modifié chauffage diesel (temp. ext. -20 °C)	23
Tableau 6.1 :	Bilan récapitulatif des résultats des tests à -20 °C (données spécifiques obtenues au CEVA)	29
Tableau 6.2 :	Bilan du véhicule non modifié et modifié selon les deux configurations (selon les essais au CEVA sous -20 °C).....	33

1.- Introduction

1.1- Contexte

Ce projet s'inscrit dans le programme technologique sur le véhicule électrique du Centre de développement des transports (CDT) de Transports Canada. Ce programme inclut :

- une veille technologique sur le dossier;
- l'évaluation des bénéfices environnementaux, économiques ou autres du véhicule électrique;
- les aspects ayant trait à la sécurité des véhicules, dans leur opération normale et en cas d'accident;
- la vérification des performances de flottes de véhicules, en particulier en conditions hivernales.

Un véhicule de pré-série, le Chrysler TEVan, a été acquis par le CDT, et évalué depuis 1994 avec le CEVA et l'aéroport de Montréal (Dorval).



Figure 1 : Le véhicule TEVan à sa station de recharge lors des essais en situations réelles

1.2- Sommaire des caractéristiques du Chrysler TEVan

Il s'agit d'un Plymouth Voyager minivan (1994) converti en véhicule électrique. Il peut transporter 4 passagers et a une masse à vide de près de 2 700 kg qui nécessite l'utilisation de pneus particuliers. La traction est assurée par un moteur DC shunt GE de 54 kW (300 A nominal en 180V) refroidi par air et huile de transmission. La transmission est manuelle à 2 vitesses, la première permettant le freinage par le moteur en mode génératrice.

Le banc de batteries comprend une série de 30 accus Ni-Cd de 6 V nominal, à 5 cellules ouvertes, totalisant une capacité nominale de 180 Ah en 180V, ou 32 kWh. Ces accus sont répartis dans 6 bacs raccordés par un système de ventilation mécanique destiné à prévenir l'accumulation d'hydrogène et à refroidir les batteries en cas de surchauffe. Les deux avantages essentiels des batteries Ni-Cd sont leur robustesse et leur durée de vie théorique qui devrait permettre des cycles équivalents à une utilisation de 160 000 km. Cependant, ces batteries à cellules ouvertes nécessitent un remplissage hebdomadaire d'environ 3 à 5 litres d'eau déminéralisée (aux 15 recharges complètes en moyenne) assuré par un réseau de tuyauterie alimenté par des pompes péristaltiques.

L'accélération de 0-80 km/h est de 27 s, la vitesse maximale dépasse 110 km/h, ce qui rend le véhicule tout à fait utilisable dans le trafic routier normal. Le chargeur à bord du véhicule est configuré en 240 Vac, 40 A monophasé, et assure une recharge complète en 8 heures. Un rapport sur l'évaluation de ce véhicule électrique, le TP 12749E, *Evaluation of the Chrysler TEVan Electric Vehicle*, a été publié en juillet 1996.

1.3- Objectifs du projet

En 1996, une étude sur l'amélioration des performances hivernales du véhicule a été entreprise par TN conseil, suite aux problèmes rencontrés lors de la phase initiale d'évaluation du véhicule en 1994 et 1995 :

- autonomie et fiabilité réduites;
- perte de confiance des utilisateurs du véhicule en hiver.

Par exemple, l'autonomie du véhicule ne dépassait pas 50 km sous une température de -6 °C, et 25 km sous une température de -20 °C.

L'objectif recherché dans un premier temps est d'augmenter l'autonomie du véhicule utilisé en conditions hivernales, rechargé et stationné à l'extérieur.

1.4- Méthodologie de l'étude

Le projet s'est divisé en deux phases et s'est étendu sur 3 ans :

Phase 1 :

- Analyse des caractéristiques et des données de fonctionnement;
 - Modélisation;
 - Identification de mesures correctives;
 - Analyse d'impact (simulations);
 - Sélection de mesures pour implantation.
-

Phase 2 :

- Élaboration d'un protocole d'essais sur banc, (adaptation préliminaire de l'essai normalisé SAE-J1634 pour basses températures);
- Évaluation du véhicule sur banc avant transformation;
- Implantation des mesures proposées;
- Évaluation du véhicule sur banc après transformation;
- Évaluation du véhicule en conditions réelles.

Ce rapport est plus spécifique à la phase 2 du projet, mais nous rappelons les deux étapes de la phase 1, la modélisation et la sélection des solutions. Le rapport TP 12831F, *Amélioration du rendement du véhicule électrique Chrysler TEVan* pour les conditions climatiques hivernales, publié en août 1996, fait état de la phase 1 du projet.

1.5- Modélisation du véhicule électrique

Un modèle de simulation de la consommation électrique et de l'autonomie du véhicule pour différentes températures ambiantes a été élaboré et validé à partir des caractéristiques du véhicule, des résultats de tests et du monitoring de journées typiques d'utilisation (données d'opération). On a pu ainsi caractériser :

- Déperditions (valeur UA) et inertie thermique de l'habitacle;
- Taux de renouvellement d'air;
- Sources de chaleur (axe du moteur et transmission);
- Répartition de la consommation du véhicule.

Le modèle prend en compte l'influence de la température sur les batteries (capacité) et sur les frottements (résistance de l'air et résistance au roulement des pneumatiques). Il a permis de déterminer la résistance interne apparente des batteries et de prendre en compte leur échauffement lors des décharges à taux élevés (en accélération, à vitesse élevée).

1.6- Sélection des solutions

Le modèle permet de dresser le bilan des consommations énergétiques du véhicule, notamment pour la traction, pour le chauffage, pour les éléments auxiliaires du véhicule (ventilation de l'habitacle et des caissons à batteries, éclairage, ordinateur de bord...).

Ce modèle nous a permis d'évaluer différentes solutions proposées en donnant priorité à l'augmentation d'autonomie et à la facilité d'implantation à court terme à bord du véhicule existant.

Deux ensembles de solutions ont été retenus pour évaluations séparées en conditions normales d'utilisation. Le premier ensemble conserve l'aspect «tout électrique» du véhicule, l'autre propose l'installation d'une chaufferette au carburant diesel.

Option 100 % électrique

Système de chauffage

- Isolation thermique renforcée de l'habitacle;
- Contrôle du débit d'air neuf dans l'habitacle;
- Préchauffage de l'air neuf à partir du circuit d'huile de transmission (1,5 kW à +10 °C par -20 °C);
- Préchauffage électrique (1,8 kW) de l'habitacle avec minuterie et thermostat.

Économies sur accessoires et contrôles de température

- Contrôle des ventilateurs;
- Temporisation (30 s) des accessoires les plus énergivores.

Caissons à batteries

- Isolation thermique polyuréthane;
- Ventilation réduite au minimum pour évacuer l'hydrogène si la température des batteries < +25 °C;
- Chauffage des accus à $+15 \pm 3$ °C tant que le véhicule est branché (puissance totale installée : 1 140 W en 115V, isolation suffisante pour maintenir les accus à +15 °C par -30 °C).

Option chauffage diesel

- Mêmes modifications (même véhicule) plus :
 - Suppression du chauffage électrique du véhicule;
 - Utilisation d'une chaufferette diesel 5 kW à recirculation d'air;
 - Mélange avec air neuf préchauffé par huile de transmission;
 - Option testée en alternance avec l'option 100 % électrique.
-

2.- Description des solutions implantées dans le véhicule TEVan

2.1- Isolation thermique renforcée de l'habitacle

Ajout de 13 mm (1/2 po) d'isolant de type uréthane sur les parois intérieures de la carrosserie au niveau de l'habitacle. La résistance thermique de l'habitacle (incluant vitrage) passe de 73 W/°C à 48 W/°C.

2.2- Modification du contrôle de la ventilation, du chauffage et de la climatisation de l'habitacle

2.2.1- Utilisation du sélecteur de la vitesse de ventilation

Le sélecteur de la vitesse de ventilation ne peut être déplacé qu'à la position «OFF» ou à la position 1 (les 3 autres positions sont désactivées). Par contre, même à la position 1 du sélecteur, il est possible d'activer la vitesse 1 ou la vitesse 2 du ventilateur par l'intermédiaire d'un double interrupteur placé sous le capot.

Pour contrer le givrage qui peut survenir pour des conditions plus sévères ou pour éliminer la glace sur le pare-brise, on peut sélectionner la vitesse de ventilation maximum par l'intermédiaire d'un bouton «HI MANUEL» sur délai temporisé (deux minutes) qui active également la puissance de chauffage maximum incluant la récupération de chaleur sur l'huile. Après le délai, la vitesse de ventilation revient automatiquement à la vitesse correspondant à la position 1.

2.2.2- Utilisation du sélecteur de puissance et récupération de chaleur sur huile à transmission

On récupère la chaleur disponible dans l'huile à transmission en la faisant passer à travers deux échangeurs huile/air qui sert au préchauffage de l'air neuf de ventilation. Ces échangeurs sont installés sous le capot, sur l'aile droite (position par rapport au conducteur). Une conduite d'air achemine l'air préchauffé vers l'entrée du système de chauffage (voir figure 2.1).

Le préchauffage par l'huile à transmission est contrôlé par deux valves de dérivation activée par l'utilisateur par sélection du bouton «Heat-A/C Lever» (sélecteur de puissance) vers «HEAT».

Si le sélecteur de puissance est placé à la position «MEDIUM» ou «HI», le préchauffage est complété par l'activation du système de chauffage électrique du véhicule. Pour plus de puissance, il est possible d'activer le bouton «HI MANUEL» sur délai temporisé.

Un essai routier en situation réelle sous une température de -7 °C a été effectué en mars 1996 pour déterminer la puissance thermique potentiellement récupérable à partir du système de refroidissement de l'huile à transmission. À 0 km/h, la puissance dissipée était de l'ordre de 500 W, à 40 km/h, de 1,5 kW et à 80 km/h et plus, de 2 kW. La température de l'huile à la sortie du moteur était de 8 °C à 10 °C.

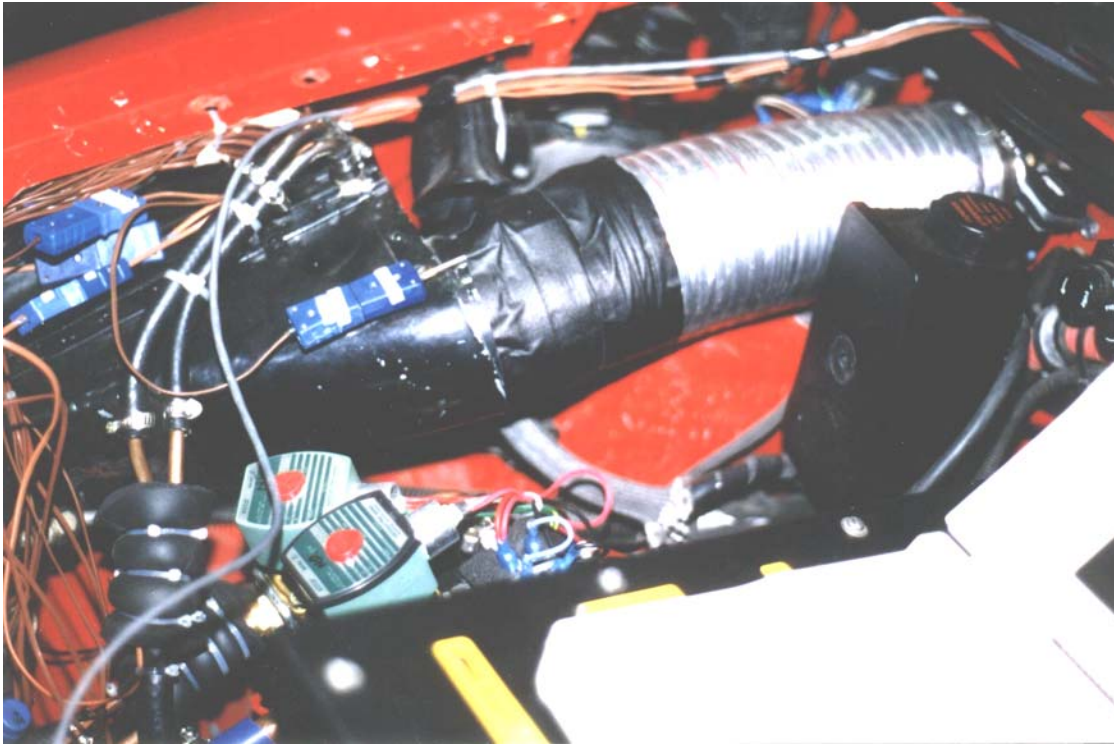


Figure 2.1 : Intégration du système de récupération de chaleur sur l'huile à transmission

Des tests complémentaires sur dynamomètre sous une température de -20 °C ont montré que le potentiel de récupération thermique sur l'huile à transmission était de l'ordre de $1,8\text{ kW}$. Le tableau suivant donne les principales valeurs mesurées une fois que le moteur a atteint son équilibre thermique pour une vitesse constante de 70 km/h .

Tableau 2 : Valeurs stabilisées - récupération sur huile à transmission

Temp. moteur = 55 °C	Temp. ambiante = -20 °C
Temp. transmission = 9 °C	Temp. air sortie échangeur = 1 °C
Temp. huile entrée = 14 °C	Temp. huile sortie = 8 °C
Débit d'air = $60\text{ à }70\text{ l/s}$	Puiss. dissipée = $1,8\text{ kW}$

2.3- Chauffage de l'habitacle avec une chaufferette auxiliaire au diesel

Une chaufferette diesel à air chaud ESPAR D5LC de 5 kW a été sélectionnée pour assurer le chauffage de l'habitacle du TEVan. La chaufferette est compacte et facilement adaptable à la plupart des véhicules de type camionnette. La chaufferette a été installée dans la section cargo, près du hayon arrière (voir figure 2.2). C'était le seul endroit où l'on pouvait faire sortir le tuyau d'échappement de la chaufferette sans toucher aux caissons à batteries. Le réservoir de diesel a été installé dans le compartiment moteur (voir figure 2.3).



Figure 2.2 : Chaufferette diesel installée sous la grille de protection



Figure 2.3 : Réservoir diesel installé sous le capot du véhicule

2.4- Isolation des compartiments à accus et contrôle de la ventilation des accus

Les parois extérieures des compartiments à accus ont été couvertes avec de l'isolant flexible de type «Armaflex» d'une épaisseur de 13 mm (1/2 po). La ventilation des accus est assurée pendant la charge et la décharge uniquement. On réduit le débit de ventilation des accus à basse température. La vitesse élevée est seulement activée si la température des accus dépasse 25 °C.

2.5- Préchauffage des accus

Des plaques chauffantes en silicone ont été insérées sous les accus (une plaque pour trois accus). Les plaques chauffantes sont connectées en séries (2) et en parallèles (5) de façon à fournir une puissance de chauffe de 38 W/accu. Les plaques chauffantes sont activées tant que le véhicule est branché sur le réseau électrique. Chacune des séries de plaques est contrôlée par deux thermostats qui limitent la température des accus à environ 15 °C. Les thermostats sont fixés sur les parois verticales des accus.

Un réseau de câble électrique a été intégré sous le véhicule pour alimenter les plaques chauffantes. Des connecteurs de type militaire (Amphénol), facilement accessibles, assurent la continuité électrique à travers les caissons. La connexion au réseau se fait à l'aide d'un connecteur principal, placé tout près du connecteur déjà utilisé pour la recharge du véhicule.

2.6- Préchauffage de l'habitacle avec chaufferettes électriques sur minuterie

Le véhicule est équipé de deux chaufferettes électriques de 750 W_(mesuré). Des thermostats sont utilisés pour limiter la température de l'habitacle à environ 12 °C. En situation normale, on commence le préchauffage de l'habitacle une heure avant l'utilisation (le chauffage est commandé par minuterie). Les chaufferettes et le thermostat sont installés sous les deux bancs avants. Le câble électrique qui alimente les chaufferettes est raccordé sur le même connecteur des plaques chauffantes.

2.7- Vidange du tuyau de remplissage d'eau des accus

Une solution simple et fiable a été mise de l'avant avec les responsables de l'entretien du véhicule à Dorval. Une purge a été ajoutée au connecteur à l'entrée du réservoir. Un jet d'air comprimé dans le tuyau peut assurer, si nécessaire, une vidange parfaite du tuyau en hiver en ouvrant la purge.

3.- Essais du véhicule au CEVA

Le but des essais au CEVA sur dynamomètre était de simuler une recharge typique et une utilisation typique du véhicule en hiver, avant et après les modifications. Cette façon de procéder nous a permis de quantifier l'augmentation de l'autonomie du véhicule suite à l'implantation des solutions.

Une priorité a été de définir une température basse moyenne des accus en climat froid pour un véhicule électrique stationné à l'extérieur en permanence. Ce point est essentiel car il a une grande influence sur la capacité réelle des batteries, donc sur l'autonomie du véhicule. De plus, les chargeurs de certains véhicules, dont celui du TEVan, ne sont pas équipés de compensation en température pour décider quand la recharge doit être arrêtée. Il s'agit encore d'un élément pouvant avoir une grande influence sur l'autonomie. De plus, il faut noter que c'est la recharge précédant le test qui a été utilisée pour évaluer le rendement énergétique brut du véhicule (kWh(CA) par km).

3.1- Description sommaire des essais

L'objectif des essais au CEVA était d'évaluer, pour des conditions hivernales, les gains de performances du véhicule électrique TEVan modifié. Deux séries d'essais ont donc été effectuées sur le véhicule. La première série d'essais consistait à vérifier les performances du véhicule sans modifications. La deuxième série d'essais consistait à vérifier les performances du véhicule modifié avec chauffage électrique et avec chauffage diesel.

Pour chaque série d'essais, une première mise en condition du véhicule est effectuée le premier jour, dans la chambre climatique, où le véhicule roule sur le dynamomètre à une vitesse constante de 70 km/h sous une température de -40 °C. On augmente ensuite la température de la chambre climatique à -20 °C.

Les jours suivants, le véhicule est testé en utilisant le profil de vitesses de la norme SAE J1634 toujours sous une température ambiante de -20 °C, en maintenant l'habitacle à 12 °C. La température initiale des accus est de -10 °C sauf pour les essais du véhicule modifié (voir annexe 2 et 3 pour détails). Le système d'acquisition de données à bord du véhicule est activé au cours des essais et des données complémentaires sont enregistrées (voir figure 3.1). Un seul essai est réalisé par jour. Un essai est constitué de plusieurs séquences qui se répètent jusqu'à ce que le véhicule ne puisse suivre le profil de vitesse du cycle.

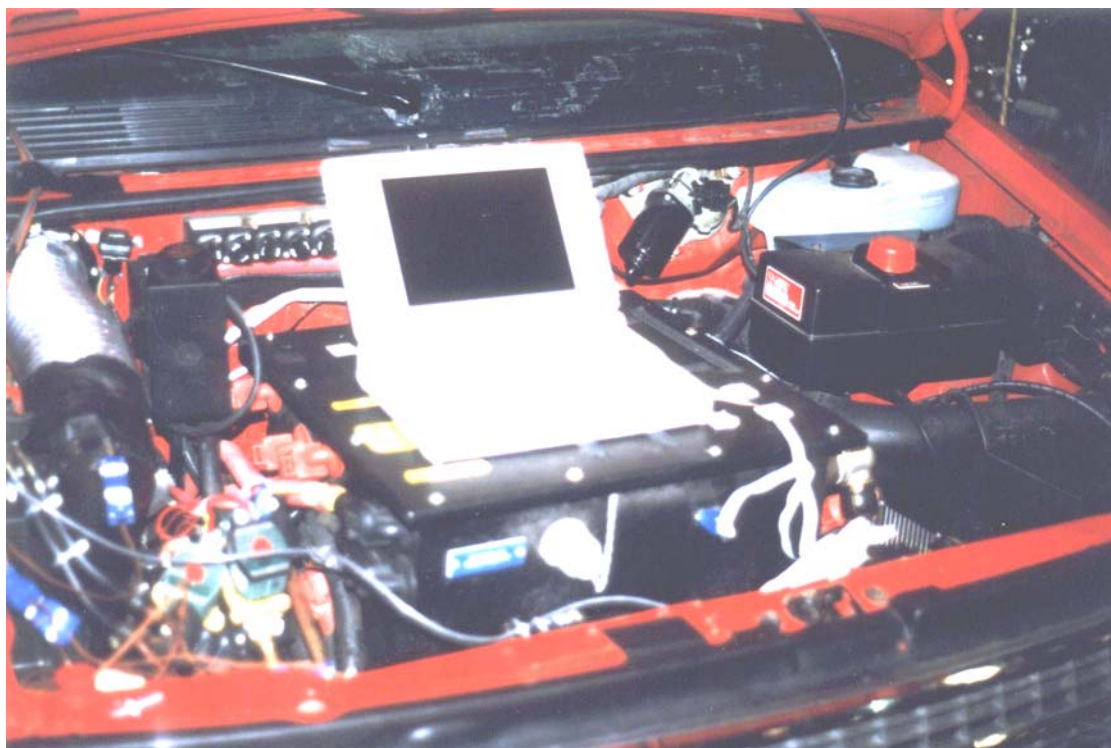


Figure 3.1 : Vue générale sous le capot du véhicule avec le système d'acquisition de données

Tableau 3.1 : Description d'un essai sur banc dynamométrique selon la norme SAE J1634

Séquence 1	SAE J1634-A Durée : 32,8 min. Vitesse moy. : 22,2	Phase 1	505 s	Circuit urbain
		Phase 2	867 s	Circuit urbain
		Attente	600 s	
Séquence 2	SAE J1634-B Durée : 32,8 min. Vitesse moy. : 22,2	Phase 1	505 s	Circuit urbain
		Phase 2	867 s	Circuit urbain
		Attente	600 s	
Séquence 3	SAE J1634-C Durée : 35 min. Vitesse moy. : 56,6	Phase 1	764 s	Circ. intermédiaire
		Attente	15 s	
		Phase 2	764 s	Circ. intermédiaire
		Attente	600 s	
On répète les séquences 1, 2 et 3 jusqu'à épuisement des accus. Vitesse moyenne des 3 séquences = 34 km/h. Durée 100,6 min. (1,67 h)				

La vitesse moyenne au cours du circuit urbain est de 32 km/h (sans tenir compte de l'attente) avec une vitesse maximum de 91 km/h. Le circuit urbain est caractérisé par des arrêts fréquents. La vitesse moyenne au cours du circuit intermédiaire, sans arrêt, est de 78 km/h avec une vitesse maximum de 96 km/h. Trente-six p. cent du temps du circuit total est consacré au circuit intermédiaire, où plus de distance est parcourue (vitesse moyenne plus élevée) par rapport au circuit urbain.

3.2- Résultats des essais du véhicule non modifié

Certains problèmes sont survenus au cours des essais dynamométriques dans la chambre climatique à très basse température (-40 °C à -20 °C). Le problème majeur a été la fiabilité au niveau de la recharge des accus. À plusieurs reprises, une détection de fuite de courant à la terre «ground fault detection» a été détectée par le MCU, ce qui provoquait l'arrêt de la recharge et le retard au niveau des tests. Le problème provenait d'une ou de plusieurs sondes de mesure qui provoquaient cette fuite de courant.

Autonomie

À une température ambiante de -20 °C, et une température initiale des accus de -10 °C, l'autonomie du véhicule non modifié est de l'ordre de 70 km.

Tableau 3.2 : Performance du véhicule non modifié sous -20 °C

Essais	Température accus avant l'essai (°C)	Température accus après l'essai (°C)	Énergie électrique recharge (kWh _{ca})	Distance parcourue (km)	Bilan (km/kWh)
1 (#6)	-9,98	14,85	55	69,82	1,27
2 (#7)	-10,72	12,46	54	69,95	1,29

Dans tous les cas, l'énergie électrique consommée représente la recharge des accus avant le test sur dynamomètre. Cette différente méthode d'évaluation a été adoptée et testée comme plus reproductible pour le calcul du ratio km/kWh_{ca} dans le contexte d'un chargeur au comportement instable.

L'autonomie du véhicule est supérieure à son autonomie en situation réelle à Dorval. En effet, rappelons que l'autonomie du véhicule à -20 °C, avec une température initiale des accus d'environ -20 °C ne dépassait pas 25 km. Dans ces conditions de température, les utilisateurs n'utilisaient pratiquement jamais le véhicule, car ils le jugeaient peu fiable et d'une autonomie trop basse.

Chauffage de l'habitacle

La consommation électrique pour assurer le chauffage de l'habitacle sous une température ambiante de -20 °C a été de 6,35 kWh_{cc} (chauffage 100 p. cent électrique). La température moyenne de l'habitacle a été de 8 °C en cours d'utilisation.

En tenant compte de la distance parcourue et de la différence de température entre la chambre climatique et l'habitacle lorsque le véhicule était en utilisation, la consommation spécifique en chauffage a été de 0,00324 kWh_{cc}/km/°C.

3.3- Résultats des essais du véhicule modifié

D'autres problèmes sont survenus au cours de ces essais. Le problème majeur provenait encore de la recharge des accus. La recharge était pratiquement toujours incomplète à cause du MCU qui détectait une fuite de courant à la terre «ground fault detection». Après vérification, le problème a été identifié au niveau d'un caisson dont un accumulateur avait fendu à cause du froid. La plaque chauffante qui baignait dans l'électrolyte, provoquait cette fuite de courant dès qu'elle était activée électriquement.

Le poids du véhicule non modifié avec chauffeur (81,8 kg ou 180 lbs) était de 2 423 kg (5 330,6 lbs). Le poids du véhicule modifié avec le même chauffeur est de 2 452,4 kg (5 395,4 lbs). Les modifications apportées au véhicule ont donc augmenté son poids de 29,4 kg (64,8 lbs).

3.3.1- Véhicule modifié tout électrique

Autonomie

Sous une température ambiante de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, les plaques chauffantes maintiennent les accus à une température d'environ $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (le contact de certaines sondes est mauvais de sorte que la température moyenne calculée dans le tableau 3.1 ($10,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) est plutôt pessimiste (voir annexe 3; *température des batteries*). Dans ces conditions, l'autonomie du véhicule modifié tout électrique est de l'ordre de 82 km, soit une amélioration de l'autonomie de 12 km par rapport au véhicule non modifié.

Tableau 3.3 : Performance du véhicule modifié tout électrique sous $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Essais	Température accus avant l'essai ($^{\circ}\text{C}$)	Température accus après l'essai ($^{\circ}\text{C}$)	Énergie électrique recharge (kWh_{ca})	Distance parcourue (km)	Bilan ($\text{km}/\text{kWh}_{\text{ca}}$)
1 (jour 2)	16,7	27,2	57	83,92	1,47
2 (jour 3)	10,8	27,4	58	80,82	1,39

L'énergie électrique consommée n'inclut pas l'énergie supplémentaire requise pour le chauffage des accus et le préchauffage de l'habitacle.

Chauffage de l'habitacle avec la chaufferette électrique du véhicule et la récupération

L'énergie thermique totale requise pour le chauffage de l'habitacle sous une température ambiante de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a été de $7,08\text{ kWh}_{\text{therm}}$. (incluant le chauffage électrique et la récupération sur l'huile à transmission). La température moyenne de l'habitacle a été de $10,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en cours d'utilisation par rapport à $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour le véhicule non modifié. On explique cette différence de température par l'isolation de la carrosserie (on atteignait plus rapidement la consigne de $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, plus facile à maintenir) et par le préchauffage de l'habitacle en début d'essai.

En tenant compte de la distance parcourue et de la différence de température entre l'habitacle et la chambre climatique en utilisation, la consommation corrigée en chauffage a été de $0,00283 \text{ kWh/km/}^\circ\text{C}$. La consommation thermique du véhicule en chauffage a donc chuté d'environ 13 p. cent par rapport au véhicule non modifiée ($0,00324 \text{ kWh}_{\text{cc}}/\text{km/}^\circ\text{C}$). L'isolation de la carrosserie et le préchauffage de l'habitacle sont à l'origine de cette baisse de consommation.

La consommation électrique pour le chauffage de l'habitacle du véhicule modifié a été de $5,43 \text{ kWh}_{\text{cc}}$, il a donc couvert 77 p. cent des besoins. La contribution du système de préchauffage de l'air neuf par l'huile à transmission a été de $1,65 \text{ kWh}_{\text{therm.}}$, soit 23 p. cent des besoins. En tenant compte de la distance parcourue et de la différence de température entre l'habitacle et la chambre climatique, la consommation électrique spécifique pour le chauffage de l'habitacle du véhicule modifié est de $0,00217 \text{ kWh}_{\text{cc}}/\text{km/}^\circ\text{C}$.

La baisse totale de la consommation électrique pour le chauffage est donc de l'ordre 33 p. cent par rapport à la voiture non modifiée sous une température ambiante de -20°C . La puissance moyenne du système de chauffage de l'air neuf par l'huile à transmission est de l'ordre de 850 W avec des pointes de $1\,300 \text{ W}$, ce qui confirme tout à fait les critères de conception. Une fois le moteur réchauffé (en équilibre thermique), la contribution moyenne du système de récupération sur l'huile à transmission est de l'ordre de 40 p. cent.

Le graphique suivant compare, pour une température ambiante de -20°C , l'évolution de la température de l'habitacle du véhicule non modifié et du véhicule modifié en fonction du temps d'utilisation. Au début de l'essai (figure 3.2), le véhicule modifié bénéficie d'un préchauffage électrique, ce qui explique que la température au départ y est de -2°C par rapport à -18°C pour l'autre.

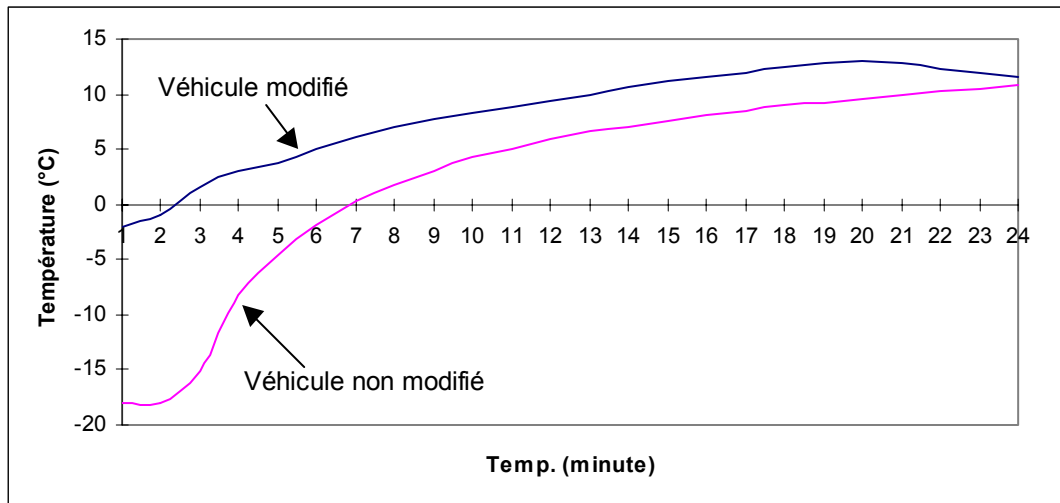


Figure 3.2 : Évolution de la température de l'habitacle au début du cycle d'utilisation du véhicule à -20°C

Chauffage des accus

Le chauffage des accus est assuré par des plaques chauffantes installées sous ces derniers. Les plaques chauffantes sont activées entre chaque essai, en même temps que la recharge des accus, pour simuler l'utilisation normale du véhicule. Des thermostats, en contact avec des accus témoins (deux par caisson de six accus et un par caisson de trois accus), coupent le chauffage dès que leur température dépasse environ 15 °C.

Sous une température ambiante de -20 °C, les plaques chauffantes maintiennent les accus à une température d'environ 12 °C à 15 °C. La consommation électrique des plaques chauffantes a été de 5,26 kWh, pour une période de 16,72 heures, c'est-à-dire le temps d'attente entre deux essais. Cela représente une puissance moyenne de chauffage de 315 W ou 10,5 W par accumulateur ou encore, 0,06 kWh/km ($3,75 \times 10^{-3}$ kWh/km/heure d'attente).

Préchauffage de l'habitacle

Deux chaufferettes électriques de 750 W, placées sous les deux sièges avants, assurent le préchauffage du véhicule. Un thermostat a été ajouté pour ne pas surchauffer inutilement l'habitacle par température plus douce. Le préchauffage de l'habitacle est activé seulement une heure avant le début des essais. L'énergie consommée au cours du préchauffage de l'habitacle est d'environ 1,5 kWh. Notez qu'il n'y a plus de préchauffage de l'habitacle une fois l'essai commencé (pas de préchauffage entre les séquences d'un essai).

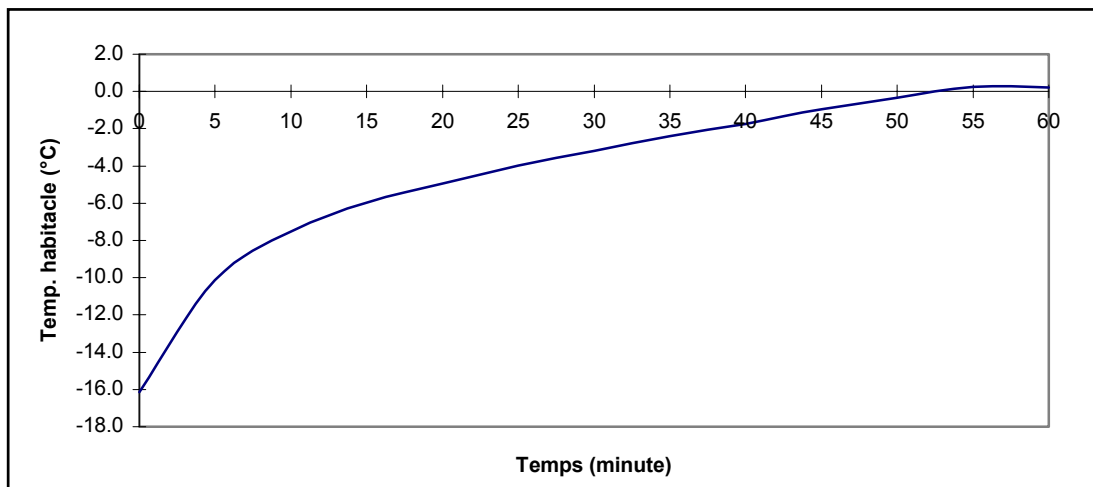


Figure 3.3 : Augmentation de la température de l'habitacle en mode préchauffage électrique

En 55 minutes de préchauffage, la température de l'habitacle n'a augmenté que de 16 °C, mais continue à augmenter de façon relativement constante (à la 55^e minute, on ouvre les portes pour préparer le début de l'essai). Pour atteindre une température d'environ 10 °C dans l'habitacle, il faudrait commencer le préchauffage deux heures avant le début de l'utilisation ou encore doubler la puissance des chaufferettes.

3.3.2- Véhicule modifié avec chauffage diesel

Sous une température ambiante de -20 °C et les accus à une température de 12 °C à 15 °C , l'autonomie du véhicule modifié avec chauffage diesel est de l'ordre de 100 km, soit une amélioration de l'autonomie de 30 km par rapport au véhicule non modifié.

Tableau 3.4 : Performance du véhicule modifié avec chauffage diesel sous -20 °C

Essais	Température accus avant l'essai (°C)	Température accus après l'essai (°C)	Énergie électrique recharge (kWh _{ca})	Distance parcourue (km)	Bilan (km/kWh _{ca})
1 (jour 5)	10,5	28,0	57	104,72	1,83
2 (jour 6)	10,6	26,3	57	94,6	1,66

Chauffage de l'habitacle avec la chaufferette diesel

Le chauffage de l'habitacle est assuré par la chaufferette diesel, lors des phases 1 et 2 de chaque séquence (à la phase 3 (attente) la chaufferette est désactivée). Malheureusement, la chaufferette ne semblait pas fonctionner correctement au cours de certaines séquences, ce qui était dû en fait à son long temps de démarrage ($\approx 5\text{ min.}$). Par contre, cela ne modifiait en rien l'autonomie du véhicule puisque que le conducteur n'utilisait pas la chaufferette électrique du véhicule pour compenser le manque de chaleur. Le graphique suivant montre, pour la phase initiale d'un essai, la variation de la température de l'habitacle, la température à la sortie de la conduite d'air chaud de la chaufferette et la variation du courant consommé par la chaufferette.

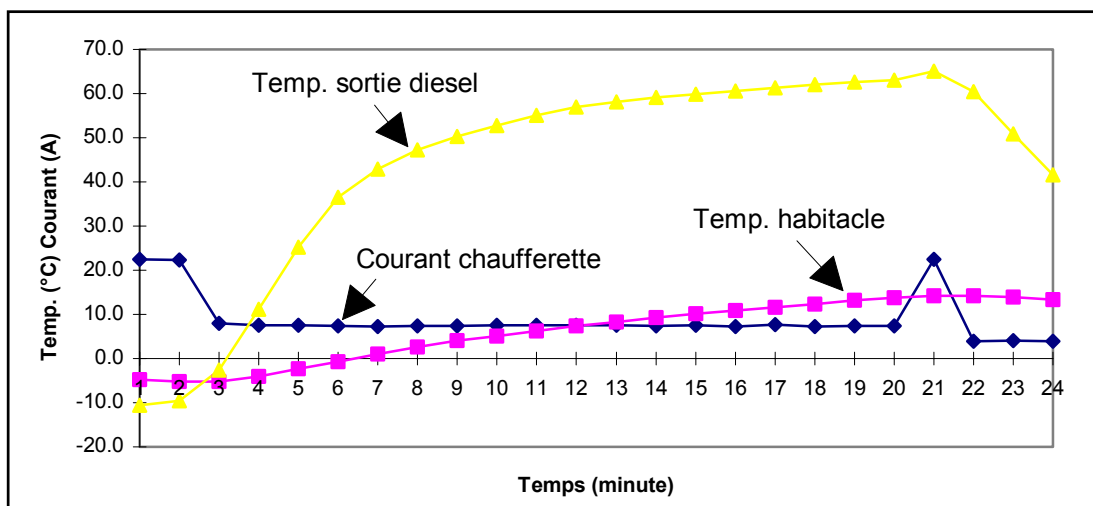


Figure 3.4 : Température de l'habitacle, température à la sortie de la conduite d'air, et courant consommé par la chaufferette diesel au début du cycle d'utilisation à -20 °C

3.4- Comparaison des résultats obtenus au cours des essais

L'amélioration de l'autonomie du véhicule modifié tout électrique, sous une température ambiante extérieure de -20°C , est de 12,5 km, tandis que l'amélioration de l'autonomie du véhicule modifié avec chauffage diesel est de 30 km. Il faut noter que la température initiale des accus était de -10°C au départ pour le véhicule non modifié. Si cette température avait été de -20°C , comme la température ambiante par exemple, l'augmentation de l'autonomie aurait été beaucoup plus importante.

Les essais sur dynamomètre au CEVA ont montré que l'autonomie du véhicule modifié tout électrique sous des conditions hivernales sévères (-20°C) est de 82,5 km, ce qui représente une autonomie égale ou très légèrement inférieure à l'autonomie qu'avait le véhicule à Dorval en été 1995. Les essais sur dynamomètre ont aussi montré que l'autonomie du véhicule modifié avec chauffage diesel, sous -20°C , est de 100 km, ce qui est équivalent et même supérieur à l'autonomie qu'avait le véhicule à Dorval à l'été de 1995.

Tableau 3.5 : Comparaison des performances au cours des essais sous -20°C

	Véhicule non modifié	Véhicule modifié chauffage électrique	Véhicule modifié chauffage diesel
Température accus ($^{\circ}\text{C}$)	début test : -10°C fin du test : $+13,5^{\circ}\text{C}$	début test : $+14^{\circ}\text{C}$ fin du test : $+27^{\circ}\text{C}$	début test : $+10,5^{\circ}\text{C}$ fin du test : $+27^{\circ}\text{C}$
Énergie élect. recharge moy. (ca)	54,5 kWh _{ca}	57,5 kWh _{ca}	57,0 kWh _{ca}
Énergie élect. fournie par accus (cc)	23,0 kWh _{cc}	28,2 kWh _{cc}	26,0 kWh _{cc}
Distance moy.	69,9 km	82,4 km augm. autonomie = 12,5	99,7 km augm. autonomie = 29,8
Bilan basé sur la recharge	1,28 km/kWh _{ca} 0,78 kWh _{ca} /km	1,43 km/kWh _{ca} 0,70 kWh _{ca} /km	1,75 km/kWh _{ca} 0,57 kWh _{ca} /km

(moyenne des deux jours)

Une grande différence de température des accus entre le début et la fin des test, telle que mesurée pour le véhicule non-modifié ($23,5^{\circ}\text{C}$), indique un taux d'efficacité moins bon au niveau des accus. De plus, l'énergie fournie par les accus dans le cas du véhicule non modifié est plus faible, ce qui s'explique par leur température plus basse d'opération.



4.- Modélisation informatique du modèle

À la phase 1 du projet, un modèle simple des besoins énergétiques du véhicule a été élaboré à partir des caractéristiques du véhicule. Ce modèle a ensuite été validé à l'aide des données de mesure prises à bord du véhicule lors d'essais au CEVA et pour quelques journées typiques d'utilisation à Dorval en 1994 et en 1995.

Ce modèle a permis de départager les besoins d'énergie électrique entre les accessoires, la traction et le chauffage pendant l'utilisation du véhicule. Grâce au modèle, nous avons évalué l'impact des différentes mesures sur la consommation électrique, donc sur l'autonomie du véhicule, qui ont été implantées dans le véhicule.

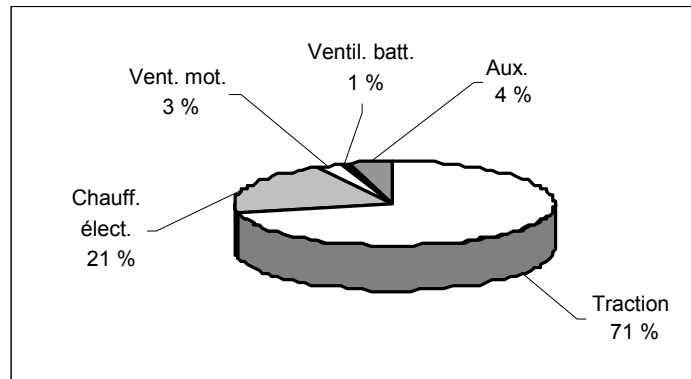


Figure 4.1 : Répartition de la consommation (véhicule en utilisation jour 355 ('95) sous -4 °C)

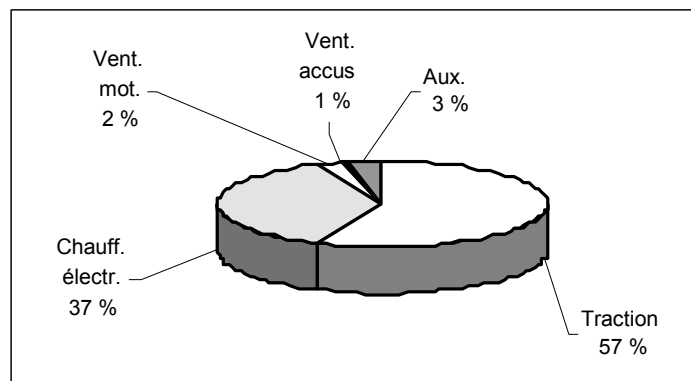


Figure 4.2 : Estimation de la répartition de la consommation pour une journée à -20 °C (température initiale des accus à -10 °C)

Le modèle utilise le même circuit routier que la journée typique (jour 355 '95) qui nous a servi pour valider le modèle. Le circuit routier est présenté dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Description du profil de vitesses modélisé

	Temps (min.)	Vitesse moyenne (km/h)	Vitesse max. (km/h)
Séquence 1 (Circuit urbain)	7	22	44
	3	0	0
	22	41	88
	7	0	0
	16	29	62
	49	0	0
	9	48	81
	31	0	0
	11	48	80
	3	0	0
	6	62	81
	8	0	0
	3	28	37
	8	0	0
On répète la séquence 1 jusqu'à épuisement des accus (selon le modèle)			

Durée de la séquence 1 : 183 min (\approx 3 h)

Vitesse moyenne de la séquence 1 : 16 km/h

4.1- Validation du modèle informatique

Le modèle a été validé par rapport aux résultats réels enregistrés au cours d'une journée typique d'utilisation à Dorval (voir tableau 4.2, jour 355 de 1995 et modèle).

Tableau 4.2 : Journée typique par rapport au modèle (temp. ext. -4 °C)

	Jour 355 (95) (résultats réels)	Modèle
Augm. de temp. des accus	de -6 à 11,5 °C	de -6 à 11,7 °C
Énergie élect. fournie par accus ¹	21,4 kWh	21,5 kWh
Énergie élect. recharge	44 kWh	<i>44 kWh</i> ²
Distance parcourue	49,7 km	50,7 km
Bilan basé sur l'énergie fournie par accus	2,32 km/kWh	2,35 km/kWh
Bilan basé sur la recharge	1,13 km/kWh	<i>1,15 km/kWh</i>

1 : L'énergie électrique fournie par accus représente l'énergie électrique totale utilisée par le véhicule au cours de son utilisation.

2 : Le rendement de la recharge étant de l'ordre de 48,6 p. cent (21,4 kWh/44 kWh) pour la journée 355, on peut estimer que la recharge est la même pour le modèle (l'italique indique que ces chiffres sont estimés).

Note : Le modèle n'a été validé qu'à une seule température extérieure soit -4 °C.

4.2- Comparaison des essais au CEVA par rapport au modèle

4.2.1- Véhicule non modifié

Tableau 4.3 : Véhicule non modifié (temp. ext. -20 °C)

	Essais	Modèle
Température accus	début test : -10 °C fin du test : +13,5 °C	début test : -10 °C fin du test : 0 °C
Énergie élect. fournie par accus (cc)	23,0 kWh _{cc}	20,3 kWh _{cc}
Énergie élect. recharge (ca)	54,5 kWh _{ca}	48,1 kWh _{ca} ¹
Distance parcourue	69,9 km	33,5 km
Bilan basé sur la recharge	1,28 km/kWh _{ca}	0,70 km/kWh _{ca}

1 : Basé sur un rendement de recharge de 42,2 p. cent par rapport à l'énergie fournie par accus (23 kWh/54,5 kWh).

On peut expliquer la différence d'autonomie entre le modèle, basé sur des résultats en situation réelle, et les essais au CEVA par :

1. Le fait que le dynamomètre n'ait pas compensé pour le changement de la densité de l'air à -20 °C (les essais sur dynamomètre sont prévus pour une température de +20 °C). L'air plus dense que l'on retrouve sous -20 °C provoque plus de résistance au déplacement du véhicule et plus particulièrement le TEVan qui n'est pas aérodynamique. En considérant que la densité de l'air à 20 °C est de 1,168 kg/m³, et de 1,405 kg/m³ à -20 °C, et que la force exercée par le vent est proportionnelle à la densité de l'air ($F = \frac{1}{2} \rho v^2$), on peut estimer à 20 p. cent la charge additionnelle du vent sur le véhicule.
2. La température des pneus est plus élevée sur le dynamomètre, car ils roulent sur deux cylindres qui s'échauffent très rapidement avec le temps (même si des ventilateurs sont disposés de façon à souffler l'air ambiant sur les rouleaux et les pneus). En situation réelle les pneus sont plus froids, car ils roulent sur le sol à -20 °C dans notre cas d'étude. Or, des pneus froids ont un coefficient de frottement beaucoup plus grand, de sorte que plus d'énergie est nécessaire pour parcourir la même distance.
3. Caractéristiques des accus modifiés au printemps 1997 (réajustement de la densité de l'électrolyte, remplacement d'environ six cellules dans le banc de batteries...)

L'autonomie générale du véhicule à -20 °C, déterminée à partir des essais sur dynamomètre au CEVA, ont donc plutôt tendance à surestimer l'autonomie du véhicule. Il serait souhaitable que des travaux de normalisation des essais à basse température puissent clarifier ce genre de question.

Une autre explication de la différence entre le modèle et les essais est la différence du cycle d'utilisation du véhicule. Les essais au CEVA sont faits selon le cycle de la norme SAE J1634, qui a été adopté par Transports Canada au cours du projet. Or, le modèle informatique utilise un cycle typique d'utilisation réelle, la journée 355 de 1995 à Dorval dont les données seconde par seconde seraient trop longues à modifier.

Le cycle d'utilisation à Dorval est exclusivement un «circuit urbain» avec beaucoup d'arrêt et de départ (consulter le tableau 4.1). Au CEVA, une portion du cycle se fait sur «circuit intermédiaire» donc moins sévère sur la consommation. Le cycle à Dorval est ponctué d'arrêts dont un de 49 minutes, ce qui laisse le temps aux accus de refroidir, surtout dans les bacs non isolés (avant modifications). Le circuit routier a donc une influence importante sur la température des accus et par conséquent sur l'autonomie du véhicule.

4.2.2- Véhicule modifié tout électrique

Tableau 4.4 : Véhicule modifié chauffage électrique (temp. ext. -20 °C)

	Essais	Modèle
Température accus	Début test : +14 °C Fin du test : +27 °C	début test : +14 °C fin du test : +27,8 °C
Énergie élect. fournie par accus (cc)	28,2 kWh _{cc}	28,1 kWh _{cc}
Énergie élect. recharge (ca)	57,5 kWh _{ca}	57,3 kWh _{ca} ¹
Distance parcourue	82,4 km	56,5 km
Augm. autonomie	12,5 km	23 km
Bilan (basé sur la recharge)	1,43 km/kWh _{ca}	0,99 km/kWh _{ca}

1 : Basé sur un rendement de recharge de 49,0 p. cent par rapport à l'énergie fournie par accus (28,2 kWh_{cc}/57,5 kWh_{ca}).

Le modèle prévoit, pour les conditions du test au CEVA, une augmentation de l'autonomie de 23 km. Les résultats au CEVA sont nettement plus conservateurs avec une augmentation de l'autonomie de seulement 12,5 km. Le modèle surestime l'augmentation de l'autonomie du véhicule modifié tout électrique lorsque la température ambiante est de l'ordre de -20 °C.

L'augmentation de la température des accus est la même que celle prévue par le modèle.

4.2.3- Véhicule modifié avec chauffage au diesel

Tableau 4.5 : Véhicule modifié chauffage diesel (temp. ext. -20 °C)

	Essais	Modèle
Température accus	début test : +10,5 °C fin du test : +27 °C	début test : +10,5 °C fin du test : +26,5 °C
Énergie élect. fournie par accus (cc)	26,0 kWh _{cc}	26,8 kWh _{cc}
Énergie élect. Recharge (ca)	57 kWh _{ca}	58,1 kWh _{ca} ¹
Distance parcourue	100,0 km	67,0 km
Augm. autonomie	30,0 km	33,5 km
Bilan (basé sur la recharge)	1,75 km/kWh _{ca}	1,14 km/kWh _{ca}

1 : Basé sur un rendement de recharge de 45,6 p. cent par rapport à l'énergie électrique consommée.

Le modèle prévoit, pour les conditions du test au CEVA, une augmentation de l'autonomie de 33,5 km. Les résultats au CEVA sont à peu près semblables avec une augmentation de l'autonomie de 30 km. L'énergie électrique fournie par les accus a été bien modélisée avec une différence de seulement 3 p. cent entre les deux résultats. Le modèle a bien simulé l'augmentation de la température des accus avec une erreur de seulement 3 p. cent.

4.2.4- Conclusion

Le modèle informatique a été précis pour estimer l'énergie électrique fournie par les accus lors des essais 2 et 3 au CEVA.

- 1- Véhicule non modifié : l'erreur est de 12 p. cent par rapport au résultat de l'essai
- 2- Véhicule modifié tout électrique : l'erreur est de 0 p. cent
- 3- Véhicule modifié avec chauffage diesel : l'erreur est de 3 p. cent

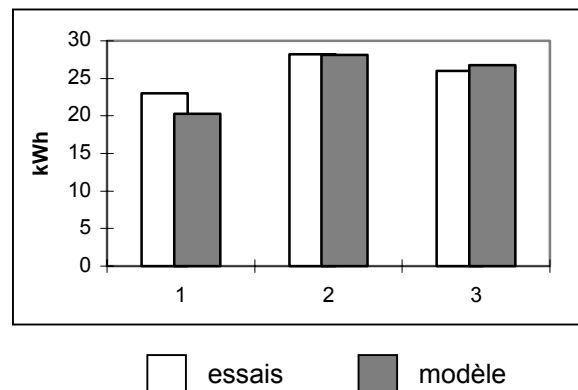


Figure 4.3 : Énergie électrique fournie par les accus

L'augmentation de la température des accus en cours d'utilisation est très bien modélisée sauf aux très basses températures (pour les caissons à accus non isolés). Lorsque la température initiale des accus est de -10 °C (cas des essais du véhicule non modifié), le modèle sous estime l'augmentation de la température des accus. Cela s'explique en partie par le cycle moins intense d'utilisation du modèle.

- 1- Véhicule non modifié : Taccus au départ de -10 °C , erreur est de 57 p. cent
- 2- Véhicule modifié tout électrique : Taccus au départ, erreur est de 6 p. cent
- 3- Véhicule modifié avec chauffage diesel : l'erreur est de 3 p. cent

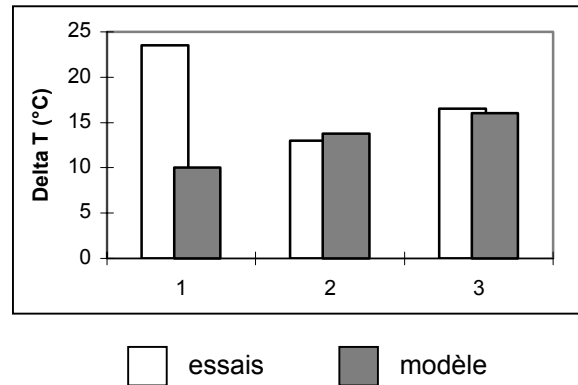


Figure 4.4 : Augmentation de la température des accus en cours d'utilisation

Le modèle, basé sur des résultats en situations réelles, sous-estime l'autonomie générale du véhicule par rapport aux essais du CEVA et plus particulièrement à basse température. L'analyse comparée des résultats obtenus et du modèle informatique fait ressortir les points suivants :

1. Le dynamomètre n'est pas compensé pour le changement de la densité de l'air à -20 °C . Les essais sur dynamomètre sont prévus pour une température de $+20\text{ °C}$. L'air plus dense que l'on retrouve sous -20 °C provoque plus de résistance au déplacement du véhicule augmentant alors sa consommation. Puisque la force exercée par le vent est proportionnelle à sa densité, on peut estimer à 20 p. cent la charge additionnelle du vent à -20 °C sur le véhicule.
2. La température des pneus a une grande influence sur l'autonomie du véhicule; plus ils sont froids, plus le coefficient de frottement est grand, de sorte que plus d'énergie est nécessaire pour parcourir la même distance. En situation réelle, les pneus roulent sur le sol qui est à une température égale à la température ambiante (-20 °C dans ce cas). Lors des essais au CEVA, les pneus roulaient sur deux cylindres qui s'échauffe avec le temps.
3. Le modèle est basé sur un circuit routier de ville avec beaucoup d'arrêt et de départ, tandis que les essais du CEVA sont basés sur le test dynamique SAE J 1634 comprenant un «circuit intermédiaire» moins sévère sur la consommation.

Le modèle a bien estimé l'augmentation de l'autonomie du véhicule modifié avec chauffage diesel.

5.- Résultats en situations réelles

Suite aux essais au CEVA, le véhicule a été utilisé et évalué en conditions réelles du 5 mars au 23 avril 1998.

5.1- Utilisation du véhicule

Le véhicule a surtout été utilisé sur un parcours du type suivant :

- 1 aller de 21 km le matin après débranchement du chargeur des accus (dont 15 km d'autoroute);
- 2 à 3 km sur l'heure du midi;
- retour de 21 km en plus de quelques courses locales (dont 15 km d'autoroute).

Le système de chauffage pour accus n'était branché que si la température extérieure était inférieure à environ 0 °C. Le chauffage de l'habitacle était en permanence assuré par la chaufferette diesel. Le préchauffage de l'habitacle par les deux chaufferettes électriques n'a jamais été utilisé au cours de cette évaluation.

Contrairement aux essais, le véhicule n'était généralement pas utilisé jusqu'à épuisement complet des accus. Par contre, afin de vérifier l'autonomie générale du véhicule modifié en période hivernale, le véhicule a été utilisé à deux reprises jusqu'à épuisement des accus (on a utilisé le véhicule jusqu'à ce que le système LVD (Low Voltage Disconnect) s'active à plusieurs reprises.

5.2- Autonomie

La distance parcourue par le véhicule modifié avec chauffage diesel, sous des températures extérieures moyennes de -12 °C et des nuits entre -15 °C et -18 °C, était de l'ordre de 50 à 73 km sans que l'indicateur n'indique de basse tension au niveau des accus (indication «low batt.»). L'autonomie du véhicule est donc supérieure à ces distances.

Deux essais complémentaires ont été faits pour déterminer l'autonomie totale du véhicule en hiver. Sous une température moyenne de -4 °C, la distance totale parcourue par le véhicule, jusqu'à épuisement complet des accus, a été de 89 km (16 mars). Curieusement l'indication «low batt.» s'est allumée avec seulement 60 km de parcouru.

Dans l'autre essai, l'autonomie du véhicule a été de 90 km avec une température extérieure moyenne de 4 °C (26 mars). L'indication «low batt.» s'est allumée après 87 km de parcouru, ne laissant pas de marge de manœuvre pour revenir à la station de recharge. Il est à noter qu'à partir du 23 mars, des problèmes avec la recharge du véhicule sont survenus assez régulièrement.

On peut conclure que le véhicule modifié avec chauffage diesel, utilisé sous une température extérieure de -4 °C, a une autonomie équivalente à celle du véhicule non modifié utilisé en été (≈ 85 à 90 km).

5.3- Recharge des accus

Entre le 5 et le 22 mars 1998, période au cours de laquelle aucun problème de recharge n'est survenu, le véhicule a parcouru 961 km pour 556 kWh_{ca} de consommé pour satisfaire la recharge des accus. Le rapport entre la distance parcourue et l'énergie à la recharge a donc été de 1,73 km/kWh_{ca} (0,58 kWh_{ca}/km). Ce rapport confirme le bilan de 1,75 km/kWh_{ca} obtenu lors des essais du véhicule modifié diesel au CEVA et présenté au tableau 4.5. Il est à noter que la température ambiante au CEVA était de -20 °C par rapport à des températures variant de 0 °C à -12 °C en situation réelle. Ces résultats confirment que les essais sur dynamomètre sous une température de -20 °C tendent à être plus optimistes que la réalité.

5.4- Chauffage des accus

La consommation des plaques chauffantes pour le chauffage des accus est de l'ordre de 4 kWh à -14 °C pour une période d'attente de 14 heures, ce qui représente une puissance moyenne de 290 W. Sous une température de -4 °C et une même période d'attente, la consommation électrique des plaques chauffantes baisse à 2 kWh, ou 140 W.

Les résultats confirment ceux obtenus au CEVA. Sous -20 °C, la consommation des plaques chauffantes a été de 5,26 kWh pour une période d'attente de 17 heures, ou 315 W en continu.

5.5- Points positifs

Le véhicule a été utilisé en conditions réelles d'utilisation d'un banlieusard avec un total de 1 600 km parcourus. Pendant toute la première partie d'utilisation (avant les problèmes de chargeur) le véhicule a toujours roulé sur route salée - humide, a vécu 2 tempêtes de neige et une de grésil. Aucune panne majeure n'a empêché le véhicule de rentrer à son «port d'attache». La température moyenne d'utilisation était autour de 0 °C et il y a eu 2 périodes avec des nuits à moins de -12 °C.

Le véhicule a des performances satisfaisantes mises à part les caractéristiques propres au véhicule qui donnent au conducteur un sentiment de lourdeur, sa transmission «raide à utiliser», sa suspension «type camion» à améliorer, l'action de la pédale d'accélérateur à réviser, les démarrages en côte très brusques. Les accélérations et la vitesse de pointe (> 110 km/h) permettent à l'utilisateur de s'insérer dans le trafic normal de circulation et de tenir la voie de gauche sur les autoroutes urbaines. Le sentiment de conduite même avec la faible efficacité du frein moteur, est agréable dans les embouteillages (accélération/ralentissements/arrêts).

L'élément le plus apprécié est la chaufferette diesel qui permet rapidement d'avoir de la chaleur, tout en se contentant de 2 à 3 litres de carburant diesel par semaine par des températures de l'ordre de -5 °C. Elle peut être utilisée lorsque le véhicule est à l'arrêt en attente «sans le gaspillage de laisser un moteur tourner au ralenti». La chaufferette installée s'est avérée fiable, d'une puissance suffisante avec l'isolation de l'habitacle renforcée et le débit d'air neuf limité. Il faut cependant veiller à ne jamais mettre le réservoir en panne sèche. Son thermostat n'a jamais été utilisé à plus du quart de sa course pour maintenir un bon niveau de confort, même les matinées à moins de -12 °C.

La combinaison de la chaufferette en mode recirculation d'air intérieur avec le débit d'air neuf minimum maintenu a été suffisante pour tenir le pare-brise libre de buée ou de givre. Pendant deux tempêtes de neige ou de verglas, on a pu observer sur des trajets de 10 km environ qu'il suffisait d'actionner 2 à 3 opérations de 30 s du système de dégivrage électrique du pare-brise à ventilation et chauffage maximum (250 CFM, 5 kW) pour maintenir une bonne visibilité du pare-brise, même avec 3 passagers à bord.

Enfin, à l'utilisation, nous avons pu confirmer qualitativement les très bonnes performances du système de récupération thermique sur l'huile de transmission (40 p. cent des besoins de chauffage à -20 °C une fois le cycle stabilisé en température ou jusqu'à 1 300 W de puissance). Ce système était suffisant pour permettre de couper la chaufferette diesel au bout de moins de 5 km parcourus sur l'autoroute par une température de -5 °C. Toutes les journées autour de cette température et avec une moyenne luminosité seulement (pas forcément ensoleillement), nous n'avons jamais eu besoin d'activer le système de chauffage, ce qui est probablement aussi dû à l'isolation thermique qui renforce l'efficacité de l'effet de serre par les vitres du véhicule.

La chaufferette a montré des caractéristiques de combustion sans particules : à l'arrêt, lorsque la chaufferette fonctionnait avec le tuyau d'échappement dirigé dans la neige fraîche, celle-ci fondait mais restait parfaitement blanche même au bout de 10 minutes.

5.6- Points à améliorer

L'indicateur du niveau de recharge à bord du véhicule semble peu fiable, surtout en cas de recharge partielle, qui enlève probablement une référence fiable «d'état de pleine charge».

Le MCU est trop sophistiqué en mode recharge et deux points trop sensibles doivent être améliorés :

1. La détection de mises à la terre de composants externes mais «affleurant» la carrosserie du véhicule est-elle nécessaire pour assurer la sécurité des utilisateurs?
2. Le système de blocage de recharge en cas de surchauffe des batteries n'est pas fiable et cause des pannes indésirables (ajouter une possibilité de «by-pass» manuel en cas de simple sonde de température défectueuse, mais qui rend le véhicule totalement inapte à l'utilisation alors que les dangers de surchauffe en hiver sont inexistantes)

Malgré les mesures implantées, le remplissage des accus n'est pas faisable à l'extérieur par temps très froid (< -10 °C) ne serait-ce que parce que les tuyaux extérieurs de la maison sont gelés. Le système proposé par le fabricant est lourd encombrant et sale à l'utilisation (avez-vous déjà manipulé un boyau d'arrosage par -5 °C dans la gadoue salée, en vous mouillant en plus parce qu'il faut le purger de l'air qu'il contient?). Vu les quantités utilisées (1 gallon par semaine), il serait plus simple d'embarquer à bord du véhicule un contenant d'eau déminéralisée préalablement chauffée au micro-onde par exemple, pour le temps de remplissage, que l'on pourrait directement verser dans le bassin d'égalisation des pompes sans passer par le système de flotteur et tuyauterie.

Le système de tuyauterie d'alimentation en eau des batteries doit être révisé dans toutes les parties latérales et avant du banc de batterie, là où il peut se former un amas de glace et de neige, dans la trajectoire des éclaboussures de roues. Il en va de même pour les fils électriques. En effet, des bris à moyen terme sont à prévoir, car des blocs de plusieurs kilos de neige durcie regelée, une fois détachés de la carrosserie réchauffée, pendent, accrochés à ces tuyaux et fils et les soumettent à des étirements au rythme des vibrations de la route.

Malgré la puissance de ventilation réduite, le véhicule est assez bruyant en mode recharge pour une zone résidentielle et attire la curiosité des promeneurs (bruit de transformateur haute tension, gargouillis impressionnants en fin de recharge ou lorsque les batteries sont bien pleines d'eau). Nous ne parlons pas de l'opération de remplissage des batteries avec la batterie de 5 pompes péristaltiques qui se mettent en branle pour 15 minutes.

6.- Conclusion

Le tableau 6 fait le bilan des résultats des essais au CEVA.

Tableau 6.1 : Bilan récapitulatif des résultats des tests à -20 °C
(données spécifiques obtenues au CEVA)

	Véhicule non modifié	Modification 100 % électrique	Modification opération de chaufferette diesel
Poids avec chauffeur	2 423 kg	2 452,4 kg (+ 29,4 kg ou + 1,2 %)	2 452,4 kg (+ 29,4 kg ou + 1,2 %)
Consommation chauffage électrique à bord (kWhcc)	3,24 10⁻³ kWh/km.°C	2,17 10⁻³ kWh/km.°C (-33 %) <small>-13 % contról. ventilation + isolation -20 % récupér. thermique sur huile</small>	1,51 10⁻³ kWh/km.°C (-53 %) <small>incluant chaufferette diesel (récupér. Sur huile utilisée)</small>
Autonomie	69,9 km	82,4 km (+ 12,5 km ou + 18 %)	99,7 km (+ 29,8 km ou + 43 %)
Température moyenne maintenue dans l'habitacle (°C)	+ 8°C	+10,5 °C	+10,5 °C
Bilan spécifique basé sur la recharge des accus seulement	1,28 km/kWh	1,43 km/kWh (+12 %)	1,75 km/kWh (+ 37 %)
Bilan spécifique basé sur la consommation totale sur le réseau ca	1,28 km/kWh	1,28 km/kWh	1,56 km/kWh (+22 %)
Consommation de la recharge seule (kWhca)	0,78 kWh/km	0,70 kWh/km (-10 %)	0,57 kWh/km (-27 %)
Consommation préconditionnement des accus (kWhca)	n/a	0,064 kWh/km <small>(3,75 10⁻³ kWh/km.heure d'attente) Puissance moyenne : 315 W</small>	0,059 kWh/km <small>(2,9 10⁻³ kWh/km.heure d'attente) Puissance moyenne : 288 W</small>
Consommation préconditionnement de l'habitacle (kWhca)	n/a	0,018 kWh/km 1,5 kW x 1 h	0,015 kWh/km 1,5 kW x 1 h
Consommation totale sur le réseau ca	0,78 kWh/km	0,78 kWh/km	0,65 kWh/km - 0,13 kWh/km
Différence équivalente en mazout <small>(8 kWh/l de chauffage à 75 % d'efficacité)</small>			0,016 litre/km¹ ou 1,6 l / 100 km

1 : valeur calculée

Poids

Les modifications apportées au véhicule ont augmenté son poids de 30 kg (65 lbs).

Autonomie basée sur les essais au CEVA

Le but des essais au CEVA était de simuler une recharge typique et une utilisation typique du véhicule en hiver, avant et après les modifications, de façon à quantifier l'augmentation de l'autonomie du véhicule.

Le véhicule a été testé sur dynamomètre en utilisant le profil de vitesses de la norme SAE J1634 sous une température ambiante de -20 °C, en maintenant l'habitacle à environ 12 °C. La température initiale des accus était de -10 °C pour le véhicule non modifié, et de 12 °C à 15 °C pour le véhicule modifié.

- 1- Véhicule non modifié : autonomie de 70 km
- 2- Véhicule modifié tout électrique : autonomie de 82,5 km (augm. auton. de 12,5 km)
- 3- Véhicule modifié avec chauffage diesel : autonomie de 100 km (augm. auton. de 30 km)

Autonomie basée sur les essais en situation réelle

L'utilisation du véhicule modifié avec chauffage diesel, en situation réelle entre le 5 mars et le 23 avril 1998, tend à confirmer une autonomie dépassant 75 à 80 km en période hivernale pour des températures supérieures à -10 °C. Le véhicule a parcouru des distances de 50 à 73 km, sous -12 °C, sans que l'indicateur n'indique de basse tension au niveau des accus. Des test complémentaires ont montré une autonomie de 90 km sous une température de -4 °C en situation réelle comparé à 100 km sous -20 °C au cours des essais.

Modèle

L'autonomie générale du véhicule, déterminée à partir des essais au CEVA, est nettement supérieure à son autonomie en situation réelle à Dorval à l'été de 1995. Le modèle, basé sur l'autonomie à Dorval, sous-estime donc aussi l'autonomie du véhicule par rapport aux essais du CEVA. On peut expliquer cette différence par les points suivants :

- 1- Les essais sur dynamomètre sont prévus pour une température de +20 °C. L'air plus dense que l'on retrouve sous -20 °C provoque plus de résistance au déplacement du véhicule augmentant alors sa consommation. Puisque la force exercée par le vent est proportionnelle à sa densité, on peut estimer à 20 p. cent la charge additionnelle du vent à -20 °C sur le véhicule.
 - 2- La température des pneus a une grande influence sur l'autonomie du véhicule; plus ils sont froids, plus le coefficient de frottement est grand, de sorte que plus d'énergie est nécessaire pour parcourir la même distance. En situation réelle, les pneus roulent sur le sol qui est à une température égale à la température ambiante (-20 °C dans notre cas d'étude). Lors des essais au CEVA, les pneus roulaient sur deux cylindres qui s'échauffent avec le temps.
 - 3- Le modèle est basé sur un circuit routier urbain avec beaucoup d'arrêts et de départs, tandis que les essais du CEVA sont basés sur le test dynamique SAE J 1634 comprenant un «circuit intermédiaire» moins sévère sur la consommation.
-

Répartition de la consommation électrique au cours des essais au CEVA à -20 °C

Connaissant la consommation électrique totale et la consommation des principaux équipements (chauffage électrique, ventilation des accus et du moteur), et en supposant que la consommation des équipements auxiliaires est constante et égale à 4 p. cent de la consommation totale (pour tous les essais au CEVA), nous avons pu déterminer l'énergie motrice requise pour faire avancer le véhicule non modifié et le véhicule modifié.

Il est à noter que l'énergie requise pour le chauffage de l'habitacle comprend le ventilateur à air pulsé. L'énergie auxiliaire comprend les lumières et les témoins lumineux de la console, la pompe à huile à transmission, la pompe à vide, le moteur de la direction assistée et la consommation électrique du système d'acquisition de données.

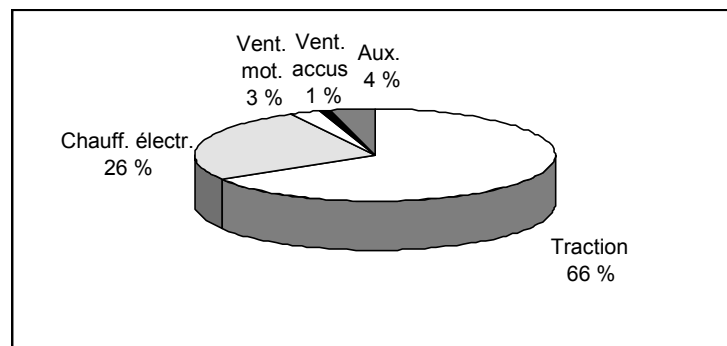


Figure 6.1 : Véhicule non modifié

L'énergie motrice utilisée par le véhicule non modifié pour parcourir 70 km sous -20 °C sur dynamomètre au CEVA, a été de 16,1 kWh, soit 66 p. cent de la consommation totale.

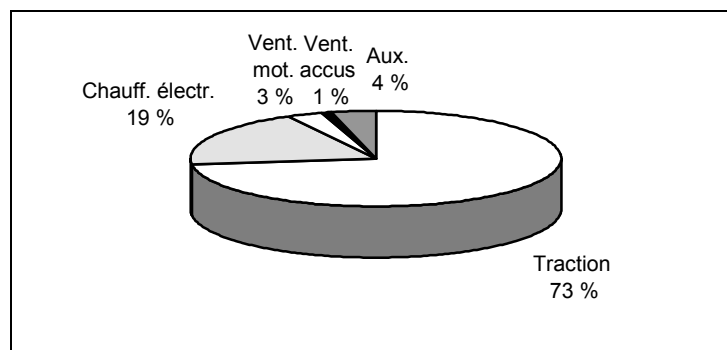


Figure 6.2 : Véhicule modifié tout électrique

L'énergie motrice consommée par le véhicule modifié tout électrique pour parcourir 82,5 km sous -20 °C sur dynamomètre au CEVA, a été de 20,6 kWh, soit 73 p. cent de la consommation totale.

L'isolation de l'habitacle, le préchauffage électrique de l'habitacle, la récupération de chaleur sur l'huile à transmission et une meilleure gestion ont fait en sorte que la charge de chauffage électrique du véhicule est passée de 26 p. cent à 19 p. cent de la consommation totale du véhicule.

Les essais au CEVA ont montré que la récupération de chaleur sur l'huile à transmission couvre 23 p. cent des besoins thermiques de l'habitacle du véhicule modifié pour une température extérieure de -20 °C, ce qui correspond à nos projections.

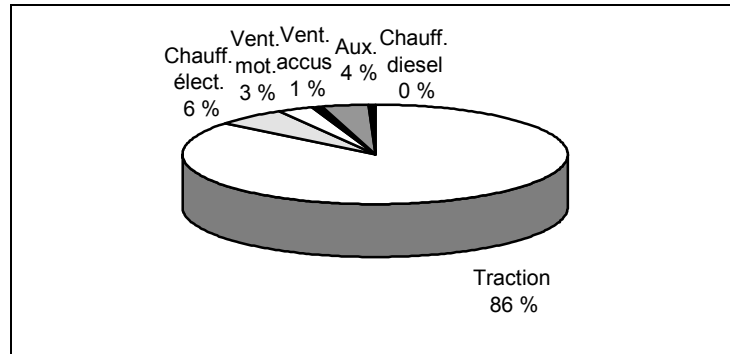


Figure 6.3 : Véhicule modifié avec chauffage diesel

L'énergie motrice utilisée par le véhicule modifié avec chauffage diesel pour parcourir 100 km sur dynamomètre au CEVA sous -20 °C a été de 22,3 kWh, soit 86 p. cent de la consommation totale.

La charge électrique de chauffage n'est plus que de 6 p. cent du total (1,54 kWh) et représente l'énergie consommée par le système de ventilation à air pulsé de l'habitacle. La charge électrique de la chaufferette diesel est négligeable avec 0,45 p. cent (0,12 kWh) de la consommation totale du véhicule lors de son utilisation.

Alimentation électrique ac requise par le véhicule

Le véhicule non modifié n'utilise de l'énergie ac que pour la recharge des accus.

Le véhicule modifié, en mode tout électrique et en mode chauffage diesel, utilise de l'énergie ac pour la recharge des accus, pour le préchauffage de l'habitacle et pour le chauffage des accus. Deux chaufferettes assurent le préchauffage de l'habitacle et des plaques chauffantes maintiennent les accus aux environs de 15 °C par temps froid.

La consommation des chaufferettes électriques de 750 W, activées seulement une heure avant le début des essais, est d'environ 1,5 kWh. Le préchauffage de l'habitacle n'a pas un impact important sur l'autonomie du véhicule, mais plus au niveau du confort de l'utilisateur.

Les plaques chauffantes sont activées entre chaque utilisation du véhicule, en même temps que la recharge des accus. Des thermostats coupent le chauffage dès que la température des accus dépasse environ 15 °C. Sous une température ambiante de -20 °C, la consommation électrique des plaques chauffantes a été de 5,3 kWh pour une période d'attente de 17 heures. Le bilan global du véhicule modifié présente dans le tableau suivant est basé sur ces valeurs.

Tableau 6.2 : Bilan du véhicule non modifié et modifié selon les deux configurations (selon les essais au CEVA sous -20 °C)

	Véhicule non modifié	Véhicule modifié tout électrique	Véhicule modifié chauff. diesel
Autonomie (km)	69,9	82,4	99,7
Recharge des accus (kWh _{ca})	54,5	57,5	57
Préchauff. de l'habitacle (kWh _{ca})	0	1,5	1,5
Chauff. des accus (kWh _{ca})	0	5,3	5,3
Énergie ca consommée (kWh _{ca})	54,5	64,3	63,8
Bilan basé sur la recharge (km/kWh _{ca})	1,28	1,43	1,75
Bilan basé sur l'énergie ca total (km/kWh _{ca})	1,28	1,28	1,56
	(kWh _{ca} /km)	0,78	0,64

Les bilans globaux montrent que le véhicule modifié n'est pas pénalisé par rapport au véhicule non modifié même en ajoutant des charges ac. La meilleure performance est obtenue avec le véhicule modifié avec chauffage diesel avec un bilan de 1,56 km/kWh_{ca total}, soit 22 p. cent supérieur au véhicule non modifié.

Il est donc très intéressant de noter que tous les systèmes de préconditionnement électrique du véhicule n'ont pas pénalisé le bilan global au km par rapport à l'énergie soutirée du réseau. En fait, dans le cas du véhicule modifié tout électrique, on compense exactement le surplus d'énergie soutirée par un gain en km supplémentaires d'autonomie.

ANNEXE 1

DESCRIPTION DES SOLUTIONS IMPLANTÉES DANS LE VÉHICULE TEVAN



Description des solutions implantées dans le véhicule TEVan

1- Isolation thermique renforcée de l'habitacle

Ajout de 13 mm (1/2 po) d'isolant de type uréthane sur les parois intérieures de la carrosserie au niveau de l'habitacle. La résistance thermique de l'habitacle (incluant vitrage) passe de 73 W/°C à 48 W/°C.

Tableau 1 : Matériaux et fournisseurs

Matériaux (quant.)	Description	Manufacturier / Fournisseur
Isolation de la carrosserie	- 13 mm min. (1/2 po) de mousse d'uréthane giclée) - pose de l'isolant Poids : 6 kg	Les Isolations Gariépy enr. 33, Rouiller CP 24 St-Philippe, Qc JOL 2K0 Tél.: (514) 659-4914

2- Modification du contrôle de la ventilation, du chauffage et de la climatisation de l'habitacle

2.1- Utilisation du sélecteur de la vitesse de ventilation

Le sélecteur de la vitesse de ventilation ne peut être déplacé qu'à la position «OFF» ou à la position 1 (les 3 autres positions sont désactivées). Par contre, même à la position 1 du sélecteur, il est possible d'activer la vitesse 1 ou la vitesse 2 du ventilateur. Cela se fait par l'intermédiaire d'un double interrupteur placé sous le capot, sur le mur coupe feu, près de la conduite d'air servant à la récupération de chaleur de l'huile à transmission. Il est prévu de commencer par utiliser la vitesse 1 du ventilateur. Si l'expérience montre que la vitesse 1 n'est pas suffisante, on utilisera alors le double interrupteur pour que la vitesse 2 du ventilateur soit activée lorsque la position 1 est sélectionnée.

À la position 1 du ventilateur, le débit d'air devra éviter, la plupart du temps, les risques de condensation sur le vitrage intérieur du véhicule et devra suffire au besoin chauffage par température moyennement basse.

Pour contrer le givrage qui peut survenir pour des conditions plus sévères (ou pour éliminer la glace sur le pare-brise) et pour de très basses températures, on pourra sélectionner la vitesse de ventilation maximum par l'intermédiaire d'un bouton «HI MANUEL» sur délai temporisé (position 4) qui active également la puissance de chauffage maximum (incluant la récupération de chaleur sur l'huile). Après deux minutes (le temps de fonctionnement à «HI MANUEL» pourra éventuellement être augmenté à quatre minutes selon l'expérimentation), la vitesse de ventilation revient automatiquement à la vitesse correspondant à la position 1. Le bouton «HI MANUEL» est placé sur le contrôleur de la ventilation / chauffage, sous «HI» de la manette de sélection de la vitesse de ventilation.

2.2- Utilisation du sélecteur de puissance et récupération de chaleur

On récupère la chaleur disponible dans l'huile à transmission en la faisant passer à travers deux échangeurs huile/air qui sert au préchauffage de l'air neuf de ventilation. Ces échangeurs sont installés sous le capot, sur l'aile droite (position par rapport au conducteur). Une conduite d'air achemine l'air préchauffé vers l'entrée du système de chauffage.

Des tests en chambre froide ont montré, pour une température ambiante de -20 °C, que la puissance thermique **potentielle** récupérable est d'environ 1,8 kW. La température de l'huile mesurée au cours du test était de 14 °C à l'entrée de l'échangeur et de 8 °C à sa sortie. La température de l'air à la sortie de l'échangeur était d'environ 1 °C pour un gain de 21 °C.

Le préchauffage par l'huile à transmission est contrôlé par deux valves de dérivation activées par l'utilisateur par sélection du bouton «Heat-A/C Lever» (sélecteur de puissance) vers «HEAT». Si le sélecteur de puissance est placé à la position «LO» et que le sélecteur de la vitesse de ventilation est placé à la position 1, l'habitacle n'est chauffé qu'à partir de l'huile à transmission (Réc. Huile entre 0 et 1,5 kW ; le véhicule doit avoir roulé quelques km pour que de la chaleur soit générée dans le circuit d'huile à transmission).

Si le sélecteur de puissance est placé à la position «MEDIUM» ou «HI» le préchauffage est complété par l'activation du système de chauffage électrique du véhicule. Pour plus de puissance, il est possible d'activer le bouton «HI MANUEL» sur délai temporisé. La ventilation maximum et la puissance de chauffage maximum sont alors activées. Si le bouton «Defrost» est activé, la puissance de chauffage est limitée à 5 kWe et le système A/C est activé. Le tableau suivant montre la puissance thermique disponible en fonction de la position du sélecteur.

Tableau 2 : Puissance thermique disponible

Position du sélecteur de puissance	Ventilation Min. (position 1 ou 2)	Ventilation Max. ¹ (position 4)
LO	Réc. Huile (RH)	--
MED	2 à 2,5 kWe + RH	--
HI	4 à 5,0 kWe + RH	--
HI MANUEL		8,8 kWe + RH
HI MANUEL+DEFROST	--	5,0 kWe + RH + A/C

1: Après activation du bouton «HI MANUEL» (pour une période de 2 à 4 minutes). Si le bouton «Defrost» est activé, la puissance de chauffage est limitée à 5 kWe et le système A/C est activé. Un contrôle thermostatique assure qu'il n'y est pas de surchauffe au niveau de l'huile.

Figure 1 : Schéma de principe de la récupération de chaleur au niveau de l'huile à transmission par action sur le circuit hydraulique

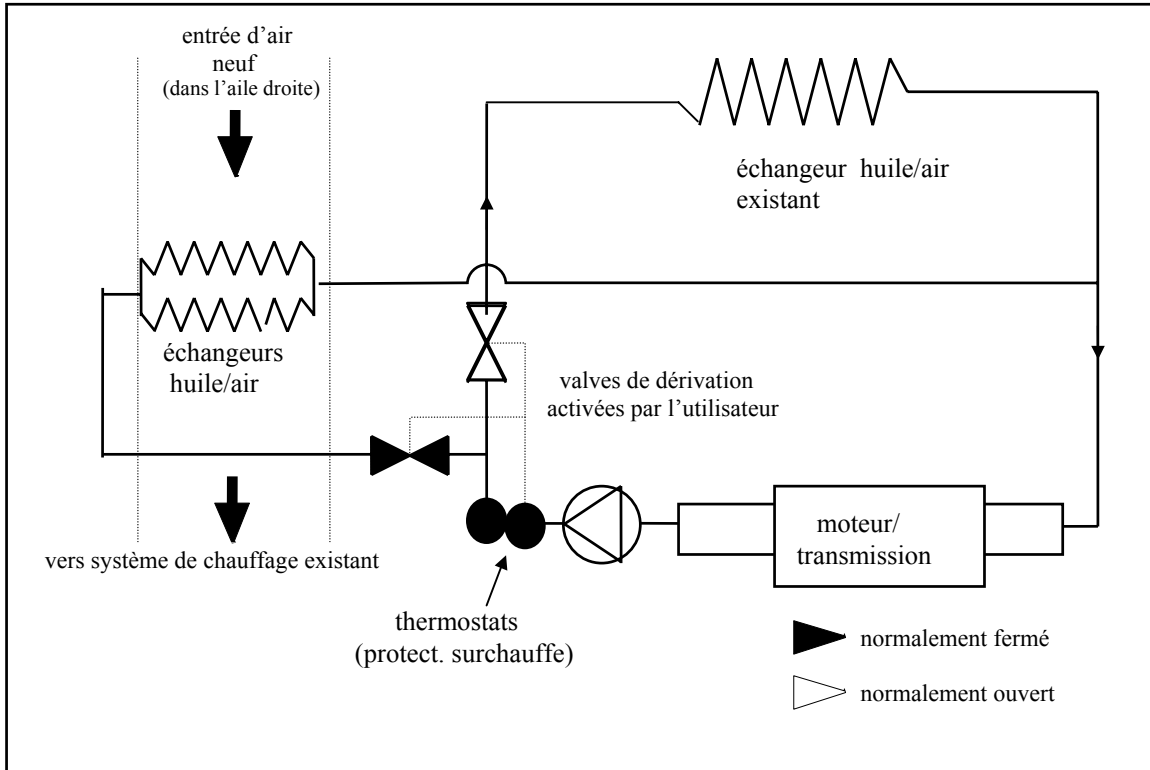


Figure 2 : Intégration de l'échangeur à l'huile sur l'aile droite

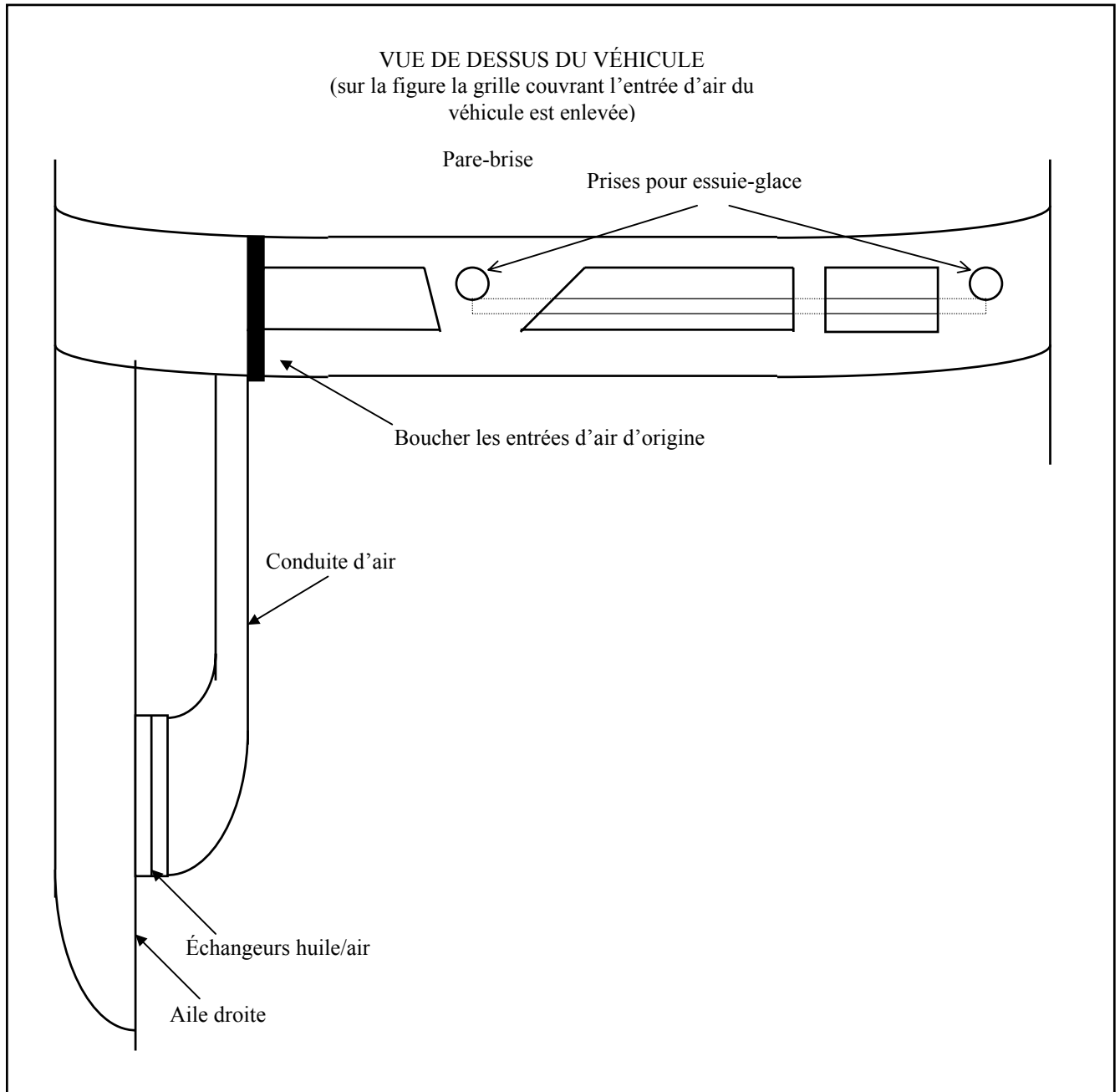


Tableau 3 : Matériaux et fournisseurs

Matériaux (quant.)	Description	Manufacturier / Fournisseur
Échangeur huile/air 11 po x 4 po (2)	- Poids = 2 kg	- Motomaster
Relais (1) Bornier (1)	- 24F2894 3PDT 12Vdc - 57F3430	Newark Électron. 2525 D. Johnson, Bureau 295 Laval, Qc H7T 1S9 Tél.: (514) 738-4488
Valves de dérivation deux voies (1 norm. ouverte) (1 norm. fermée)	- 12 VDC, siège Buna N raintight enclosures 1 x 8210G94 8210G34	- - - 1 x Conval 3115 Sartelon Mnt, Qc H4R 1E7 Tél.: (514) 332-2301
Thermostat sur circuit d'huile (2) (fait dévier le débit d'huile vers l'échangeur principal si T huile > 60 °C)	- Type : R20 ou R22 - 12 VDC - 8,5 A (rés.) / 6,3 A (ind.) - normalement fermé - ajust. 0 à 170 °C = 60 °C - si > 60 °C contact ouvre - open on rise - temp. max. 175 °C	Cantherm Canada Thermostat R. Murk / E. Leroux 8415 Mountain Sights av. Montréal, Qc H4P 2B8 Tél.: (514) 739-3274
Relais (6)	- Stock #93F2956 - DPDT, 12 VDC, 30 A	Newark Électron. (p. 539) 2525 D. Johnson, Bureau 295 Laval, Qc H7T 1S9 Tél.: 738-4488
Relais temporisé	- 1 X 12DNOR120-240XC - 12 VDC, 3 A - SPDT(sur norm. ouvert) - 2 à 4 min.	TRANS CANADA 695 Westney Rd. Unit 4, Ajax Ont. L1S 6M9 Tél.: 905-427-2588

Schéma électrique 1 : Modifications sur l'alimentation électrique du ventilateur de l'habitacle

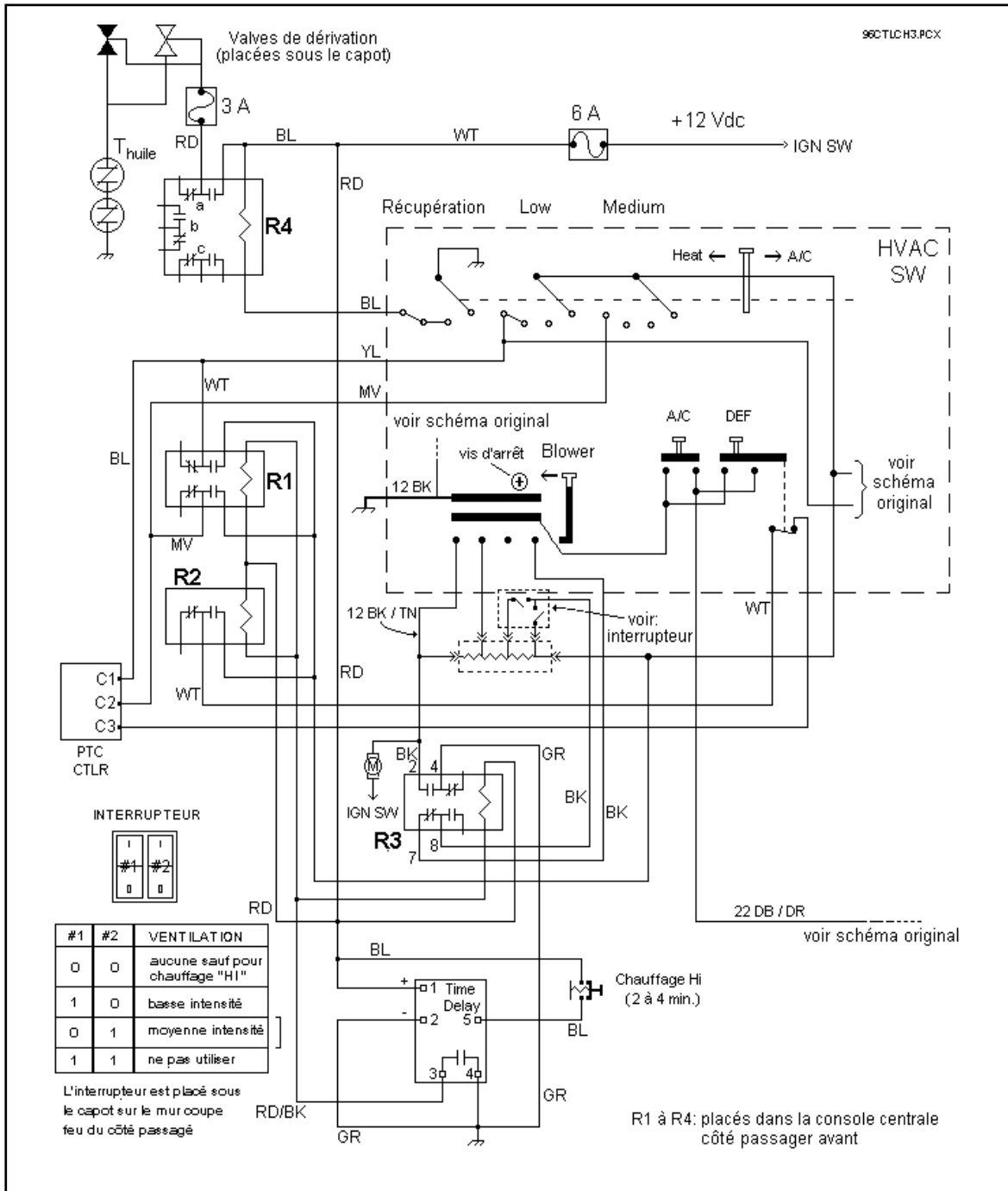
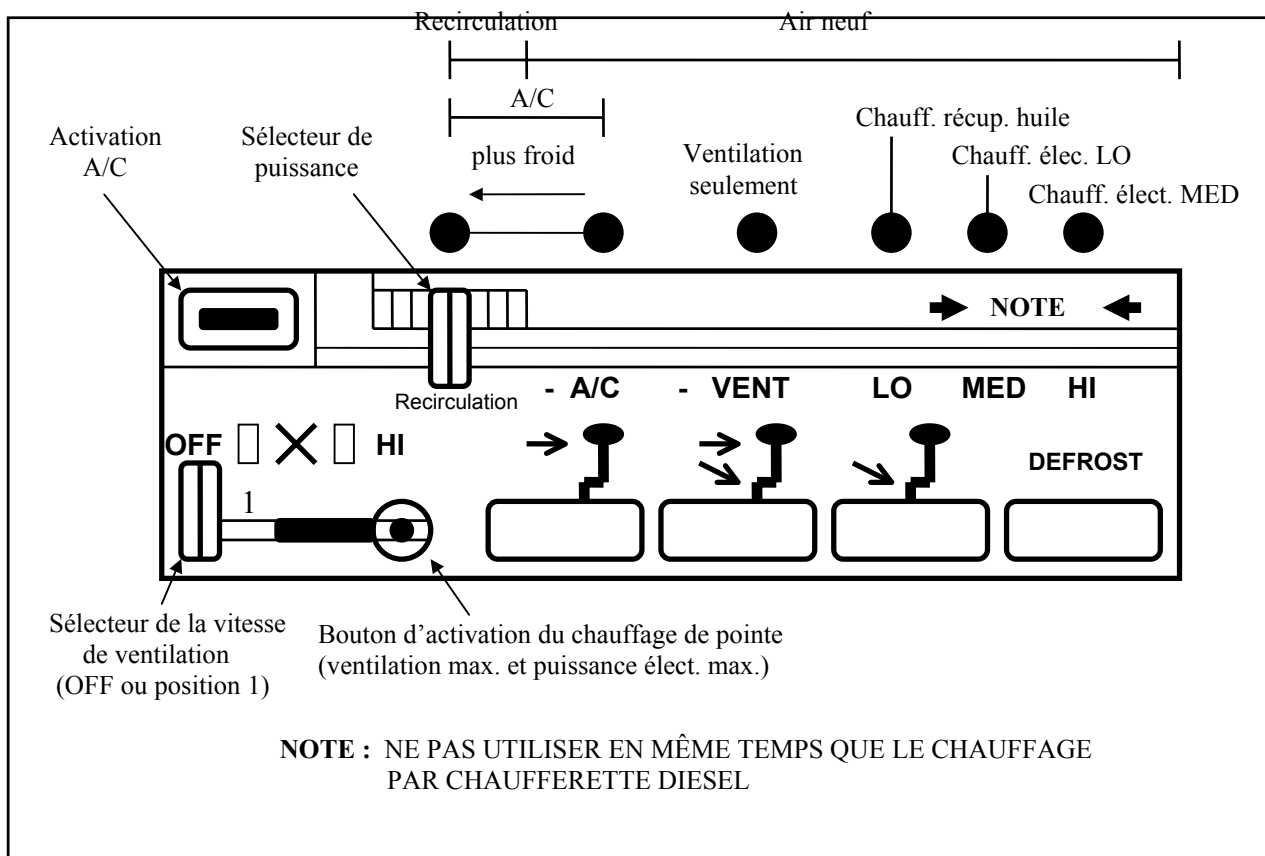


Tableau 4 : Fonctionnement du contrôleur de ventilation, chauffage et climatisation

Position Sélecteur vitesse ventilation	Position Sélecteur de puissance	Résultats
OFF	Sans effet	Pas de chauff. ni clim.
1	VENT	Ventilation position 1 (Vent. 1)
1	LO	Chauff. par huile (Vent. 1)
1	MED	Chauff. par huile et électrique basse puissance (Vent. 1)
1	HI	Chauff. par huile et électrique moyenne puissance (Vent. 1)
1	AC et bouton AC activé	Climatisation (Vent. 1)
Bouton HI activé	Sans effet	Chauff. par huile et électrique puissance max. (Vent. max.)

Figure 3 : Modification du contrôle de la ventilation, du chauffage et de la climatisation



3- Chauffage de l'habitacle avec une chaufferette auxiliaire au diesel

Il existe sur le marché plusieurs types de chaufferettes à air chaud, compactes, conçues pour le chauffage des cabines-dortoirs de camions, d'équipements de construction ou d'équipements forestiers. Ces équipements sont facilement adaptables au chauffage d'un véhicule de type TEVan. Puisque que le personnel chargé de l'entretien du véhicule est très familier avec ce type d'équipement, nous avons installé une chaufferette alimentée au carburant diesel.

Tableau 5 : Description de la chaufferette installée sur le véhicule

Modèle/ prix avec kit d'installation	Source d'énergie / consomm.	Puissance (kW)	Débit d'air Recirculé (CFM)	Consom. électrique (W)	Poids et volume (lbs/po)	Contrôle
ESPAR D5LC (air chaud)	Diesel 1, 2 et kérosène fort 0,6 l/h moy 0,34 l/h faib 0,04 l/h (effic. 75 à 80 %)	démarr. 5,5 ¹ fort 4,8 moy 2,7 faible 1,2	Fort 120 Moy 70 Faible 70	12 ou 24 V fort 80 moy 40 faible 40	18 (8 kg) long. 20,625" (525 mm) haut 7,625" (194 mm) larg. 7" (179 mm)	Marche/arrêt régulateur de température ajustable possibilité préchauffage de l'habitacle

1- La puissance de démarrage (5,5 kW) est maintenue par le contrôle interne de la machine pendant une période de 10 minutes (ou moins si la température de consigne est atteinte avant).

Tableau 6 : Matériaux et fournisseurs

Matériaux (qtée)	Description	Manufacturier / Fournisseur
Chaufferette ESPAR D5LC 17000 BTU	- chauff. à air - 70 à 120 CFM - 17000 BTU (5 kW) - diesel 1,2 et kérosène - 12 ou 24 VDC Poids : 8 kg	Trans Artik inc. Clément Plourde 2265 De La Province Longueuil, Qc J4G 1G3 Tél.: (514) 646-7646
Réservoir et accessoires Support de réservoir	- 4,5 l (1 gall. imp.)	

Figure 4 : Schéma d'implantation de la chaufferette diesel

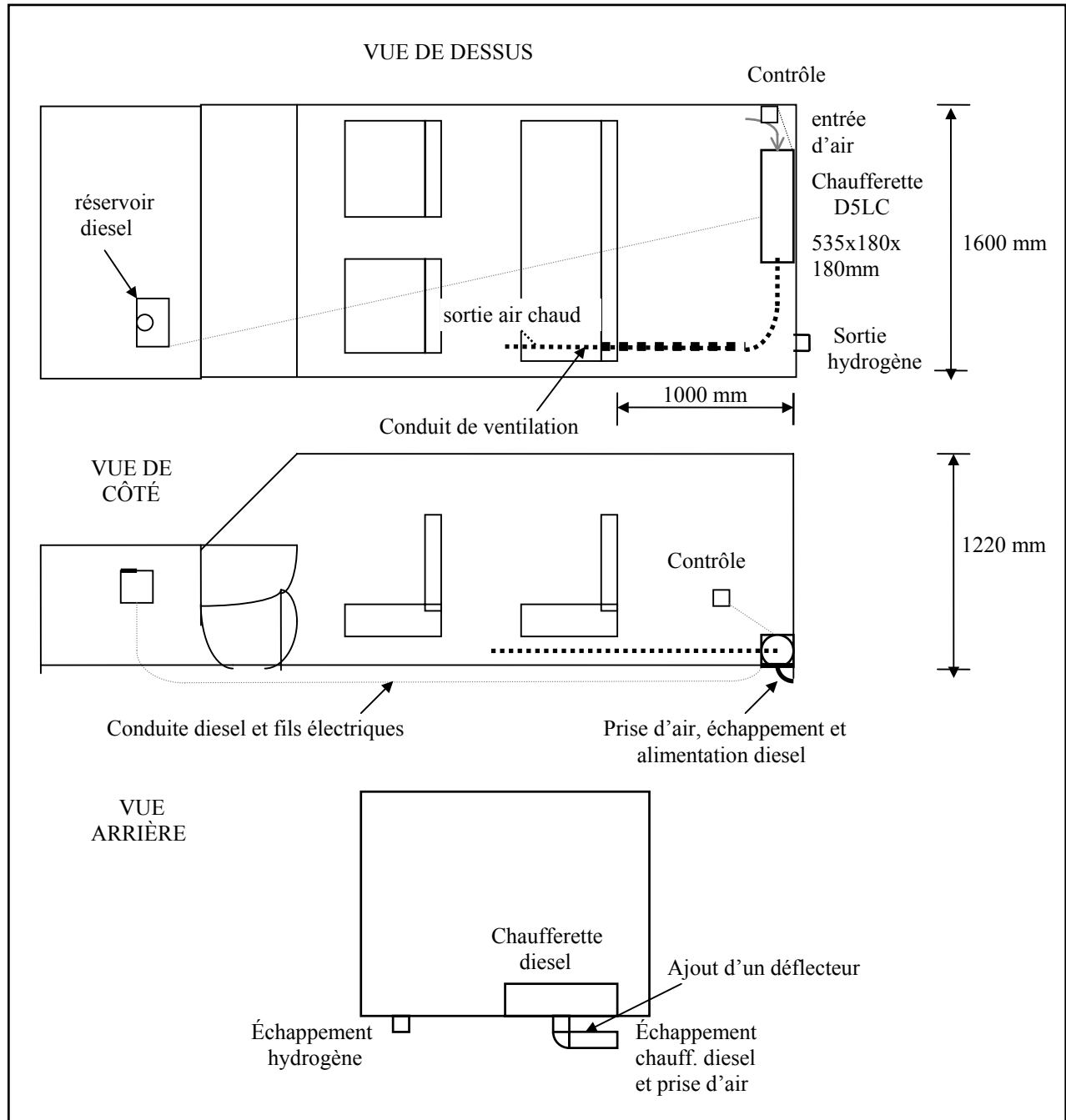
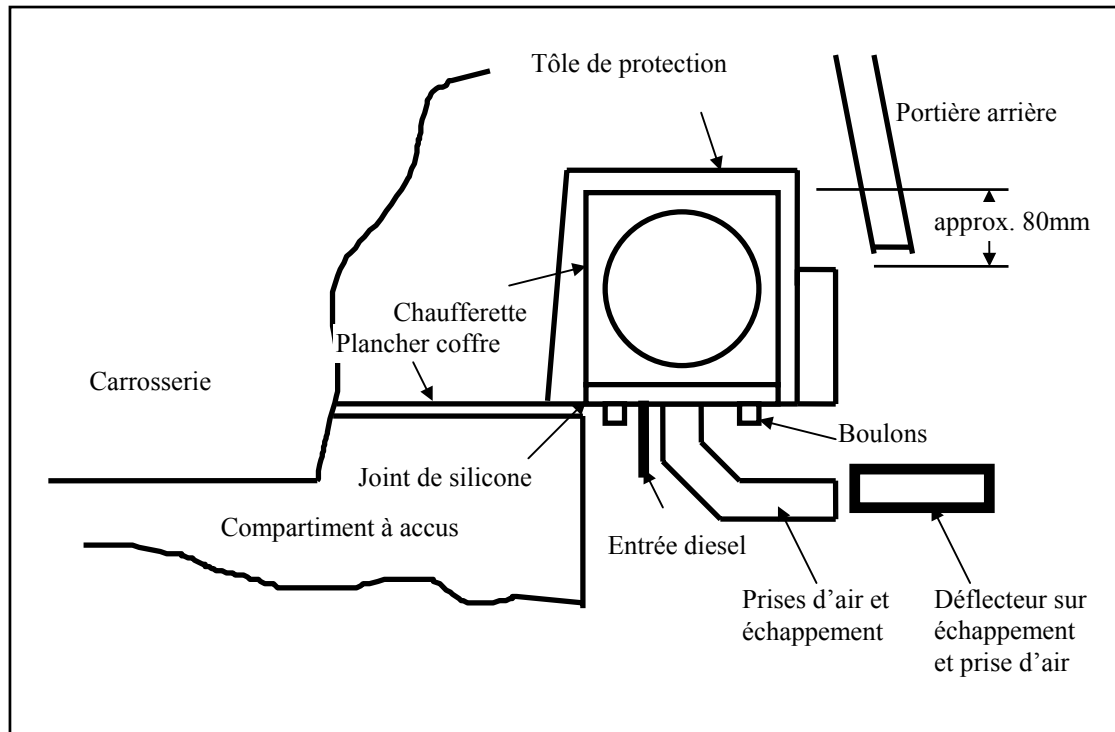


Figure 5 : Détail d'installation de la chaufferette



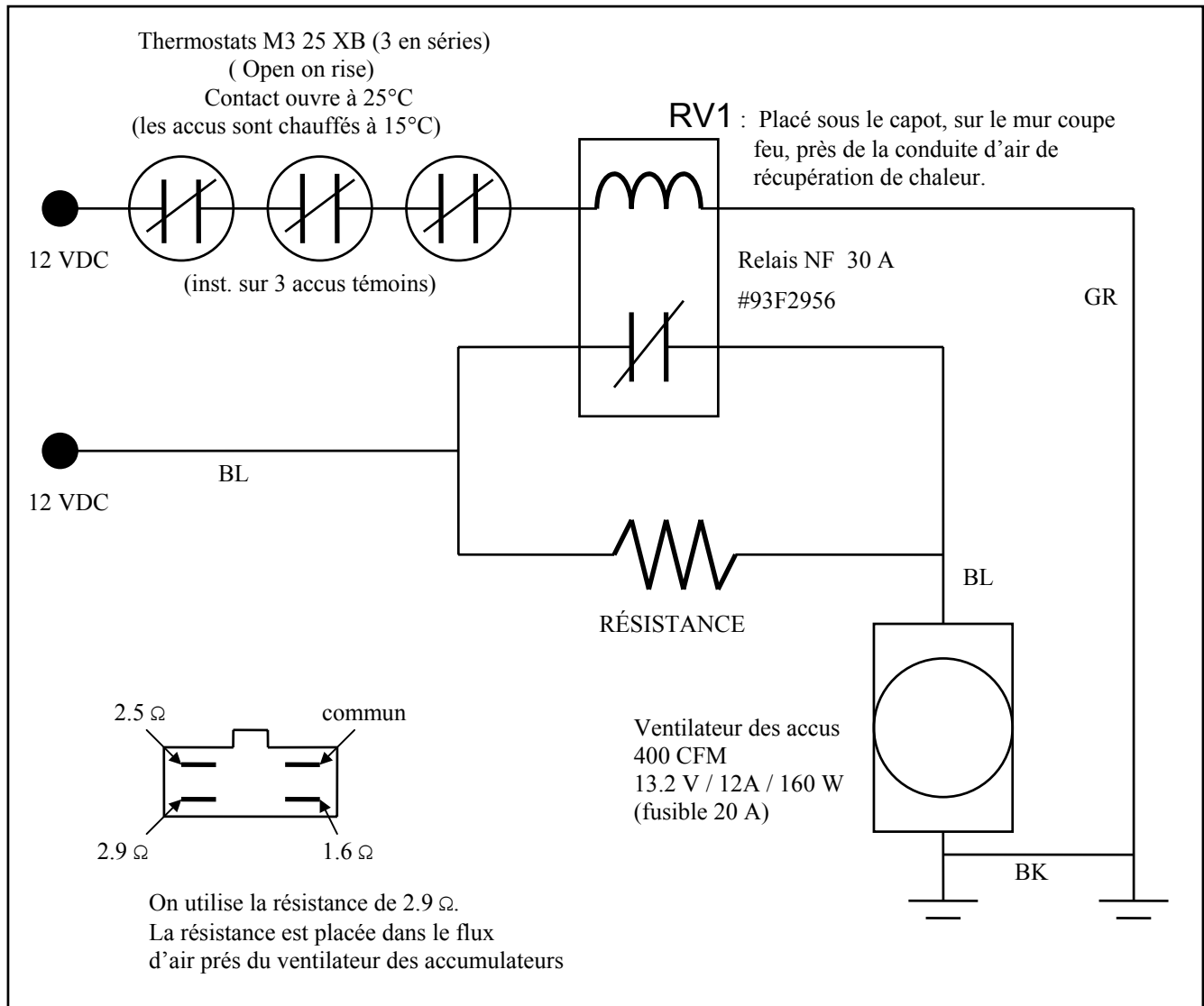
4- Isolation des compartiments à accus et contrôle de la ventilation des accus

Les parois extérieures des compartiments à accus ont été couvertes avec de l'isolant flexible de type «Armaflex» d'une épaisseur de 13 mm (1/2 po). Le véhicule est pourvu de quatre compartiments de 6 accus chacun (1 m² de surface externe chacun) et de deux compartiments de 3 accus chacun (0,75 m² de surf. ext. ch.). La ventilation des accus est assurée pendant la charge et la décharge uniquement. On réduit le débit de ventilation des accus à basse température. La vitesse élevée est seulement activée si la température des accus dépasse 25 °C.

Tableau 7 : Matériaux et fournisseurs

Description (qtée)	Spécification	Manufacturier
Isolant 1/2 po d'épais	- Armaflex en feuille de 36 po x 48 po - densité 6 P.C.F. - compression 2-5 PSI - K=,28 Btu-po/hpi ² °F	Refac Climaref Martin Perras ou Marc 6655 Bombardier St-Léonard, Qc H1P 2W2 Tél.: (514) 329-5349
Colle RUBATEX	- part no. 520GAL (1gall.)	Refac Climaref
Thermostat sur accumulateurs (temperature regulators) (3)	- type : M3 25 X B - contact type X - 110 V, 6 A - opération -20 °C à 105 °C - normalement fermé - set -10 °C à 100°C= 25 °C - si > 25 °C contact ouvre - open on rise	Cantherm R.Munk/ É.Leroux 8415 Montain Sights av. Mnt, Qc H4P 2B8 Tél. : (514) 739-3274
Relais (1)	- Stock # 93F2956 - DPDT, 12 VDC, 30 A	Newark Électron. (p. 539) 2525 D. Johnson, Bureau 295 Laval, Qc H7T 1S9 Tél.: (450) 738-4488
Résistance	- Dale (3) 1Ω, 50 W (1) 2Ω, 50W	Newart

Schéma électrique 2 : Alimentation électrique du ventilateur des accus



5- Préchauffage des accus

Des plaques chauffantes en silicone ont été insérées sous les accus (une plaque pour trois accus). Les plaques chauffantes sont connectées en séries (2) et en parallèles (5) de façon à fournir une puissance de chauffe de 38 W/accu (voir schéma électrique à la page suivante). Les plaques chauffantes sont activées tant que le véhicule est branché sur le réseau électrique. Chacune des séries de plaques est contrôlée par deux thermostats qui limitent la température des accus à environ 15 °C. Les thermostats sont fixés sur les parois verticales des accus.

Un réseau de câble électrique a été intégré sous le véhicule pour alimenter les plaques chauffantes. Des connecteurs de type militaire (Amphénol), facilement accessibles, assurent la continuité électrique à travers les caissons. La connexion au réseau se fait à l'aide d'un connecteur principal, placé tout près du connecteur déjà utilisé pour la recharge du véhicule. Par sécurité, un thermostat installé à la station de recharge, débranche les plaques chauffantes lorsque la température extérieure dépasse 13 °C.

Tableau 8 : Matériaux et fournisseurs

Description (quant.)	Spécification	Manufacturier
Plaques chauffantes en silicone pour accus (10 x 6 po x 30 po)	<ul style="list-style-type: none"> - SRFG-630/2 (2,5 W/po2) - 450 Wch. - 115 VAC - 6 po x 10 po - Poids : 0,5 kg 	Omega Canada inc. Dany O'Connor 976 Bergar Street Laval, Qc H7L 5A1 Tél.: (514) 856-6928
Thermostat sur accus (10)	<ul style="list-style-type: none"> - type : M3 15 X B - NC (Open-on rise) - 110 VAC , 6 A - opération -20 °C à 105 °C - set -10 °C à 100 °C= 15 °C - si > 15 °C contact ouvre 	Cantherm R.Munk/ É.Leroux 8415 Montain Sights av. Mnt, Qc H4P 2B8 Tél.: (514) 739-3274

Figure 6 : Implantation des plaques chauffantes

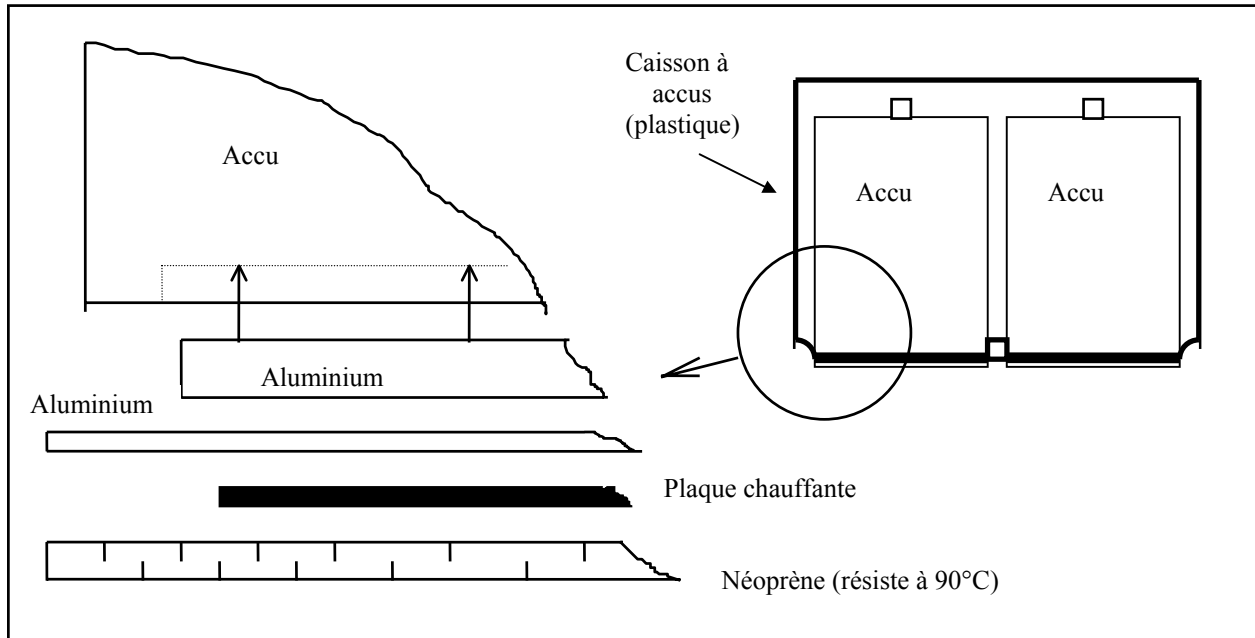


Schéma électrique 3 : Alimentation électrique des plaques chauffantes pour accus

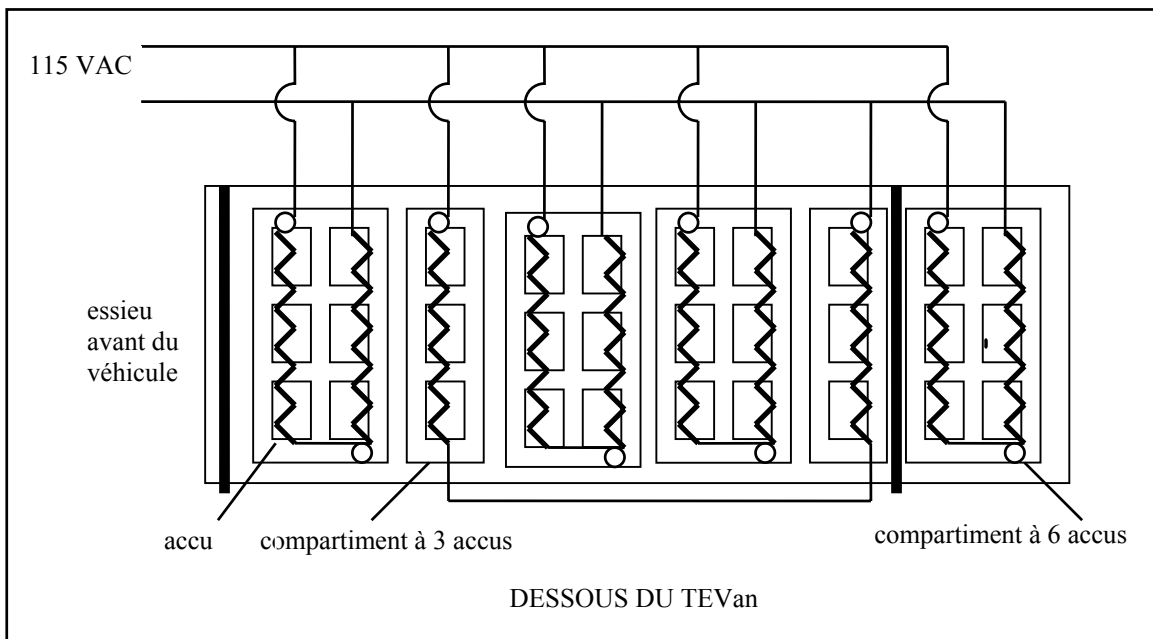
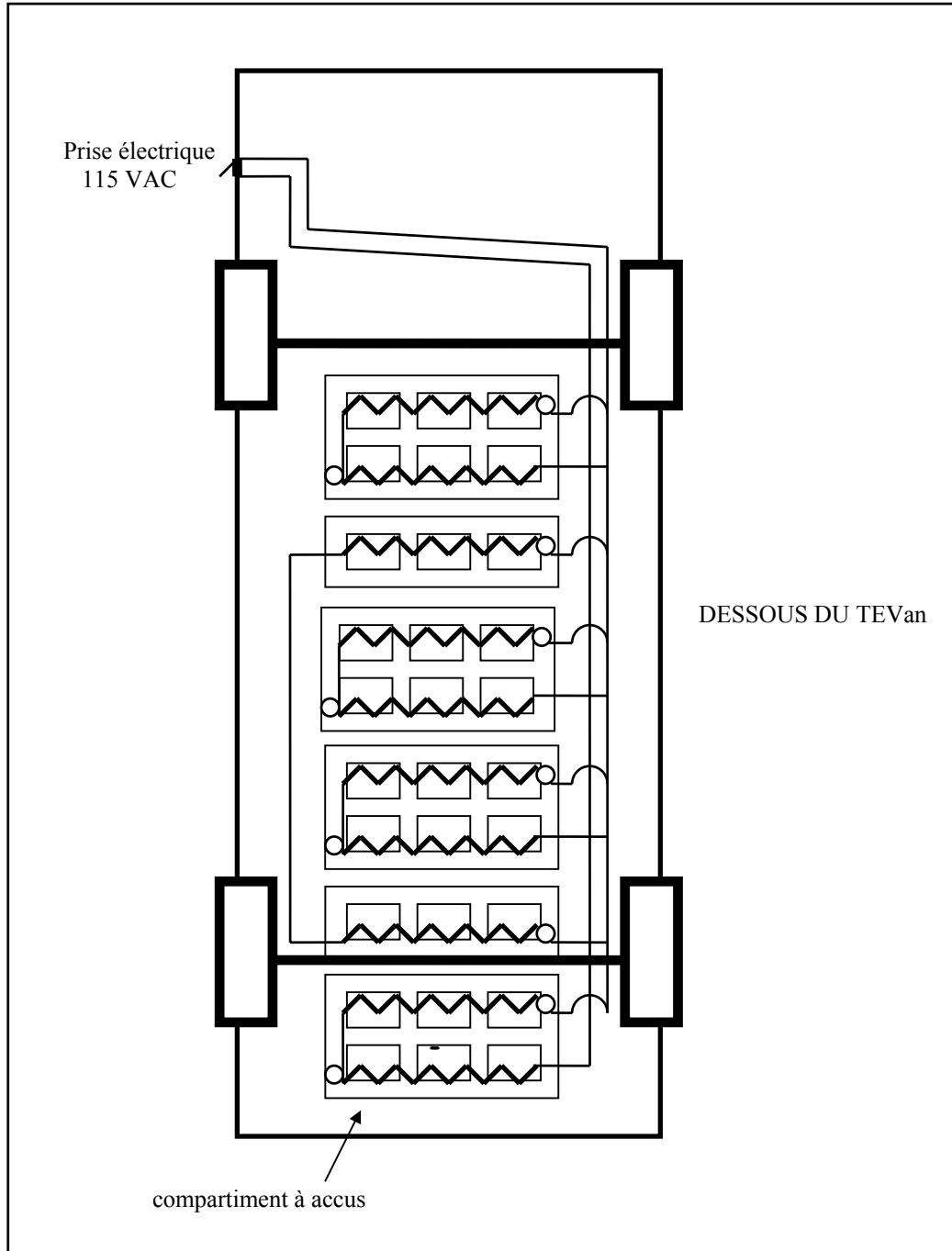


Schéma électrique 4 : Détail d'implantation de l'alimentation électrique des plaques chauffantes pour accus



6- Préchauffage de l'habitacle avec chaufferettes électriques sur minuterie

Le véhicule est équipé de deux chaufferettes électriques de 750 W_(mesuré). Des thermostats sont utilisés pour limiter la température de l'habitacle à 12 °C. En situation normale, on commence le préchauffage de l'habitacle une heure avant l'utilisation (le chauffage est commandé par minuterie). Les chaufferettes et le thermostat sont installés sous les deux bancs avants.

Les chaufferettes sont installées de façon à souffler l'air chaud vers l'avant du véhicule. Le câble électrique qui alimente les chaufferettes est raccordé sur le même connecteur des plaques chauffantes (connecteur principal à 4 fils placé tout près du connecteur servant à la recharge des accus).

7- Vidange du tuyau de remplissage d'eau des accus

Une solution simple et fiable a été mise de l'avant avec les responsables de l'entretien du véhicule à Dorval. Une purge a été ajoutée au connecteur à l'entrée du réservoir. Un jet d'air comprimé dans le tuyau peut assurer, si nécessaire, une vidange parfaite du tuyau en hiver en ouvrant la purge.

ANNEXE 2

Résultats des essais au CEVA

véhicule non modifié

*(Non disponible en format électronique/
Not available in electronic format)*

ANNEXE 3

Résultats des essais au CEVA

véhicule modifié

***(Non disponible en format électronique/
Not available in electronic format)***

ANNEXE 4

Résultats en situations réelles – récapitulation
de l'utilisation du véhicule



Tableau récapitulatif de l'utilisation du véhicule en situations réelles :

Jour	Distance parcourue (km)	Énergie recharge (kWh)	Éner. Chauff- Accus (kWh)	Temp. mo.ext. (°C)	Notes
5-3-98	67,6	38		0	
5-3-98	43,1	22		1	
6-3-98	60,5	36		-2	panne temporaire de la direction assistée
7-3-98	13	7		0	remplissage d'eau des accus (2.0 gall.)
8-3-98	36,8	22		0	
9-3-98	69,8	38		-2	indication « low batt.» à partir de 66 km, prise bloquée dans la glace, chauff. Diesel et utilisation defrost avant et arrière (tempête de neige)
10-3-98	25,3	20		-3	
11-3-98	61	27	4,2	-12	nuit à -18 °C
12-3-98	47,5	20	2,3	-12	
12-3-98	50,7	34	3,9	-12	
13-3-98	72,8	42	2,1	-7	
14-3-98	43,4	28	1,4	-4	
15-3-98	9,6	6	1,9	-4	
16-3-98	87,8	53	3	-4	Indication «low batt.» à partir de 60 km, arrêt du véhicule après une distance totale parcourue de 87,8 km
17-3-98	53,8	30	1,2	-4	Remplissage des accus impossible, eau gelée dans le conduit extérieur de la maison
18-3-98	59,9	33	1	-3	Remplissage d'eau des accus (6,3 gallons d'eau) après 4 heures de recharge, la neige colle aux tuyaux et fils apparents (lourd)
19-3-98	55,4	31	2,1	-2	Tempête de neige et verglas, utilisation du defrost
20-3-98	58,2	39	3,4	0	
21-3-98	45,1	30	1,5	-2	
22-3-98	14,5	11	2	0	Circulation locale
23-3-98	60,2	19	8,5	3	Recharge incomplète après 24 heures (5/8), cela explique la consommation élevée du chauffage par plaque chauffante (la contribution de la recharge au chauffage des accus est très bas) Le véhicule n'est pas utilisé la journée suivante.
24-3-98	0	4	7	> 5 °C	Recharge pas arrêtée après 24 heures (encore 5/8)
25-3-98	5,8	9	1	> 5 °C	Problème de recharge
26-3-98	90,2	33		4	Chauffe accus débranché, indication «low batt.» à 87 km à 90 km plus de courant
27-3-98	8,4	13		> 5 °C	Recharge incomplète (accus chargés à 5/8 seulement) remplissage des accus (0,9 gallon d'eau)
28-3-98	6			> 5 °C	Pas branché pour la recharge
29-3-98	24	1		> 5 °C	Recharge incomplète
	7,7	29			Recharge incomplète
30-3-98	62,8	18		> 5 °C	pleine charge atteinte, pneu arrière crevé
31-3-98	68,6	1		> 5 °C	Recharge incomplète
	0	30			Recharge incomplète, nouveaux pneus, isolant à accus endommagé en 4 endroits par rails d'élévateur (recharg. incomp.)
	0	12			
1-4-98	0	5		> 5 °C	recharge incomplète (accus chargés à 5/8 seulement)
2-4-98	0	0		> 5 °C	ne prend pas le véhicule

3-4-98	12	13	> 5 °C	accus chargés à 5/8
4-4-98	51	12	> 5 °C	recharge incomplète
5-4-98	38	24	> 5 °C	accus chargés au ¾
6-4-98	50	0	> 5 °C	
7-4-98	18	26	> 5 °C	accus chargés au 5/8
8-4-98	55	13	> 5 °C	accus pleine charge
14-4-98	0	56	> 5 °C	après 5 jours de recharge, la recharge n'est pas terminée reset du MCU recharge complète
15-4-98	65	39	> 5 °C	indicateur «low batt.» à 64 km, légère fuite d'huile à transmission
16-4-98	29	6	> 5 °C	recharge presque complète
18-4-98	29,9	8	> 5 °C	recharge complète d'après l'indicateur
19-4-98	9,3	2	> 5 °C	panne du chargeur
23-4-98	0	37	> 5 °C	accus chargés au 3/4
