

# *EVS26 - Symposium international sur les véhicules électriques à batterie, hybrides et à pile à combustible*

*Los Angeles (Californie) 6 au 9 mai 2012*

## **Incidence du cycle de conduite et du climat sur la consommation électrique et l'autonomie des véhicules de tourisme entièrement électriques**

Norm Meyer<sup>1</sup>, Ian Whittal<sup>1</sup>, Martha Christenson<sup>2</sup>, Aaron Loiselle-Lapointe<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Initiatives environnementales, Transports Canada, Ottawa (Ontario) Canada*

<sup>2</sup>*Section de la mesure et de la recherche des émissions, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) Canada*

---

**Résumé** L'introduction des véhicules électriques à batterie (VÉB) sur le marché canadien oblige les constructeurs et les organismes de réglementation canadiens à tenir compte de l'incidence des températures hivernales sur le rendement des VÉB. Le présent document évalue les effets des cycles de conduite nord-américains, des charges électriques auxiliaires et de la température sur les performances de trois VÉB appartenant à trois constructeurs d'origine distincts. La température la plus basse utilisée pendant ce cycle d'essais a été -20 °C. Des essais à -7 °C ont également été réalisés, étant donné qu'il s'agit actuellement de la température la plus basse prévue par les essais de consommation d'énergie/de combustible et d'émissions aux États-Unis et au Canada. Bon nombre d'essais ont été effectués dans le but d'appuyer l'élaboration de la norme du Comité international de SAE SAE J1634: *Electric Vehicle Energy Consumption and Range Test Procedures*. Les procédures dont il est question décrivent les cycles de conduite, les procédures d'essai, les exigences relatives à l'acquisition de données et les méthodes de calcul requises pour évaluer la consommation d'énergie des VÉB et déterminer leur autonomie. Les résultats ont montré que les procédures d'essais abrégés (faisant partie de la norme SAE J1634) peuvent fournir une approximation raisonnable des essais d'autonomie maximale et permettre aux constructeurs et aux organismes de réglementation de faire des économies substantielles en termes de ressources de laboratoire. D'autres résultats obtenus à basse température ont permis de constater qu'à -7 °C, l'autonomie des VÉB a été réduite d'environ 20 %, par rapport à une température de 20 °C; à -7 °C, l'utilisation du chauffage d'habitacle maximal a réduit l'autonomie du véhicule d'environ 25 % supplémentaire (par rapport à une utilisation sans chauffage d'habitacle à -7 °C); à -18 °C/-20 °C, l'utilisation du chauffage d'habitacle maximal a réduit l'autonomie du véhicule de 55 à 60 % (par rapport à une conduite sans charge auxiliaire à 20 °C).

*Mots clés : véhicules électriques, cycle d'utilisation, autonomie, froid, SAE 1634*

---

### **1 Introduction**

Le programme écoTECHNOLOGIE pour véhicules (éTV) de Transports Canada a pour mandat de tester et d'évaluer la sécurité et le rendement écoénergétique des véhicules mettant en œuvre des technologies de pointe. Les résultats des activités prévues dans le cadre du programme servent à appuyer l'élaboration des codes et

normes pertinents et des règlements relatifs à la sécurité et à la protection de l'environnement. Les résultats sont aussi diffusés

dans des symposiums appropriés tels que le forum EVS26.

Les véhicules électriques à batterie (VÉB) représentent un volet important des activités

d'essais et d'évaluation de l'éTV. Depuis 2009, Transports Canada estime que le rendement des VÉB en période hivernale constitue un problème potentiel nécessitant des recherches plus poussées. Un plan de travail a été mis au point en conjonction avec la Section de la recherche et de la mesure des émissions (SRME) d'Environnement Canada dans le but d'entreprendre une série de tests sur plusieurs véhicules électriques à batterie provenant de fabricants d'origine divers et de les soumettre à des essais dynamométriques contrôlés en tenant compte des normes et conditions d'essais suivantes :

- SAE J1634 : *Electric Vehicle Energy Consumption and Range Test Procedures* (ÉBAUCHE);
- Essais de type à 5 cycles, essais complémentaires à -7 °C et -18 °C/-20 °C.

Transports Canada et Environnement Canada sont tous deux représentés au Comité SAE J1634. Dans le cadre de la participation du Canada au processus d'élaboration des procédures d'essai SAE, le programme a concentré ses efforts sur l'évaluation de l'impact des basses températures sur le rendement des VÉB et a établi une comparaison avec les résultats obtenus lors des essais standards à 20 °C. Les résultats normalisés ont été présentés au Comité SAE J1634 (en concurrence avec des résultats fournis par d'autres organismes) afin qu'ils soient pris en compte pour le développement des procédures d'essais finalisées.

Pour l'heure, les procédures d'essais dynamométriques permettant d'évaluer l'autonomie et le rendement des VÉB au Canada sont en cours d'élaboration. De plus, l'étiquetage de la consommation d'énergie et de l'autonomie des VÉB, qui est du ressort de Ressources naturelles Canada, n'a pas été finalisé au Canada. Étant donné la nature hautement homogène du secteur automobile nord-américain, le Canada s'est toujours conformé aux procédures d'essai de la *Environmental Protection Agency's* (EPA).

## 2 Programme d'évaluation

### 2.1 Essais en laboratoire

Les essais destinés à évaluer la consommation d'énergie ont été réalisés par le personnel de la Section de la recherche et de la mesure des émissions d'Environnement Canada, située à Ottawa, en Ontario. Ces installations abritent le laboratoire national d'essais d'émissions et de consommation de carburant de véhicules du Canada.

Les trois VÉB ont été testés selon les cycles de conduite utilisés par le département des Transports américain (DOT) et l'EPA lors des essais de consommation de carburant et d'énergie « 5 modes » des véhicules légers visant à déterminer la consommation de carburant des véhicules traditionnels. Les véhicules ont également été soumis au cycle de conduite de la ville de New York (NYCC) en raison de sa notoriété en tant que cycle de conduite en accordéon en milieu urbain et du fait que les VÉB seront davantage utilisés, au quotidien, en milieu urbain que sur les routes.

Les VÉB ont été testés selon les cycles de conduites mentionnés plus haut conformément à la version la plus récente des procédures d'essai de VÉB de la Society of Automotive Engineers SAE J1634 – *Recommended Practice for Measuring Electric Vehicle Energy Consumption and Range Test Procedure*. Ce document décrit les procédures d'essais recommandées élaborées spécialement pour les véhicules électriques à batterie. Les procédures exigent également l'exécution d'un essai de capacité de batterie en condition stable à 55 mi/h afin d'établir la capacité d'énergie de la batterie pour chaque VÉB mis à l'essai. Lorsque le présent document a été rédigé, la norme SAE J1634 se présentait toujours sous la forme d'un document préliminaire, néanmoins proche de sa version définitive.

Il importe de noter que les trois VÉB n'ont pas été testés selon un nombre de cycles de conduite à autonomie maximale et abrégés identiques, car la norme SAE J1634 a évolué pendant le programme d'essai. Transports Canada a modifié son programme d'essai afin de pouvoir fournir des résultats permettant de valider et d'accélérer le développement de la norme SAE J1634, et afin d'étudier l'impact des basses températures sur l'autonomie des VÉB.

### 2.1 Recueil de données

Les données recueillies et calculées au cours des

différents essais d'autonomie maximale et abrégés sont les suivantes :

- Autonomie et autonomie extrapolée (capacité et kWh/km);
- Énergie c.c. consommée lors de la décharge ainsi que l'énergie c.a. utilisée pour recharger le véhicule.

Pendant les cycles d'essai, la consommation d'énergie c.c. totale, le taux de consommation et la quantité de freinage par récupération ont été mesurés directement en utilisant des pinces c.c. non invasives. En combinant ces paramètres avec les données de charge c.a., la consommation d'énergie du véhicule et la consommation d'énergie électrique domestique réelle pourraient être comparées et l'efficacité de la charge calculée.

Pour comparer des essais d'autonomie partielle (abrégée) et des essais d'autonomie maximale, certains essais abrégés ont été effectués sur deux des trois véhicules. La comparaison entre les essais complets et abrégés est décrite en plus ample détail à la section 2.2.

Plusieurs procédures d'essai applicables de l'Electric Drive Transportation Association ont également été appliquées (lorsqu'il y avait lieu); ces procédures sont les suivantes :

- ETA-TP003 *Implementation of SAE J1634 Electric Vehicle Energy Consumption and Range Test Procedure*
- ETA-TP008 *Battery Charging*
- ETA-TP010 *Measurement and Evaluation of Electric Vehicle Battery Charger Performance*
- ETA-TP012 *Evaluation of Electric Vehicle On-Board Battery Energy Management Systems (BEMS)*

### 2.1.1 Essais au dynamomètre à châssis

Les véhicules ont été évalués sur un dynamomètre électrique à bobine simple de 122 cm de diamètre capable de simuler la puissance et la force d'inertie auxquelles sont soumis les véhicules utilitaires légers en cours de conduite. La vitesse de rotation de la bobine du dynamomètre est mesurée par un compteur d'impulsions qui transmet le paramètre de vitesse à un contrôleur à

microprocesseur. Le contrôleur traduit les impulsions en vitesse linéaire du véhicule, lesquelles sont ensuite affichées sur un écran vidéo sous forme de curseur. Le conducteur du véhicule utilise le curseur pour suivre la vitesse sélectionnée par rapport au repère de temps. Cette caractéristique permet d'utiliser le véhicule sur un cycle de conduite ou d'utilisation transitoire sélectionné. Les paramètres du dynamomètre sont enregistrés en continu, y compris la distance, la vitesse, l'accélération, le couple, la puissance et la force d'inertie simulés. Les données de décélération sur route et les coefficients cibles des VÉB ont été dérivées par la SRME en utilisant la pratique recommandée de la norme SAE J1263. Dans le cas des essais à basses températures, les coefficients cibles ont été réglés en réduisant de 10 % le temps de décélération cible calculé, conformément aux spécifications du CFR 40 § 86.229-94. La norme SAE J1263, *Road Load Measurement and Dynamometer Simulation using Coast Down Techniques*. Pour tous les véhicules, les coefficients de consigne du dynamomètre sont définis par la SRME, dans le respect de la norme SAE J2643, tant à température ambiante que basse. [1]

Des essais en laboratoire ont été effectués à quatre températures distinctes (20 °C, -7 °C, -18 °C et -20 °C). Les deux dernières températures ont été choisies, car elles représentent les températures des cellules d'essai requises en vertu du *Code of Federal Regulations* régissant la mesure de la consommation du carburant et des émissions sur un dynamomètre à châssis. Au départ, une température d'essai de -20 °C avait été préconisée; cependant, un programme d'essai antérieur visant les véhicules hybrides électriques rechargeables (voir le document EVS24 élaboré par Martha Chistenson et autres) avait été réalisé à -18 °C, et il s'est avéré souhaitable de pouvoir comparer les données propres aux différentes performances. De plus, certains fabricants ont instauré certains protocoles de gestion des batteries en dessous des -20 °C qui s'appliquent aux deux types de performances de véhicule (moteur électrique) et au rechargement des batteries. Par conséquent, des essais à -18 °C et -20 °C ont été réalisés au cours du programme.

### 2.2 Essai d'autonomie maximale ou abrégé

L'essai d'autonomie maximale suppose que le véhicule d'essai exécute le cycle d'essai exigé de

manière répétée (des arrêts peuvent être nécessaires) jusqu'à ce que la batterie principale ne soit plus capable de fournir suffisamment d'énergie au véhicule pour maintenir la vitesse requise et/ou l'accélération nécessaire pour conserver la vitesse prescrite par le cycle d'utilisation du dynamomètre.

Les essais abrégés supposent que le véhicule d'essai exécute le cycle d'essai exigé un certain nombre de fois (généralement 3 ou 4 fois). L'énergie utilisée pour ces cycles est enregistrée et l'autonomie maximale du véhicule est extrapolée en tenant compte de la capacité disponible restante dans la batterie principale, autrement dit de l'énergie utilisée pour recharger la batterie principale jusqu'à un plein état de charge. L'autonomie estimée est calculée en utilisant l'équation (1) pour la consommation d'énergie c.a. et c.c.

$$Autonomie = \frac{C(kWh)}{E(kWh)/D(km)} \quad (1)$$

Où,

R = Autonomie estimée du véhicule (km)

C = Capacité de la batterie principale établie à partir d'un essai en condition stable à 55 mi/h à la température d'essai, c.a. ou c.c. (kWh)

E = Consommation d'énergie pendant l'essai abrégé, c.a. ou c.c. (kWh)

D = Distance parcourue pendant l'essai abrégé (km)

## 2.3 Acquisition et analyse des données

L'énergie totale consommée au cours des divers cycles de conduite et pendant la période de rechargement a été établie en mesurant le courant c.c. et la tension du système en cours d'utilisation, ainsi que le courant c.a. et la tension de la sortie ou du dispositif de recharge. Dans le cadre du présent rapport, les courants c.a. et c.c. correspondent à ce qui suit :

- Courant alternatif (c.a.) : Courant fourni au chargeur embarqué du VÉB à partir d'une prise de courant murale et exprimé en ampères.
- Énergie de recharge c.a. : Combinaison du c.a. et de la tension de sortie, l'énergie

de recharge c.a. totale est exprimée en kilowattheures (kWh).

- Courant continu (c.c.) : Courant exprimé en ampères et fourni par les batteries principales du VÉB aux moteurs électriques.
- Énergie de décharge c.c. : Combinaison du c.c. et de la tension du système, l'énergie de décharge c.c. totale est exprimée en kilowattheures (kWh).

Tous les instruments étaient alimentés par des sources externes, et non à partir du véhicule. Des analyseurs de puissance ont été utilisés pour mesurer le courant et la tension en vue de déterminer l'énergie c.c. totale consommée pendant la conduite et l'énergie c.a. consommée pendant les périodes de rechargement.

### 2.3.1 Efficacité du véhicule sur un cycle complet (RTE)

L'efficacité sur un cycle complet est une mesure de l'efficacité jusqu'à épuisement total, laquelle se rapporte à la relation entre l'énergie utilisable de la batterie (UBE) (énergie de décharge c.c. jusqu'à épuisement total) et l'énergie de recharge totale (TRE) (énergie de recharge c.a. jusqu'à épuisement total). Ce produit permet d'établir la consommation d'énergie c.a. propre aux différents cycles des essais à cycles multiples.

$$RTE = \left[ \frac{E_{c.c. total}}{E_{c.a.}} \right] = \frac{UBE}{TRE} \left( \frac{c.c. \cdot W \cdot h}{c.a. \cdot W \cdot h} \right) \quad (2)$$

## 2.4 Cycle de conduite LA4

Le cycle U.S. LA4 est également connu sous le nom de cycle FTP-72 ou *Urban Dynamometer Driving Schedule* (UDDS). Ce cycle est la simulation d'un trajet de conduite en ville.

Le cycle est séparé en deux phases. La première phase commence par un démarrage à froid et dure 505 secondes (un peu plus de 8 minutes), sur une distance de 5,8 km (3,6 milles) et à une vitesse moyenne de 41,2 km/h (25,6 mi/h). La deuxième phase dure 864 secondes (environ 14 minutes).

### 2.4.1 Autre procédure applicable au cycle LA4

Le cycle LA4 a été exécuté de manière répétée en commençant par un démarrage à froid et en prévoyant une période de trempage moteur coupé de 10 minutes entre chaque cycle. Le cycle a été testé durant les essais d'autonomie maximale et les essais abrégés, au cours desquels le véhicule a exécuté le cycle quatre fois. [1]

## 2.5 Cycle de conduite HWFET

Le cycle de conduite relatif à la réduction de la consommation de carburant en cycle routier (U.S. HWFET) a été élaboré par l'Environmental Protection Agency des États-Unis afin de déterminer l'économie de carburant sur la route pour les véhicules légers. Le cycle est une simulation de conduite à vitesse plus élevée ou sur route. Il prend 765 secondes (presque 13 minutes) à compléter, sur une distance totale de 16,5 km (10,3 milles) parcourus. La vitesse maximale du cycle est de 96,5 km/h (59,9 mi/h) et la vitesse minimale de 45,7 km/h (28,4 mi/h) est atteinte à 296 secondes (environ 5 minutes) du cycle.

### 2.5.1 Autre procédure applicable au cycle HWFET

Les essais d'autonomie maximale comportaient les séquences d'essai suivantes : [1]

- I. Exécution de deux cycles de conduite HWFET répétés sans arrêt;
- II. Mise en situation d'acclimatation, moteur coupé, pendant 10 minutes;
- III. Répétition de cycles HWFET en continu jusqu'à ce que le véhicule ne soit plus capable de maintenir les vitesses du cycle;
- IV. Recharge du véhicule à la température du test dans un délai de trois heures suivant la fin de l'essai.

Les essais abrégés comportaient les séquences d'essai suivantes : [1]

- I. Exécution de deux cycles de conduite HWFET répétés sans arrêt;
- II. Mise en situation d'acclimatation, moteur coupé, pendant 10 minutes;
- III. Répétition de deux cycles HWFET sans arrêt;

- IV. Recharge du véhicule dans un délai de trois heures qui suivent la fin de l'essai à la température d'essai.

## 2.6 Procédures d'essais supplémentaires US06

Les procédures d'essais supplémentaires US06 [*Supplemental Federal Test Procedure (SFTP)*] sont utilisées en plus du cycle LA4 susmentionné. Les US06 simulent le comportement de conduite à haute vitesse à accélération agressive. Elles comprennent également les fluctuations rapides de vitesse et des comportements de conduite à la suite du démarrage. Le cycle prend 596 secondes (presque 10 minutes) à compléter, sur une distance totale de 12,8 km (8,01 milles) parcourus. La vitesse maximale du cycle est de 129,2 km/h (80,3 mi/h). La vitesse moyenne du cycle est de 77,4 km/h (48,4 mi/h).

### 2.6.1 Autre procédure applicable au cycle US06

Les essais d'autonomie maximale comportaient les séquences d'essai suivantes : [1]

- I. Exécution d'un cycle US06, pause de 90 secondes moteur allumé et répétition d'un cycle US06;
- II. Mise en situation d'acclimatation, moteur coupé, pendant 10 minutes;
- III. Répétition de cycles US06 en continu jusqu'à ce que le véhicule ne soit plus capable de maintenir les vitesses du cycle;
- IV. Recharge du véhicule dans un délai de trois heures suivant la fin de l'essai à la température d'essai.

Les essais abrégés comportaient les séquences d'essai suivantes : [1]

- I. Exécution d'un cycle US06, pause de 90 secondes moteur allumé et répétition d'un cycle US06;
- II. Recharge du véhicule à la température du test dans un délai de trois heures suivant la fin de l'essai.

## 2.7 Cycle de conduite à compensation de vitesse SC03

Le cycle de conduite à compensation de vitesse US SC03 est utilisé en plus du cycle LA4 susmentionné. Il simule la conduite en ville et la charge du moteur avec utilisation de la climatisation pour la durée complète des essais (la vitesse du ventilateur du climatiseur est à déterminer). Le cycle prend 596 secondes (presque 10 minutes) à compléter, sur une distance totale de 5,8 km (3,6 milles) parcourus. La vitesse maximale du cycle est de 88,2 km/h (54,8 mi/h). La vitesse moyenne du cycle est de 34,8 km/h (21,6 mi/h).

### 2.7.1 Autre procédure applicable au cycle SC03

Les essais abrégés comportaient les séquences d'essai suivantes : [1]

- I. Exécution d'un cycle SC03;
- II. Mise en situation d'acclimatation, moteur coupé, pendant 10 minutes;
- III. Répétition du cycle SC03 quatre fois sans arrêt;
- IV. Recharge du véhicule à la température du test dans un délai de trois heures suivant la fin de l'essai.

## 2.8 Cycle de conduite NYCC

Le cycle New York City est un cycle additionnel conçu par la *Environmental Protection Agency* pour mesurer l'économie de carburant des véhicules. Il n'est habituellement pas inclus dans la moyenne à cinq cycles utilisée pour quantifier la consommation d'énergie. Le cycle d'essai a été choisi, car il comporte des arrêts et départs fréquents, de longues périodes de ralenti, des conditions particulièrement favorables à une bonne performance des VÉB.

Le cycle dure 598 secondes (presque 10 minutes) et se déroule sur une distance totale de 1,9 km (1,2 mille). La vitesse maximale du cycle est de 44,6 km/h (27,7 mi/h) et la vitesse moyenne est de 11,4 km/h (7,1 mi/h). Le cycle comprend 14 arrêts individuels.

### 2.8.1 Autre procédure applicable au cycle d'essai NYCC de l'EPA

Les essais abrégés comportaient les séquences d'essai suivantes : [1]

- I. Exécution de quatre cycles NYCC sans s'arrêter;
- II. Mise en situation d'acclimatation, moteur coupé, pendant 10 minutes;
- III. Répétition des étapes I et II jusqu'à ce que la batterie soit épuisée.

### 2.9 Essai de capacité de batterie en condition stable à 55 mi/h

La séquence d'essai en condition stable à 55 mi/h est la suivante : [1]

- I. Le véhicule accélère jusqu'à une vitesse de 55 mi/h (88,5 km/h) en l'espace de 30 secondes;
- II. Maintien d'une vitesse constante de 55 mi/h (88,5 km/h) pendant 50 minutes ;
- III. Le véhicule est ensuite arrêté et mis en situation d'acclimatation, moteur coupé, pendant 10 minutes;
- IV. Le processus est répété jusqu'à ce que le véhicule ne puisse plus maintenir la vitesse requise.

## 3 Résultats et discussion

Les résultats des essais d'autonomie normalisés figurent aux tableaux 1 à 3 et aux figures 1 à 4. Ces résultats permettent de comparer les performances de tous les VÉB, sans mentionner d'autonomie réelle. Pour tous les véhicules testés, l'autonomie obtenue au cours du cycle de conduite LA4 à 20 °C est égale à 100 %, l'autonomie étant généralement la plus grande au cours de ce cycle. La consommation d'énergie, l'autonomie maximale et l'autonomie abrégée ainsi que l'efficacité du chargement sont également mentionnés à des fins de comparaison.

Les tableaux 1 à 3 présentent tous les essais qui ont été réalisés avec chaque VÉB. Il est intéressant de noter qu'en raison de la disponibilité de la cellule d'essai et des modifications touchant les domaines de recherche désirés, chaque VÉB possède son propre tableau d'essai.

Il n'est pas facile de cerner rapidement des tendances spécifiques à partir des données fournies sous forme de tableaux. Aussi, les figures 1 à 4 ont été incluses pour démontrer l'impact de la température et de la charge liée au chauffage sur l'autonomie et la consommation d'énergie au cours du cycle LA4 et des cycles de conduite sur route.

### 3.1 Différences entre les essais

Les véhicules d'essai ont été testés conformément à toutes les procédures actuellement publiées ou rédigées sous forme d'ébauche au moment des essais. Chaque véhicule a subi des cycles d'essai distincts, et les écarts entre les essais qu'il convient de souligner sont les suivants :

L'habitacle des trois VÉB n'a pas été préchauffé avant le début des essais;

Le VÉB 1 a été testé conformément à la version la plus récente de la norme SAE J1634. De plus, la commande de climatisation était disponible et a été utilisée pour chauffer l'habitacle jusqu'à 22 °C.

Le VÉB 2 a été testé conformément à une ébauche récente de la norme SAE J1634. L'énergie c.c. consommée a été mesurée uniquement pour l'alimentation du moteur à propulsion. L'énergie c.a. utilisée pour recharger le véhicule comprend également l'énergie consommée par le système de chauffage du véhicule. Aussi, il n'est pas conseillé de comparer l'efficacité du cycle, avec chauffage de l'habitacle activé, telle que présentée au tableau 2, avec l'efficacité du cycle avec chauffage activé figurant dans les tableaux 1 et 3. Le chauffage de l'habitacle n'était pas programmable; par conséquent, tous les essais réalisés avec le « chauffage activé » se sont déroulés avec un réglage de chauffage maximum afin d'assurer la répétabilité des séquences sur des cycles distincts.

Le VÉB 3 a été testé conformément à une version antérieure des procédures d'essais prévues par l'ébauche de norme SAE J1634. Comme dans le cas du VÉB 2, le chauffage de l'habitacle n'était pas programmable; par conséquent, tous les essais réalisés avec le « chauffage activé » ont impliqué

un réglage manuel du chauffage de l'habitacle au maximum, ce pendant tous les essais. Ce véhicule a été rechargé au maximum à la demande du fabricant afin de garantir la pleine capacité de la batterie avant le début de chaque essai.

### 3.2 Résultats des cycles de conduite

Les tableaux 1, 2 et 3 montrent les résultats de tous les essais réalisés avec les trois VÉB. Tous les essais abrégés sont signalés par la mention « Abr » apposée avant le nom du cycle de conduite. L'autonomie de ces essais est calculée en utilisant l'équation 1.

Si l'on examine les VÉB 2 et 3, on constate que les essais abrégés offrent une parfaite corrélation avec les résultats des essais d'autonomie maximale. Dans le cas du VÉB 2, les résultats des essais abrégés LA4 et HW ont été calculés à 3 % près des valeurs des essais d'autonomie maximale des cycles LA4 et HW. Dans le cas du VÉB 3, les résultats des essais abrégés à -7 °C LA4 (avec chauffage activé), HW et US06 ont été calculés à 2 % près des valeurs d'autonomie maximale de chaque essai, respectivement. De futurs tests portés sur les VÉB permettront d'étudier la précision des essais abrégés comparé aux essais d'autonomie maximale, au cours de cycles de conduite supplémentaires et avec d'autres températures de cellule d'essais.

Les résultats des essais LA4 et HW mentionnés dans les tableaux 1 à 3 sont représentés dans les figures 1 à 4, et ils sont étudiés plus en détail dans la section suivante du présent document.

Tableau 1 : Résultats des essais du VÉB 1

Cycle de conduite	Cellule d'essai (°C)	Chauff. Act/Désact	Autonomie (%)	Décharge c.c. (Wh/km)	Recharge c.a. (Wh/km)	Effic. du cycle (%)
LA4	20	Désact.	100,0	139	151	91,8%
LA4	-7	Activé	51,6	230	282	81,8%
LA4	-7	Désact.	82,5	143	176	81,6%
LA4	-20	Activé	40,2	282	363	77,8%
HW	20	Désact.	89,6	146	169	86,5%
HW	-7	Activé	57,6	220	258	85,0%
HW	-7	Désact.	74,3	157	196	80,1%
HW	-20	Activé	50,8	218	304	71,8%
SCO3	20	Désact.	54,4	231	279	83,0%
SCO3	-7	Activé	46,2	261	315	82,9%
SCO3	-20	Activé	39,5	291	374	77,9%
NYCC	-7	Activé	25,5	455	576	79,0%
NYCC	-7	Désact.	63,8	181	231	78,3%
NYCC	-20	Activé	19,2	572	735	77,9%
cs55 mi/h	-7	Activé	59,4	185	238	77,6%
cs55 mi/h	-7	Activé	46,8	226	309	73,1%
cs55 mi/h	-20	Activé	55,5	208	257	80,7%

Tableau 2 : Résultats des essais du VÉB 2

Cycle de conduite	Cellule d'essai (°C)	Chauff. Act/Désa	Autonomie (%)	Décharge c.c. (Wh/km)	Recharge c.a. (Wh/km)	Eff. cycle (%)
LA4	20	Désact.	100,0	108	131	82,8%
Abr LA4	20	Désact.	102,7	103	125	82,4%
LA4	-7	Désact.	85,1	111	148	75,1%
LA4	-7	Activé	59,0	110	217	50,5%
LA4	-18	Activé	42,5	147	284	51,7%
HW	20	Désact.	88,1	133	152	87,4%
Abr HW	20	Désact.	90,9	121	141	85,9%
HW	-7	Activé	71,9	133	178	74,8%
HW	-18	Activé	47,1	155	259	60,1%
Abr US06	20	Désact.	61,9	190	215	88,6%
Abr SC03	20	Désact.	58,2	110	220	50,1%
Abr NYCC	20	Désact.	62,2	127	206	61,6%

\*Nota – Les valeurs de décharge c.c. et les calculs d'efficacité aller-retour n'incluent pas la mesure de la consommation du système de chauffage embarqué

### 3.2.1 Discussion des résultats d'essais des cycles LA4 et HW

Dans un souci de comparaison, les figures 1 et 3 présentent les résultats de chaque VÉB pour les cycles de conduite en ville et sur route sous la forme de pourcentage normalisé de l'autonomie totale du cycle de conduite. Comme le montre l'illustration, chaque VÉB affiche une réduction de l'autonomie à mesure que la température de la cellule baisse. Le taux de réduction d'autonomie semble augmenter lorsque la température de la cellule d'essai chute de -7 °C à -18 °C/-20 °C. Tous les essais à -18 °C/-20 °C ont été réalisés en activant le chauffage de l'habitacle; l'essai à -7 °C a été effectué avec le chauffage de l'habitacle activé et désactivé.

La figure 1 présente les résultats comparatifs de l'autonomie atteinte sur le cycle de conduite LA4 aux cours d'essais réalisés à différentes températures et avec des réglages de charge auxiliaires. Il existe une forte corrélation entre la baisse de l'autonomie et la baisse des températures d'essai, avec et sans utilisation du chauffage de l'habitacle. L'incidence du froid, à -7 °C, s'est traduite par une baisse d'autonomie comprise entre 15 et 21 % pour les trois véhicules d'essai. De même, l'utilisation du chauffage de l'habitacle a entraîné une baisse supplémentaire de 19 et 30 %, respectivement, comparé aux résultats obtenus à -7 °C avec le chauffage de l'habitacle désactivé. Globalement, une baisse

Tableau 3 : Résultats des essais du VÉB

Cycle de conduite	Cellule d'essai (°C)	Chauff. Act/Désa	Autonomie (%)	Décharge c.c. (Wh/km)	Recharge c.a. (Wh/km)	Eff. cycle (%)
LA4	20	Désact.	100,0	145	178	81,4%
LA4	-7	Activé	59,8	230	274	83,9%
Abr LA4	-7	Activé	58,6	233	277	84,1%
Abr LA4	-7	Désact.	78,8	174	206	84,3%
HW	20	Désact.	91,7	158	195	80,9%
Abr HW	20	Désact.	91,2	164	205	80,0%
Abr SC03	20	Désact.	57,2	252	314	80,4%
Abr NYCC	20	Désact.	77,8	185	230	80,3%
US06	20	Désact.	69,7	203	256	79,3%
Abr US06	20	Désact.	70,6	203	264	76,9%
cs 55 mi/h	20	Désact.	90,0	160	199	80,3%
cs 55 mi/h	-7	Activé	80,0	171	203	84,1%

maximale d'autonomie de 60 % a été observée avec les VÉB 1 et 2 lorsque la température d'essai est passée de 20 °C à -18 °C /-20 °C.

La figure 2 montre le taux de décharge c.c. de la batterie principale en wattheures par kilomètre (Wh/km) pour le cycle de conduite LA4. La consommation d'énergie électrique est en forte corrélation avec la baisse de la température de la cellule d'essai de -7 °C à -18 °C/-20 °C; elle est en revanche moins marquée lorsque la température passe de 20 °C à -7 °C.

Pour les VÉB 1 et 2, l'efficacité inférieure du cycle (voir les tableaux 1-3) combinée à la capacité inférieure de la batterie (voir le tableau 4) explique la baisse d'autonomie de 20°C à -7 °C. Pour le VÉB 3, la baisse d'autonomie, de 20 °C à -7 °C, découle de la combinaison d'un taux de décharge d'énergie supérieur et d'une baisse de la capacité de la batterie.

À la figure 2, le taux de décharge de l'énergie du VÉB 2 devrait être supérieur avec le chauffage activé par rapport à ce que montre la figure. Cependant, il n'a pas été possible de gérer le chauffage de l'habitacle séparément, comme l'indique le tableau 2. Par conséquent, les calculs de l'efficacité du cycle du VÉB 2, avec le chauffage de l'habitacle activé, n'incluent pas une composante significative de la dépense d'énergie totale et ne devraient pas être comparés avec les calculs des VÉB 1 et 3.

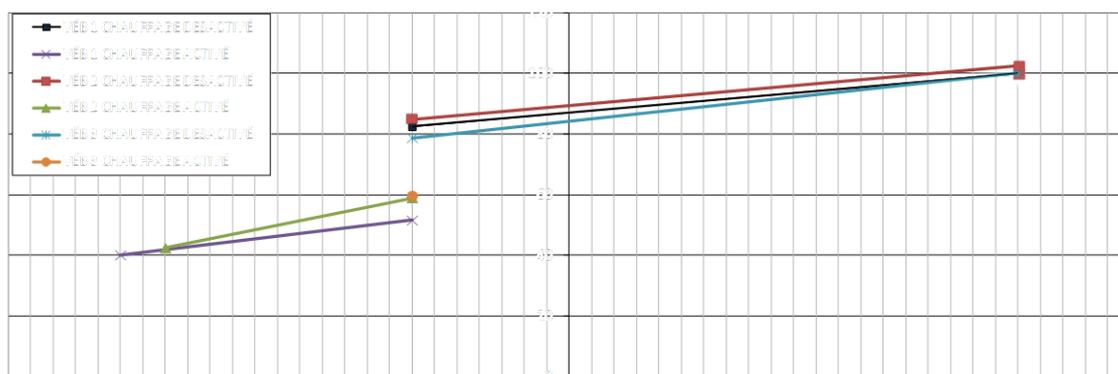


Figure 1 : Consommation d'énergie du véhicule lors du cycle en ville – normalisé au cycle LA4 à 20 °C

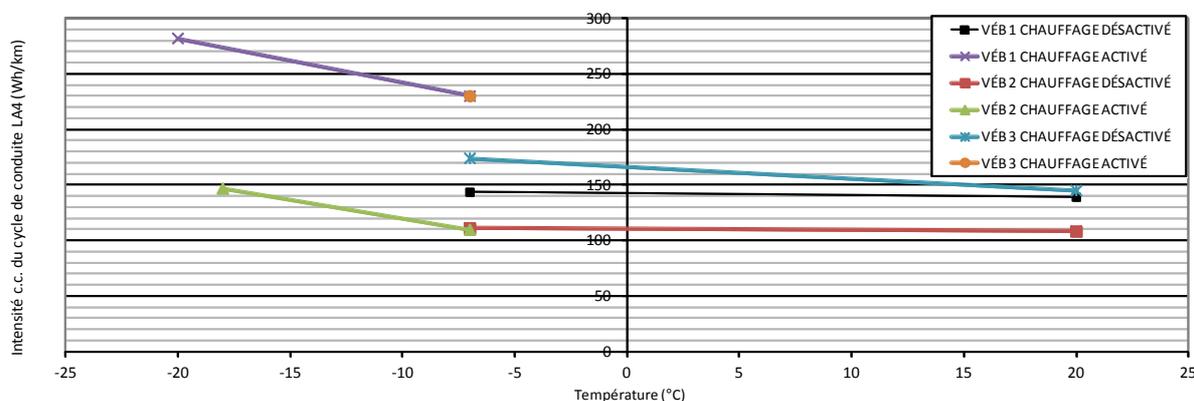


Figure 2 : Intensité du véhicule lors du cycle de conduite en ville

La figure 3 présente les résultats comparatifs des cycles de conduite sur route normalisés selon l'autonomie LA4 de chaque véhicule à 20 °C, comme le montre la figure 1. L'incidence relative de la température et du chauffage de l'habitacle sur l'autonomie des trois VÉB testés a été marquante et identique, en termes d'importance, à la réduction d'autonomie observée au cours du cycle LA4. À 20 °C, chaque véhicule a parcouru environ 10 % de parcours en moins par rapport au cycle LA4. L'incidence des basses températures (-7 °C) s'est traduite par une réduction de l'autonomie d'environ 18 % comparé à une

température de 20 °C, ce pour le VÉB 1 sans chauffage d'habitacle; cette réduction a été identique à l'amplitude mesurée du cycle LA4. À -7 °C, avec le chauffage d'habitacle activé, l'autonomie du VÉB 1 a été réduite d'environ 20 % supplémentaire comparé à une situation sans chauffage à -7 °C. À -18 °C et -20 °C, avec le chauffage d'habitacle activé, l'autonomie a été réduite de 46 % et de 43 % respectivement, comparé au cycle à 20 °C. L'autonomie du VÉB 2 a diminué de 35 % à -18 °C par rapport à son autonomie à -7 °C.

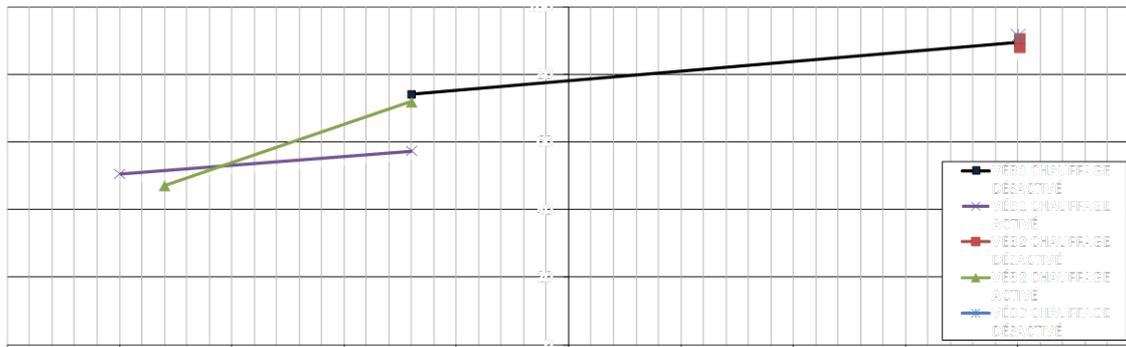


Figure 3 : Consommation d'énergie du véhicule lors du cycle sur route - normalisé selon le cycle LA4 à 20 °C

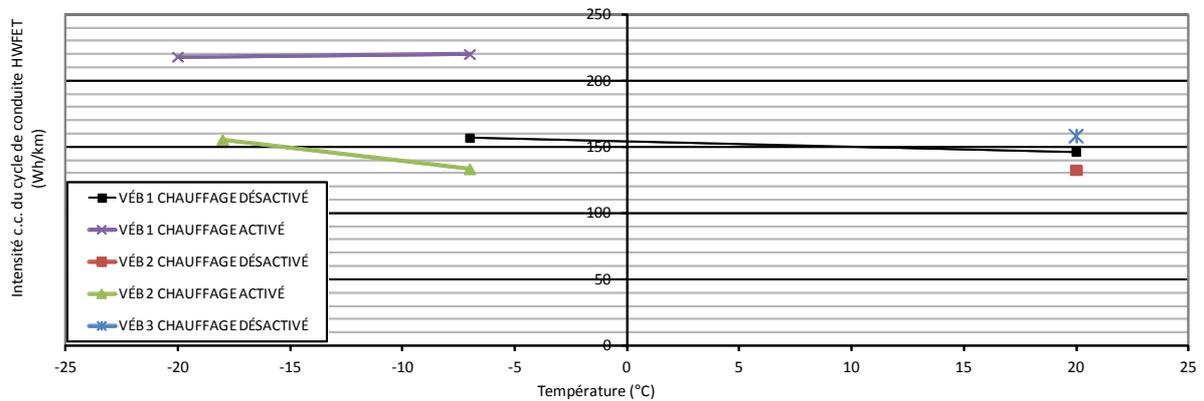


Figure 4 : Intensité c.c. propre au cycle de conduite sur route

La figure 4 montre le taux de décharge c.c. de la batterie principale en wattheure par kilomètre pour le cycle de conduite sur route. Étant donné le nombre limité d'essais effectués durant le cycle de conduite sur route, il est difficile d'établir l'existence d'une tendance bien définie. L'étude de l'ensemble des cycles de conduite des tableaux 1 à 3 révèle néanmoins une tendance générale caractérisée par des taux de décharge de batterie plus élevés lorsque la température de la cellule d'essai diminue. Dans le cas du VÉB 2, la consommation d'énergie est également sous-estimée, car elle ne représente pas l'énergie supplémentaire utilisée par les batteries principales pour chauffer l'habitacle. Il est intéressant de souligner que la consommation d'énergie c.c. du VÉB 1 est restée quasiment la même avec le chauffage d'habitacle activé à -7 °C et à -20 °C. Cependant, si l'on regarde l'énergie c.a. rechargée dans la batterie après l'essai, l'efficacité globale du cycle est passée de 85 % à -7 °C à 71 % à -20 °C; les batteries principales ont en effet affichées une capacité disponible moindre,

ce qui s'est traduit par une autonomie inférieure à celle indiquée à la figure 3.

Comme le montre le tableau 4, la capacité de la batterie des trois VÉB a été réduite de 4 à 9 % aux basses températures (-7 °C, -18 °C/-20 °C) par rapport à la température d'essai de 20 °C. Dans le cas du VÉB 2, l'énergie de charge c.a. a été réduite de 4 % à -7 °C et de 8 % à -18 °C sur le cycle LA4. Ces résultats indiquent que la capacité de la batterie, lorsqu'elle se définit comme étant l'énergie de sortie c.a. totale requise pour recharger une batterie à un plein état de charge, n'est pas une valeur statique unique. Il faudrait en tenir compte lorsqu'on utilise les taux de consommation d'énergie des essais abrégés (obtenus lors d'essais par temps froid) et la capacité globale de la batterie (qui prévaut lors d'un essai à 20 °C) pour estimer l'autonomie par temps froid. L'exception concerne le VÉB 1, dont la capacité de la batterie à -18 °C/-20 °C a été mesurée à 1,02.

Tableau 4 : Capacité c.a. de la batterie pour les cycles LA4 et HW

Cycle de conduite	Cellule d'essai (°C)	Chauffage act/désact	Capacité c.a. du VÉB 1 (kWh)	Capacité c.a. du VÉB 2 (kWh)	Capacité c.a. du VÉB 3 (kWh)
LA4	20	Désact.	1,00	1,00	1,00
LA4	-7	Activé	0,96	0,98	0,92
LA4	-7	Désact	0,96	0,96	0,91
LA4	-18/-20	Activé	0,97	0,92	
HW	20	Désact	1,00	1,02	1,00
HW	-7	Activé	0,98	0,98	
HW	-7	Désact	0,96		
HW	-18/-20	Activé	1,02	0,93	

## 4 Récapitulatif

Une température ambiante basse et l'activation associée du dispositif de chauffage de l'habitacle ont une incidence significative sur l'autonomie globale du véhicule. Cette situation pose non seulement un problème de performance pour les utilisateurs des VÉB, mais également un problème de sécurité dans certaines conditions, notamment si le véhicule perd de la puissance alors qu'il se trouve dans la circulation. Le gouvernement et l'industrie devraient faire part de cet état de fait aux utilisateurs des VÉB afin d'éviter toute expérience négative des consommateurs. Une telle expérience pourrait en effet avoir un impact sur l'introduction des VÉB sur le marché nord-américain.

À -7 °C, l'utilisation du chauffage de l'habitacle a réduit l'autonomie de conduite d'environ 25 % (comparé à une conduite sans chauffage à -7 °C). À -18 °C et avec une utilisation maximale du chauffage d'habitacle, l'autonomie du véhicule a été réduite de plus de 50 % (comparé à une conduite sans chauffage ni climatisation à 20 °C).

Les procédures d'essais abrégés permettent d'établir une approximation raisonnable des essais d'autonomie maximale, et d'offrir ainsi des économies substantielles en termes de ressources de laboratoire. Il serait probablement possible d'obtenir des estimations d'autonomie précises par temps froid en utilisant la consommation d'énergie du cycle LA4 déduite à partir d'un essai abrégé par temps froid et la capacité de la batterie par temps froid (à partir d'un essai par temps froid en condition stable à 55 mi/h).

La répétabilité des essais par temps froid semble similaire à la répétabilité des essais à 20 °C. En revanche, la répétabilité des essais abrégés peut être affectée par l'intervention intermittente des

systèmes de gestion de la batterie. Ce phénomène n'a pas été souligné lors des essais d'autonomie maximale.

Les variations touchant la gestion de la batterie, les procédures de chargement et les modes de conduite propres à chaque constructeur peuvent présenter un défi de réglementation concernant la mesure et la publication de l'autonomie des VÉB. La plupart des constructeurs offrent un mode « d'autonomie maximale » et un mode « performance ». Les méthodes utilisées pour mettre en œuvre ces modes varient aussi selon les constructeurs. Pour certains constructeurs, le mode d'autonomie est obtenu en réduisant l'accélération maximale. Pour d'autres constructeurs, l'autonomie est obtenue en augmentant l'autonomie d'utilisation de l'état de charge disponible de la batterie. Les organismes de réglementation doivent donc prendre en charge la tâche qui consiste à évaluer équitablement les réglages initiaux des véhicules avant que les essais d'autonomie des VÉB soient effectués.

Il est également requis d'effectuer d'autres essais avec commande de chauffage régulée et/ou sièges chauffés à la place des essais à « chauffage maximal », et d'étudier les effets du chauffage d'habitacle préconditionné (habitacle préchauffé lors de la mise en charge).

## Remerciements

Les auteurs souhaiteraient remercier le personnel de la SRME d'Environnement Canada pour avoir pris en charge les essais au dynamomètre prévus dans le cadre des travaux décrits dans le présent document, et plus particulièrement Greg Rideout, Peter Barton, Joseph Edgar et Jill Hendren.

Les auteurs remercient également l'ingénieur Marc Belzile du programme éTV de Transports Canada pour avoir compilé les résultats du VÉB 3 et permis leur utilisation dans le présent document aux fins de diffusion.

Les auteurs, et plus spécialement Transports Canada, remercient les constructeurs de véhicule qui ont fourni un soutien technique pendant les essais lorsque cela s'avérait nécessaire.

## Documents de référence

[1] M. Christensen, J. Edgar, *ERMS Report #10-21, Electric Vehicle 5-Cycle Testing and Test Procedure Investigation*. 2010.

[2] California Air Resources Board; *California Exhaust Emissions Standards and Test Procedures for 2009 and Subsequent Model Zero-Emission Vehicles and Hybrid Electric Vehicles, in Passenger Car, Light-Duty and Medium Duty Vehicle Classes*; décembre 2007.

[3] Disponible auprès du Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402.

*40CFR 86 - EPA; Control of Emissions from New and In-Use Highway Vehicles and Engines; Certification and Test Procedures*

*40CFR 600 - EPA; Fuel Economy of Motor Vehicles*

[4] Disponible auprès de la Society of Automotive Engineers, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001.

*SAE J 1263: Road Load Measurement and Dynamometer Simulation Using Coastdown Techniques*

*SAE J 1634: Electric Vehicle Energy Consumption and Range Test Procedure*

## Auteurs

Norm Meyer est le responsable technique d'écoTECHNOLOGIE pour le programme de véhicules de Transports Canada. Son expérience couvre les domaines suivants : essais des moteurs marins, des autobus hybrides et à pile à combustible et des véhicules électriques à batterie. Il a obtenu sa *M.Sc.A* en génie environnemental à l'Université Carleton d'Ottawa, Canada.

Ian Whittal est un ingénieur en véhicules à technologie de pointe de Transports Canada depuis 2007. Il a acquis de l'expérience dans les domaines suivants : essais des véhicules électriques à batterie, piles à hydrogène et moteurs à combustion interne à rendement élevé. Il a obtenu son *B.Ing* en génie mécanique à l'Université Carleton d'Ottawa, Canada.

Martha Christenson met à l'essai des véhicules hybrides/électriques à batterie à la SRME depuis 2007. Elle a obtenu son *B.Sc.* en génie mécanique à l'Université Queen de Kingston, Canada, et sa *M.Sc.A* en génie environnemental à l'Université Carleton d'Ottawa, Canada.

Aaron Loiseau-Lapointe est un ingénieur de projet à la Section de la recherche et de la mesure des émissions d'Environnement Canada, où il supervise une variété de programmes de source mobile. Actuellement, il dirige le portefeuille de mobilité électrique à la SRME et il est membre du Comité SAE J1634. Aaron possède une maîtrise en génie environnemental et un baccalauréat en génie aérospatial.

