

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉLÉMENTS D'ACCUMULATEURS LITHIUM-ION POUR LA PROPULSION
DES VÉHICULES ROUTIERS ÉLECTRIQUES –

Partie 1: Essais de performance

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62660-1 a été établie par le comité d'études 21 de la CEI: Accumulateurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
21/728/FDIS	21/732/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série des CEI 62660, publiées sous le titre général *Eléments d'accumulateurs lithium-ion pour la propulsion des véhicules routiers électriques*, est disponible sur le site Internet de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTRODUCTION

La commercialisation des véhicules routiers électriques, comprenant les véhicules électriques à batterie, les véhicules électriques hybrides et hybrides rechargeables, a été accélérée sur le marché international, répondant ainsi aux préoccupations mondiales concernant la réduction du CO₂ et la sécurité en matière d'énergie. Par voie de conséquence, cela a conduit à une demande rapidement croissante de batteries de traction de forte puissance et de grande densité énergétique. On estime que les batteries lithium-ion sont les batteries d'accumulateurs les plus prometteuses pour la propulsion des véhicules électriques. Du fait de la diffusion rapide des véhicules électriques hybrides et de l'émergence des véhicules électriques à batterie d'accumulateurs et hybrides rechargeables, une méthode normalisée d'essai relative aux exigences de performance des batteries lithium-ion est indispensable pour fixer un niveau de performance de base et obtenir des données essentielles pour la conception des systèmes des véhicules et des blocs de batteries.

La présente norme a pour but de spécifier les essais de performance des éléments lithium-ion destinés à la traction automobile qui diffèrent fondamentalement des autres éléments y compris ceux destinés aux applications portatives et fixes spécifiées par les autres normes CEI. Dans le cas d'une application automobile, il est important de considérer la spécificité d'usage, c'est-à-dire la diversité de conception des blocs et des systèmes de batteries pour automobile, ainsi que la diversité des exigences spécifiques relatives aux éléments et aux batteries correspondant à chacune de ces conceptions. Basé sur ces faits, le but de la présente norme est de fournir une méthodologie fondamentale d'essais ayant une polyvalence générale, remplissant une fonction d'essais préliminaires communs pour les éléments lithium-ion destinés à être utilisés dans divers systèmes de batterie.

La présente norme est associée à l'ISO 12405-1 et à l'ISO 12405-2¹.

La CEI 62660-2 spécifie les essais de fiabilité et de traitement abusif des éléments lithium-ion pour application aux véhicules électriques.

ÉLÉMENTS D'ACCUMULATEURS LITHIUM-ION POUR LA PROPULSION DES VÉHICULES ROUTIERS ÉLECTRIQUES –

Partie 1: Essais de performance

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62660 spécifie les essais de performance et de durée de vie des accumulateurs lithium-ion utilisés pour la propulsion des véhicules électriques, incluant les véhicules électriques à batterie d'accumulateurs (BEV) et les véhicules électriques hybrides (HEV).

L'objet de la présente norme est de spécifier les procédures d'essai afin d'obtenir les caractéristiques essentielles des éléments lithium-ion destinés aux applications de propulsion de véhicules; ces caractéristiques concernent la capacité, la densité de puissance, la densité d'énergie, la durée de stockage et la durée de vie.

La présente norme spécifie les procédures d'essai et les conditions normalisées pour effectuer les essais des caractéristiques de performance fondamentales des éléments lithium-ion destinés aux applications de propulsion de véhicules; ces caractéristiques sont indispensables pour fixer un niveau de performance de base et obtenir des données essentielles pour diverses conceptions de systèmes de batteries et de blocs de batteries.

NOTE 1 En plus des conditions spécifiées par la présente norme, des conditions d'essai spécifiques, basées sur un accord entre le fabricant et le client, peuvent être choisies. Des conditions d'essai sélectives sont décrites à l'Annexe A.

NOTE 2 Les essais de performance des éléments lithium-ion connectés électriquement peuvent être effectués en faisant référence à la présente norme.

NOTE 3 La spécification d'essai pour les blocs et systèmes de batterie est définie dans l'ISO 12405-1 et l'ISO 12405-2 (à l'étude).

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050-482, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 482: Piles et accumulateurs électriques*

CEI 61434, *Accumulateurs alcalins et autres accumulateurs à électrolyte non acide – Guide pour l'expression des courants dans les normes d'accumulateurs alcalins*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60050-482 et les suivants s'appliquent.

3.1

véhicule électrique à batterie

BEV, en anglais *battery electric vehicle*

véhicule électrique comportant seulement une batterie d'accumulateurs de traction comme source d'énergie pour sa propulsion

3.2

véhicule électrique hybride

HEV, en anglais *hybrid electric vehicle*

véhicule comportant à la fois un système de stockage d'énergie électrique rechargeable et une source d'énergie à carburant pour sa propulsion

3.3

capacité assignée

quantité d'électricité C_3 Ah (ampère-heures) pour un BEV et C_1 Ah pour un HEV, déclarée par le fabricant

3.4

courant d'essai de référence

I_t

courant en ampères, exprimé comme

$$I_t = C_n \text{ (Ah)} / 1 \text{ (h)}$$

où

C_n est la capacité assignée de l'élément;

n est le temps de base (heures)

3.5

température ambiante

température de $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$

3.6

accumulateur lithium-ion

accumulateur unitaire dont l'énergie électrique provient des réactions d'insertion/d'extraction d'ions lithium entre l'anode et la cathode

NOTE 1 L'élément accumulateur est un dispositif unitaire manufacturé élémentaire fournissant une source d'énergie électrique par conversion directe de l'énergie chimique. L'élément est constitué d'électrodes, de séparateurs, d'électrolyte, du conteneur et des bornes; il est conçu pour être chargé électriquement.

NOTE 2 Dans la présente norme, le terme "accumulateur" ou "élément d'accumulateur" signifie "accumulateur lithium-ion" destiné à être utilisé pour la propulsion des véhicules routiers électriques.

3.7

état de charge

SOC, en anglais *state of charge*

capacité disponible d'une batterie, exprimée en pourcentage de la capacité assignée

4 Conditions d'essai

4.1 Généralités

Les caractéristiques des instruments de mesure utilisés doivent être données dans tous les rapports de résultats.

4.2 Instruments de mesure

4.2.1 Gamme des dispositifs de mesure

Les appareils utilisés doivent permettre de mesurer les valeurs de tension et de courant. L'échelle et les méthodes de mesure de ces instruments doivent être choisies de façon à garantir la précision spécifiée pour chaque essai.

Pour des instruments analogiques, cela implique que les lectures doivent être effectuées sur le dernier tiers de l'échelle graduée.

Tout autre instrument de mesure peut être utilisé dans la mesure où il donne une précision équivalente.

4.2.2 Mesure de la tension

La résistance des voltmètres utilisés doit être d'au moins 1 M Ω /V.

4.2.3 Mesure du courant

L'ensemble complet ampèremètre, shunt et fils doit être d'une classe de précision supérieure ou égale à 0,5.

4.2.4 Mesure de la température

La température de l'élément doit être mesurée à l'aide d'un dispositif de mesure de la température de surface permettant une définition d'échelle et une précision d'étalonnage équivalentes à celles indiquées en 4.2.1. Il convient que la température soit mesurée à l'endroit qui reflétera le mieux la température de l'élément. La température peut être mesurée à d'autres endroits appropriés, si nécessaire.

La Figure 1 montre des exemples de mesure de la température. Les instructions de mesure de la température spécifiées par le fabricant doivent être respectées.

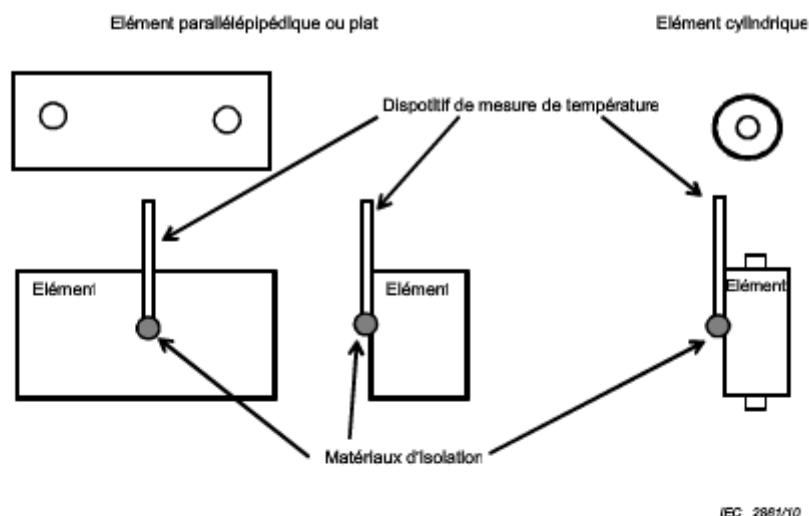


Figure 1 – Exemple de mesure de température d'un élément

4.2.5 Autres mesures

D'autres valeurs, comprenant la capacité et la puissance, peuvent être mesurées au moyen d'un appareil de mesure, à condition qu'il satisfasse à 4.3.

4.3 Tolérances

La précision globale des valeurs contrôlées (ou mesurées), relatives aux valeurs spécifiées (ou réelles), doit être dans les tolérances suivantes:

- a) $\pm 0,1$ % pour la tension;
- b) ± 1 % pour le courant;
- c) ± 2 K pour la température;
- d) $\pm 0,1$ % pour le temps;
- e) $\pm 0,1$ % pour la masse;
- f) $\pm 0,1$ % pour les dimensions.

Ces tolérances comprennent la précision combinée des instruments de mesure, de la technique de mesure utilisée, et de toutes les autres sources d'erreur de la procédure d'essai.

4.4 Température d'essai

Si cela n'est pas défini par ailleurs, avant chaque essai, l'élément doit être stabilisé à la température d'essai pendant 12 h au minimum. Cette période peut être réduite si la stabilisation thermique est atteinte. La stabilisation thermique est considérée comme étant atteinte si, sur un intervalle de temps de 1 h, la variation de température de l'élément est inférieure à 1 K.

Sauf indication contraire dans la présente norme, les éléments doivent être soumis aux essais à la température ambiante, en utilisant la méthode indiquée par le fabricant.

5 Mesures dimensionnelles

La dimension maximale de largeur totale, d'épaisseur totale, ou du diamètre, et de longueur totale d'un élément doit être mesurée avec trois chiffres significatifs, selon les tolérances de 4.3.

Des exemples de dimensions maximales sont donnés par les Figures 2a à 2f.



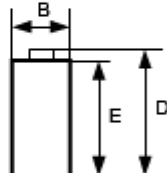
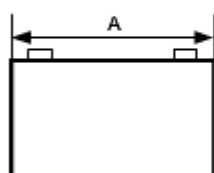
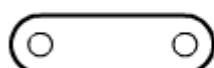
IEC 2862/10

Figure 2a – Élément cylindrique (1)



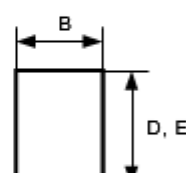
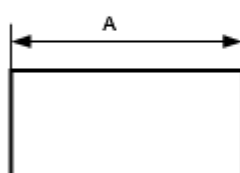
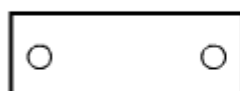
IEC 2863/10

Figure 2b – Élément cylindrique (2)



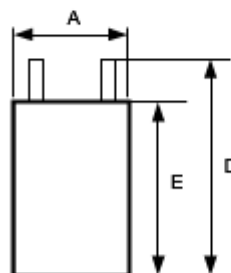
IEC 2884/10

Figure 2c – Élément prismatique (1)



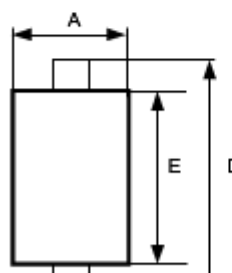
IEC 2885/10

Figure 2d – Élément prismatique (2)



IEC 2886/10

Figure 2e – Élément plat (1)



IEC 2887/10

Figure 2f – Élément plat (2)

Légende

- A largeur totale
- B épaisseur totale
- C diamètre
- D longueur totale (bornes comprises)
- E longueur totale (bornes non comprises)

Figure 2 – Exemples de dimension maximale de l'élément

6 Mesure de la masse

La masse d'un élément est mesurée avec trois chiffres significatifs, selon les tolérances de 4.3.

7 Mesures électriques

Durant chaque essai, tension, courant et température doivent être enregistrés.

7.1 Conditions générales de charge

Sauf indication contraire dans la présente norme, avant l'essai des mesures électriques, l'élément doit être chargé comme indiqué ci-après.

Avant la charge, l'élément doit être déchargé à la température ambiante, à un courant constant donné par le Tableau 1, jusqu'à une tension finale spécifiée par le fabricant. Puis l'élément doit être chargé conformément à la méthode de charge préconisée par le fabricant, à la température ambiante.

7.2 Capacité

La capacité de l'élément doit être mesurée conformément aux étapes suivantes.

Etape 1 - L'élément doit être chargé conformément à 7.1.

Après la recharge, la température de l'élément doit être stabilisée conformément à 4.4.

Etape 2 - L'élément doit être déchargé à la température spécifiée, à un courant constant I_t (A), jusqu'à la tension finale donnée par le fabricant. Les courants de décharge et les températures indiqués dans le Tableau 1 doivent être utilisés.

NOTE Des conditions sélectives d'essai sont précisées au Tableau A.1 de l'Annexe A.

La méthode d'expression du courant d'essai, I_t , est définie par la CEI 61434.

Tableau 1 – Conditions de décharge

Température °C	Courant de décharge A	
	Application BEV	Application HEV
0	$1/3 I_t$	$1 I_t$
25		
45		

Etape 3 - Mesurer la durée de décharge jusqu'à atteindre la tension finale spécifiée, et calculer la capacité de l'élément, exprimée en Ah, avec trois chiffres significatifs.

7.3 Ajustement de l'état de charge (SOC)

Les éléments soumis à l'essai doivent être chargés comme indiqué ci-dessous. L'ajustement de l'état de charge (SOC) est la procédure à suivre pour préparer les éléments aux divers états de charge (SOC) destinés aux essais de la présente norme.

Etape 1 - L'élément doit être chargé conformément à 7.1.

Etape 2 - L'élément doit être laissé au repos, à la température ambiante, conformément à 4.4.

Etape 3 - L'élément doit être déchargé à un courant constant conformément au Tableau 1 $(100 - n)/100 \times 3$ h pour une application BEV et $(100 - n)/100 \times 1$ h pour une application de HEV, où n est le SOC (%) à ajuster à chaque essai.

7.4 Puissance

7.4.1 Méthode d'essai

L'essai doit être effectué conformément à la procédure suivante.

a) Mesure de la masse

La masse de l'élément doit être mesurée comme indiqué à l'Article 6.

b) Mesures dimensionnelles

Les dimensions de l'élément doivent être mesurées comme indiqué à l'Article 5.

c) Essai des caractéristiques courant-tension

Les caractéristiques courant-tension doivent être déterminées en mesurant la tension à la fin de l'impulsion de 10 s, lorsque l'élément est déchargé par un courant constant et chargé dans les conditions spécifiées ci-dessous.

- 1) Le SOC doit être ajusté à 20 %, 50 %, et 80 % conformément à la procédure spécifiée en 7.3.
- 2) La température de l'élément au début de l'essai doit être fixée à 40 °C, 25 °C, 0 °C, et -20 °C.
- 3) L'élément est chargé ou déchargé à chaque valeur de courant correspondant au niveau respectif de capacité assignée, et la tension est mesurée à la fin de l'impulsion de 10 s. La plage de courant de charge et de décharge doit être spécifiée par le fabricant, et l'intervalle de mesure normalisé doit être de 1 s. Si la tension après 10 s excède la tension de la limite inférieure de décharge ou la tension de la limite supérieure de charge, les données de mesure doivent être omises.

NOTE Il convient que les limites de charge/décharge à basse température spécifiées par le fabricant soient prises en considération.

Le Tableau 2 donne des exemples de courant de charge et de décharge, selon les applications. Si nécessaire, le courant maximal de charge et de décharge est spécifié par le fabricant de l'élément (I_{\max}). Cette valeur peut être réduite suite à un accord avec le client. Le courant maximal de charge et de décharge peut être appliqué après la mesure à $5 I_t$ pour une application BEV et à $10 I_t$ pour une application HEV. La valeur de I_{\max} change selon le SOC, la température de l'essai et l'état de charge ou de décharge.

Tableau 2 – Exemples de courants de charge et de décharge

Application	Courant de charge et de décharge				
	A				
BEV	$1/3 I_t$	$1 I_t$	$2 I_t$	$5 I_t$	I_{\max}
HEV	$1/3 I_t$	$1 I_t$	$5 I_t$	$10 I_t$	I_{\max}

- 4) Un temps de repos de 10 min doit être accordé entre les impulsions de charge et de décharge, ainsi qu'entre celles de décharge et de charge. Cependant, si la température de l'élément après 10 min n'est pas à la température d'essai à 2 K près, il doit être davantage refroidi; l'alternative est de prolonger la durée du temps de repos et de surveiller sa température pour voir si elle se stabilise à 2 K près. Ensuite, la procédure suivante de décharge ou de charge est poursuivie.

- 5) L'essai est effectué conformément aux diagrammes donnés aux Figures 3a et 3b.

NOTE 1 Des conditions d'essai sélectives sont précisées au Tableau A.2 de l'Annexe A.

NOTE 2 La ligne de caractéristique courant-tension peut être obtenue par approximation linéaire, en utilisant les valeurs mesurées du courant et de la tension, à partir desquelles I_{max} et la puissance peuvent être calculés. La pente de cette ligne montre la résistance interne de l'élément.

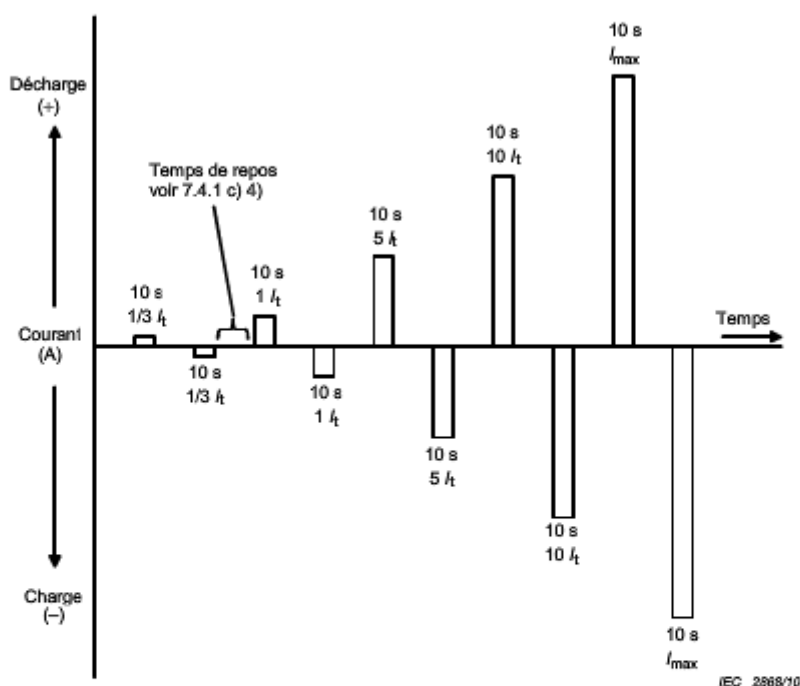


Figure 3a – Ordre des essais de la caractéristique courant-tension pour application HEV
(suite à la page suivante)

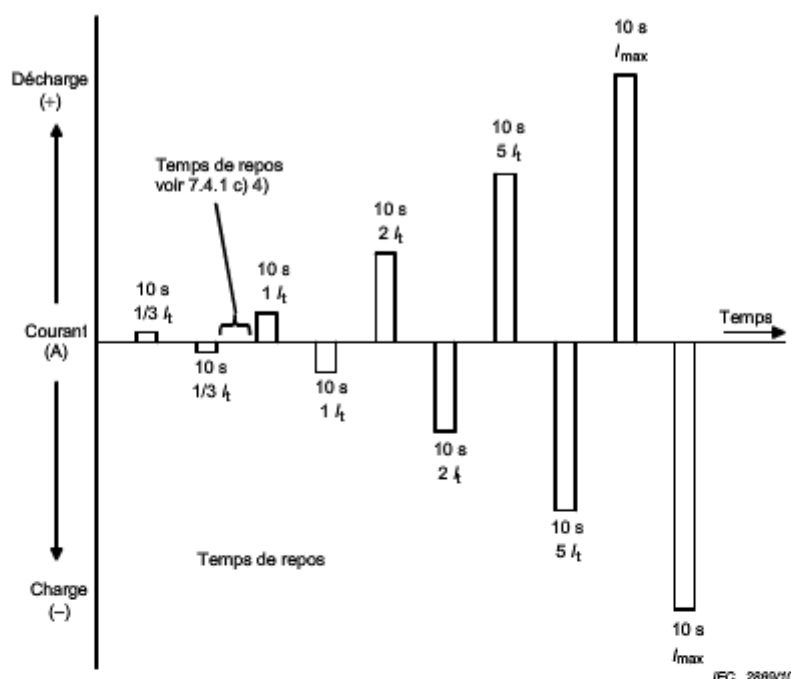


Figure 3b – Ordre des essais de la caractéristique courant-tension pour application BEV

Figure 3 – Ordre des essais de la caractéristique courant-tension

7.4.2 Calcul de la densité de puissance

7.4.2.1 Puissance

La puissance doit être calculée conformément à l'équation (1) et est arrondie à trois chiffres significatifs.

$$P_d = U_d \times I_{dmax} \quad (1)$$

où

P_d est la puissance (W);

U_d est la tension mesurée à la fin de l'impulsion de décharge I_{dmax} de 10 s (V);

I_{dmax} est le courant décharge maximal spécifié par le fabricant (A).

Si P_d est une valeur estimée, cela doit être indiqué.

7.4.2.2 Densité de puissance par unité de masse

La densité de puissance massique est calculée à partir de l'équation (2), et est arrondie à trois chiffres significatifs.

$$P_{pd} = \frac{P_d}{m} \quad (2)$$

où

ρ_{pd} est la densité de puissance massique (W/kg);
 P_d est la puissance (W);
 m est la masse de l'élément (kg).

7.4.2.3 Densité de puissance par unité de volume

La densité de puissance volumique doit être calculée à partir de l'équation (3), et est arrondie à trois chiffres significatifs.

$$\rho_{pvm} = \frac{P_d}{V} \quad (3)$$

où

ρ_{pvm} est la densité de puissance volumique (W/l);
 P_d est la puissance (W);
 V est le volume de l'élément (l).

Le volume d'un élément parallélépipédique ou plat est donné par le produit de sa hauteur totale, à l'exclusion des bornes, de sa largeur, et de sa longueur, et celui d'un élément cylindrique est donné par le produit de la section transversale du cylindre et de sa longueur totale, à l'exclusion des bornes.

7.4.3 Calcul de la densité de puissance régénérative

7.4.3.1 Puissance régénérative

La puissance régénérative doit être calculée conformément à l'équation (4) et est arrondie à trois chiffres significatifs.

$$P_c = U_c \times I_{cmax} \quad (4)$$

où

P_c est la puissance régénérative (W);
 U_c est la tension mesurée à la fin de l'impulsion de la charge I_{cmax} de 10 s (V);
 I_{cmax} est le courant charge maximal spécifié par le fabricant (A).

Si P_c est une valeur estimée, cela doit être indiqué.

7.4.3.2 Densité de puissance régénérative par unité de masse

La densité de puissance régénérative massique doit être calculée à partir de l'équation (5), et est arrondie à trois chiffres significatifs.

$$\rho_{pc} = \frac{P_c}{m} \quad (5)$$

où

ρ_{pc} est la densité de puissance régénérative massique (W/kg);
 P_c est la puissance régénérative (W);
 m est la masse de l'élément (kg).

7.4.3.3 Densité de puissance régénérative par unité de volume

La densité de puissance régénérative volumique est calculée à partir de l'équation (6), et est arrondie à trois chiffres significatifs.

$$\rho_{pvimc} = \frac{P_c}{V} \quad (6)$$

où

ρ_{pvimc} est la densité de puissance régénérative volumique (W/l);

P_c est la puissance régénérative (W);

V est le volume de l'élément (l).

Le volume d'un élément parallélépipédique ou plat est donné par le produit de sa hauteur totale, à l'exclusion des bornes, de sa largeur, et de sa longueur, et celui d'un élément cylindrique est donné par le produit de la section transversale du cylindre et de sa longueur totale, à l'exclusion des bornes.

7.5 Énergie

7.5.1 Méthode d'essai

La densité d'énergie massique (Wh/kg) et la densité d'énergie volumique (Wh/l) des éléments sous une décharge de courant de $1/3 I_t$ (A) pour une application BEV et de $1 I_t$ (A) pour une application HEV doivent être déterminées conformément à la procédure suivante.

a) Mesure de la masse

Le masse de l'élément doit être mesurée comme indiqué à l'Article 6.

b) Mesures dimensionnelles

Les dimensions de l'élément doivent être mesurées comme indiqué à l'Article 5.

c) Mesure de capacité

La capacité de l'élément doit être déterminée à la température ambiante, conformément à 7.2.

d) Calcul de la tension moyenne

La valeur de la tension moyenne pendant la décharge, lors de l'essai de capacité ci-dessus, doit être obtenue en intégrant la tension de décharge dans le temps et en divisant le résultat par la durée de décharge. La tension moyenne est calculée d'une façon simple, en utilisant la méthode suivante: Les tensions de décharge U_1, U_2, \dots, U_n , sont notées toutes les 5 s à partir du début de la décharge et les tensions atteignant la tension finale en moins de 5 s sont écartées. La tension moyenne U_{avr} est alors calculée de manière simplifiée en utilisant l'équation (7) avec trois chiffres significatifs en arrondissant le résultat.

$$U_{avr} = \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_n}{n} \quad (7)$$

NOTE Les valeurs données par les dispositifs de mesure peuvent être utilisées, si une précision suffisante peut être obtenue.

7.5.2 Calcul de la densité d'énergie

7.5.2.1 Densité d'énergie par unité de masse

La densité d'énergie massique doit être calculée en utilisant les équations (8) et (9) avec trois chiffres significatifs en arrondissant le résultat.

$$W_{ed} = C_d U_{avr} \quad (8)$$

où

W_{ed} est l'énergie électrique de l'élément (Wh);

C_d est la capacité de décharge (Ah) à $1/3 I_t$ (A) pour BEV ou à $1 I_t$ (A) pour HEV;

U_{avr} est la tension moyenne pendant la décharge (V).

$$\rho_{ed} = \frac{W_{ed}}{m} \quad (9)$$

où

ρ_{ed} est la densité d'énergie massique (Wh/kg);

W_{ed} est l'énergie électrique de l'élément (Wh);

m est la masse de l'élément (kg).

7.5.2.2 Densité d'énergie par unité de volume

La densité d'énergie volumique doit être calculée en utilisant l'équation (10) avec trois chiffres significatifs en arrondissant le résultat.

$$\rho_{evlmd} = \frac{W_{ed}}{V} \quad (10)$$

où

ρ_{evlmd} est la densité d'énergie volumique (Wh/l);

W_{ed} est l'énergie électrique de l'élément (Wh);

V est le volume de l'élément (l).

Le volume d'un élément parallélépipédique doit être donné par le produit de sa hauteur totale, à l'exclusion des bornes, de sa largeur, et de sa longueur, et celui d'un élément cylindrique doit être donné par le produit de la section transversale cylindrique et de sa longueur totale, à l'exclusion des bornes.

7.6 Essai de stockage

7.6.1 Essai de conservation de la charge

Les caractéristiques de conservation de la charge de l'élément à un SOC de 50 % doivent être déterminées conformément à la procédure suivante.

Etape 1 - L'élément doit être chargé conformément à 7.1.

Etape 2 - L'élément doit être déchargé à un SOC de 50 % selon la méthode spécifiée en 7.3. Puis, l'élément doit être stabilisé à la température d'essai pendant 1 h.

Etape 3 - Décharger l'élément jusqu'à la tension finale à un courant de décharge de $1/3 I_t$ (A) pour une application BEV et de $1 I_t$ (A) pour une application HEV et à la température ambiante. Cette capacité de décharge est C_b .

Etape 4 - Répéter les étapes 1 et 2.

Etape 5 - L'élément doit être stocké pendant 28 jours à une température ambiante de $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

Etape 6 - Décharger l'élément à un courant constant de $1/3 I_t$ (A) pour une application BEV et de $1 I_t$ (A) pour une application HEV, à la température ambiante, jusqu'à la tension finale et ensuite mesurer sa capacité. Cette capacité de décharge est C_r .

Le rapport de conservation de la charge doit être calculé conformément à l'équation (11).

$$R = \frac{C_r}{C_b} \times 100 \quad (11)$$

où

R est le rapport de conservation de la charge (%);

C_r est la capacité de l'élément après le stockage (Ah);

C_b est la capacité de l'élément avant le stockage (Ah).

7.6.2 Essai de restitution de performance après stockage

La durée de conservation de l'élément doit être déterminée conformément à la procédure suivante.

Etape 1 - Déterminer la capacité, la densité de puissance et la densité de puissance régénératrice de l'élément, conformément à 7.1, 7.2 et 7.4.

Etape 2 - Ajuster le SOC de l'élément à 100 % pour une application BEV, et à 50 % pour une application HEV, conformément à 7.3. L'élément doit être stocké pendant 42 jours ou 6 semaines à une température ambiante de $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

Etape 3 - A la suite de l'étape 2, l'élément doit être maintenu à la température ambiante conformément à 4.4 et déchargé à un courant de $1/3 I_t$ (A) pour une application BEV et de $1 I_t$ (A) pour une application HEV, jusqu'à la tension finale spécifiée par le fabricant. Mesurer ensuite la capacité de l'élément. Cette capacité de décharge est la capacité résiduelle (Ah) de l'élément.

Etape 4 - Répéter l'étape 1, l'étape 2 et l'étape 3, trois fois.

La capacité, la densité de puissance, la densité de puissance régénérative et la capacité résiduelle mesurée à l'étape 1 et à l'étape 3 doivent être consignées.

Si l'élément est stocké au repos à la température ambiante pendant l'essai de manière, par exemple, à organiser la synchronisation des essais, la durée totale de cette période de repos doit être consignée.

7.7 Essai de durée de vie en cyclage

L'essai de durée de vie en cyclage doit être effectué pour déterminer la dégradation de l'élément pendant les cycles de charge et de décharge.

NOTE 1 La séquence d'essai de durée de vie est donnée à l'Annexe B.

NOTE 2 Des conditions d'essais sélectives sont montrées dans le Tableau A.3 de l'Annexe A.

7.7.1 Test en cyclage BEV

Les performances de durée de vie de l'élément pour une application BEV doivent être déterminées par les méthodes d'essai suivantes.

7.7.1.1 Mesure des performances initiales

Avant le cycle d'essai de charge et de décharge, mesurer la capacité, la capacité dynamique de décharge et la puissance, pour déterminer les performances initiales de l'élément.

– Capacité

La capacité doit être mesurée comme indiqué en 7.2 à $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

– Capacité dynamique de décharge C_D

La capacité dynamique de décharge C_D doit être mesurée à $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ et à $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

La capacité dynamique de décharge est définie par l'intégration en temps des valeurs du courant de charge et de décharge, donnée par l'essai suivant: Décharger répétitivement l'élément complètement chargé suivant le profil dynamique de décharge A défini par le Tableau 3 et par la Figure 4, jusqu'à ce que la tension atteigne la limite inférieure spécifiée par le fabricant.

– Puissance

La puissance doit être mesurée comme indiqué en 7.4, à $25\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, SOC à 50 %.

7.7.1.2 Cycle de charge et de décharge

Le cycle d'essai de charge et de décharge doit être réalisé comme suit.

a) Température

La température ambiante doit être de $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$. Au début du cycle de charge et de décharge, la température de l'élément doit être de $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

b) Cycle de charge et de décharge

Un cycle unique est déterminé par la répétition des étapes suivantes 1 à 4. Le temps de repos entre chaque étape doit être inférieur à 4 h.

Le cycle doit être répété, sans interruption, pendant 28 jours. Ensuite, mesurer les performances de l'élément, comme indiqué en 7.7.1.2 c). Cette procédure doit être répétée jusqu'à l'achèvement de l'essai indiqué en 7.7.1.2 d).

Etape 1 - L'élément doit être complètement déchargé par la méthode spécifiée par le fabricant.

Etape 2 - L'élément doit être complètement chargé par la méthode spécifiée par le fabricant. Le temps de charge doit être inférieur à 12 h.

Etape 3 - Décharger l'élément suivant le profil de décharge dynamique A spécifié par le Tableau 3 et par la Figure 4 jusqu'à ce que la capacité de décharge atteigne l'équivalent de $50\% \pm 5\%$ de la capacité dynamique de décharge C_D , initiale à 45 °C .

Si la tension atteint la limite inférieure spécifiée par le fabricant pendant l'étape 3, l'essai doit être interrompu, malgré la stipulation de 7.7.1.2 d), et les performances de l'élément doivent être mesurées à ce point de l'essai, comme indiqué en 7.7.1.2 c).

Si la température de l'élément atteint la limite supérieure spécifiée par le fabricant pendant l'étape 3, la durée de charge/décharge de l'étape 20 du Tableau 3 peut être prolongée à une valeur appropriée. La durée réelle doit être consignée.

Dans ce profil, la puissance d'essai doit être calculée en utilisant l'équation (12).

$$P_{\max} = NW_{\text{ed}} \quad (12)$$

où

P_{\max} est la puissance d'essai (W);

N est une valeur (1/h) de la puissance maximale demandée par le véhicule à l'élément (W) divisée par l'énergie de l'élément (Wh);

NOTE La valeur $N=3/h$ est un exemple basé sur les spécifications des BEV commercialisés.

W_{ed} est l'énergie électrique de l'élément, à la température ambiante (Wh).

Si la valeur issue de l'équation (12) est supérieure à la puissance maximale de l'élément spécifiée par le fabricant, la puissance d'essai doit être définie comme étant 80 % de la puissance maximale à la température ambiante et au SOC de 20 % spécifié par le fabricant. La valeur de puissance réellement utilisée doit être consignée.

Tableau 3 – Profil dynamique de décharge A pour l'essai de durée de vie - BEV

Pas de charge/décharge	Durée s	Rapport de puissance d'essai %	Charge/décharge
1	16	0,0	-
2	28	+12,5	Décharge
3	12	+25,0	Décharge
4	8	-12,5	Charge
5	16	0,0	-
6	24	+12,5	Décharge
7	12	+25,0	Décharge
8	8	-12,5	Charge
9	16	0,0	-
10	24	+12,5	Décharge
11	12	+25,0	Décharge
12	8	-12,5	Charge
13	16	0,0	-
14	36	+12,5	Décharge
15	8	+100,0	Décharge
16	24	+62,5	Décharge
17	8	-25,0	Charge
18	32	+25,0	Décharge
19	8	-50,0	Charge
20	44	0,0	-

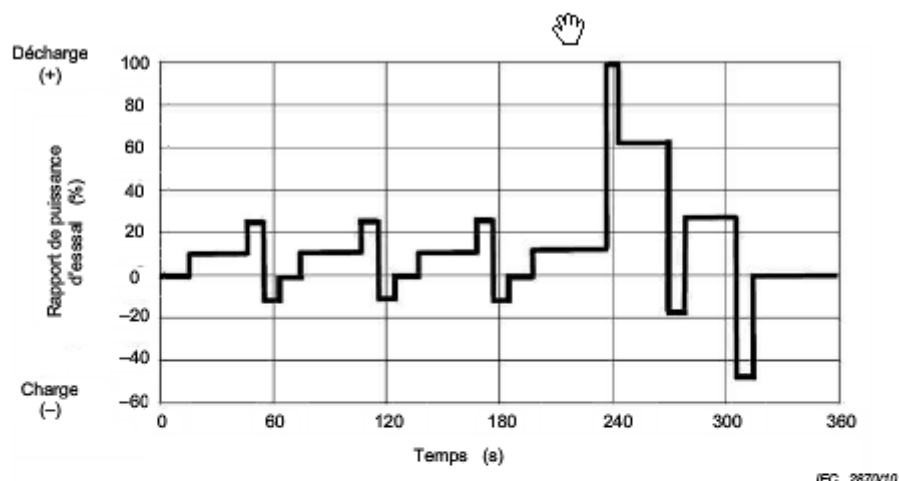


Figure 4 – Profil dynamique de décharge A pour l'essai de durée de vie - BEV

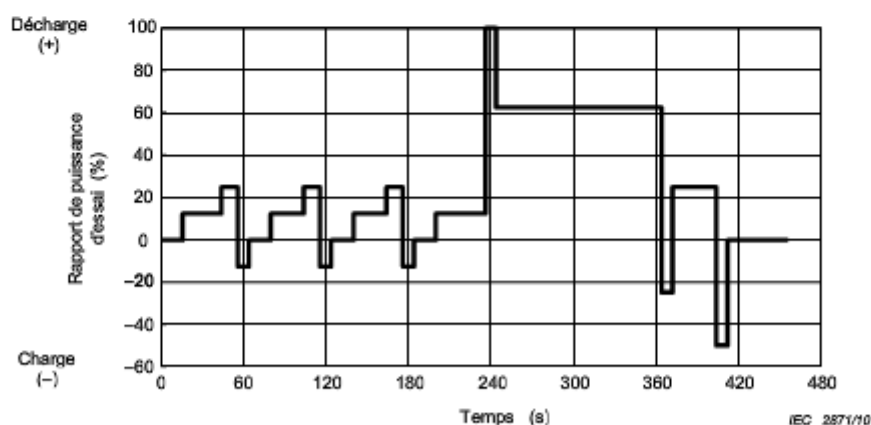
Etape 4 - Décharger l'élément suivant le profil de décharge dynamique B (profil de montée d'une côte) spécifié par le Tableau 4 et par la Figure 5, une seule fois. La puissance d'essai doit être calculée en utilisant l'équation (12).

Si la tension atteint la limite inférieure spécifiée par le fabricant pendant l'étape 4, l'essai doit être interrompu, malgré la stipulation de 7.7.1.2 d), et les performances de l'élément doivent être mesurées à ce point de l'essai, comme indiqué en 7.7.1.2 c).

Si la tension de l'accumulateur atteint fréquemment la tension de la limite inférieure pendant l'pas 16 de charge/décharge, la puissance de décharge et la durée peuvent être modifiées de manière appropriée. Les valeurs réelles d'essai doivent être consignées de manière adéquate.

Tableau 4 – Profil dynamique de décharge B pour l'essai de durée de vie - BEV

Pas de charge/décharge	Durée s	Rapport de puissance d'essai %	Charge/décharge
1	16	0,0	-
2	28	+12,5	Décharge
3	12	+25,0	Décharge
4	8	-12,5	Charge
5	16	0,0	-
6	24	+12,5	Décharge
7	12	+25,0	Décharge
8	8	-12,5	Charge
9	16	0,0	-
10	24	+12,5	Décharge
11	12	+25,0	Décharge
12	8	-12,5	Charge
13	16	0,0	-
14	36	+12,5	Décharge
15	8	+100,0	Décharge
16	120	+62,5	Décharge
17	8	-25,0	Charge
18	32	+25,0	Décharge
19	8	-50,0	Charge
20	44	0,0	-

**Figure 5 – Profil dynamique de décharge B pour l'essai de durée de vie - BEV**

Etape 5 - Décharger l'élément suivant le profil de décharge dynamique A spécifié par le Tableau 3 et par la Figure 4 jusqu'à ce que la capacité de décharge totale, incluant les étapes 3 et 4, atteigne l'équivalent de 80 % de la capacité dynamique de décharge C_D initiale à 45 °C.

Si la température de l'élément atteint la limite supérieure spécifiée par le fabricant pendant l'étape 5, la durée de l'essai de charge/décharge du Tableau 3 peut être prolongée à la valeur appropriée. La durée réelle doit être consignée.

Si la tension atteint la limite inférieure spécifiée par le fabricant pendant l'étape 5, l'essai doit être interrompu, malgré la stipulation de 7.7.1.2 d), et les performances de l'élément doivent être mesurées à ce point de l'essai, comme indiqué en 7.7.1.2 c).

c) Mesure périodique des performances

Après chaque achèvement de la répétition des étapes 1 à 5 pendant 28 jours d'essai, les performances de l'élément doivent être mesurées comme indiqué en 7.7.1.1. Le temps cumulé des étapes 1 à 4 de 7.7.1.2 b) doit être également consigné. La capacité dynamique de décharge ne doit être mesurée qu'à $25 \text{ °C} \pm 2 \text{ K}$.

d) Achèvement de l'essai

L'essai de durée de vie doit être arrêté lorsque l'une des conditions suivantes est satisfaite. Sinon retour à 7.7.1.2 a) et répéter l'essai.

Condition A - La séquence d'essais de 7.7.1.2 a) à 7.7.1.2 c) est répétée 6 fois.

Condition B - Lorsqu'une des performances quelconque mesurée de 7.7.1.2 c) a décliné à moins de 80 % de sa valeur initiale.

Condition C - La température de l'élément atteint la limite supérieure convenue par le fabricant et le client durant l'essai.

Si l'une des conditions ci-dessus n'est pas satisfaite, revenir à 7.7.1.2 a) et répéter l'essai.

Le nombre de fois où chaque profil et chaque cycle ont été mis en œuvre pendant l'essai doit être consigné.

7.7.2 Test en cyclage HEV

Les performances de durée de vie de l'élément pour une application HEV doivent être déterminées par les méthodes d'essai suivantes.

7.7.2.1 Mesure des performances initiales

Avant le cycle d'essai de charge et de décharge, mesurer la capacité et la puissance, pour déterminer les performances initiales de l'élément.

– Capacité

La capacité doit être mesurée comme indiqué en 7.2 à $25 \text{ °C} \pm 2 \text{ K}$.

– Puissance

La puissance doit être mesurée comme indiqué en 7.4, à $25 \text{ °C} \pm 2 \text{ K}$, SOC à 50 %.

7.7.2.2 Tension de changement de profil

Avant l'essai de durée de vie, fixer les tensions pour lesquelles on passera d'un profil à décharge prédominante à un profil à charge prédominante tels que spécifiés en 7.7.2.3 c).

a) Tension de changement du profil à décharge prédominante au profil à charge prédominante

Ajuster le SOC de l'élément à 30 % conformément à 7.3, et effectuer ensuite l'essai de durée de vie avec le profil riche en décharge à 45 °C, une seule fois. La plus faible tension atteinte pendant cet essai doit être la tension de changement du profil à décharge prédominante au profil à charge prédominante. Si la plus faible tension atteinte est inférieure à la tension de la limite inférieure spécifiée par le fabricant, cette dernière doit être la tension de changement. En outre, le SOC recommandé par le fabricant de l'élément peut être utilisé.

- b) Tension de changement du profil à charge prédominante au profil à décharge prédominante

Ajuster le SOC de l'élément à 80 % conformément à 7.3, et effectuer ensuite l'essai de durée de vie avec le profil riche en charge à 45 °C, une seule fois. La plus forte tension atteinte pendant cet essai doit être la tension de changement du profil riche en charge au profil riche en décharge. Si la plus forte tension atteinte est supérieure à la tension de la limite supérieure spécifiée par le fabricant, cette dernière doit être la tension de commutation. En outre, le SOC recommandé par le fabricant de l'élément peut être utilisé.

7.7.2.3 Cycle de charge et de décharge

Le cycle d'essai de charge et de décharge doit être réalisé comme suit.

- a) Température

La température ambiante doit être maintenue à $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ pendant l'essai, conformément à 4.4. Au début du cycle de charge et de décharge, la température de l'élément doit être de $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, conformément à 4.2.4.

- b) Ajustement du SOC avant un cycle de charge et de décharge

Les éléments doivent être laissés à une température de $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, et être ajustés à un SOC de 80 % ou au SOC convenu entre le fabricant et le client, pendant une période de 16 h à 24 h, conformément à 7.3. Si le SOC de 80 % n'est pas utilisé, celui utilisé doit être consigné.

- c) Cycle de charge et de décharge

La procédure des étapes 1 à 4 doit être répétée sans interruption jusqu'à achèvement de l'essai, comme indiqué en 7.7.2.3 e). Pendant l'essai, les performances de l'élément doivent être mesurées périodiquement, comme indiqué en 7.7.2.3 d).

Si la température de l'élément atteint la limite supérieure spécifiée par le fabricant pendant l'essai, la durée de l'étape 16 de charge/décharge des Tableaux 5 et 6 peut être prolongée à valeur appropriée. La durée réelle doit être consignée.

Etape 1 - Le cycle de charge et de décharge doit être effectué à plusieurs reprises suivant le profil à décharge prédominante donné par le Tableau 5 et par la Figure 6, jusqu'à ce que la tension de l'élément atteigne la tension de commutation fixée en 7.7.2.2 a) (voir la Figure 8).

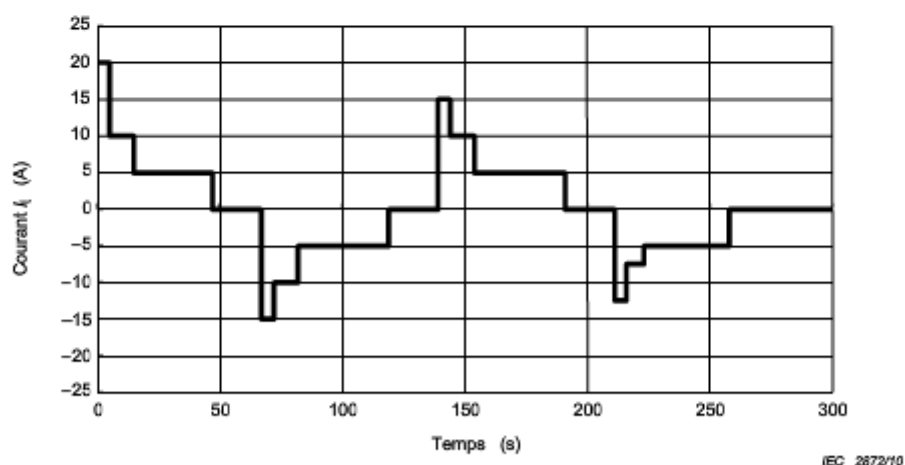
Etape 2 - Le cycle de charge et de décharge doit être effectué à plusieurs reprises suivant le profil à charge prédominante donné par le Tableau 6 et par la Figure 7, jusqu'à ce que la tension de l'élément atteigne la tension de commutation fixée en 7.7.2.2 b) (voir la Figure 8).

Etape 3 - Répéter l'étape 1 et l'étape 2 pendant 22 h.

Etape 4 - Laisser l'élément au repos pendant 2 h.

Tableau 5 – Profil à décharge prédominante pour l'essai de durée de vie - HEV

Pas de charge/décharge	Durée s	Courant I_t A	Charge/décharge
1	5	20	Décharge
2	10	10	Décharge
3	32	5	Décharge
4	20	0	-
5	5	-15	Charge
6	10	-10	Charge
7	37	-5	Charge
8	20	0	-
9	5	15	Décharge
10	10	10	Décharge
11	37	5	Décharge
12	20	0	-
13	5	-12,5	Charge
14	7	-7,5	Charge
15	35	-5	Charge
16	42	0	-



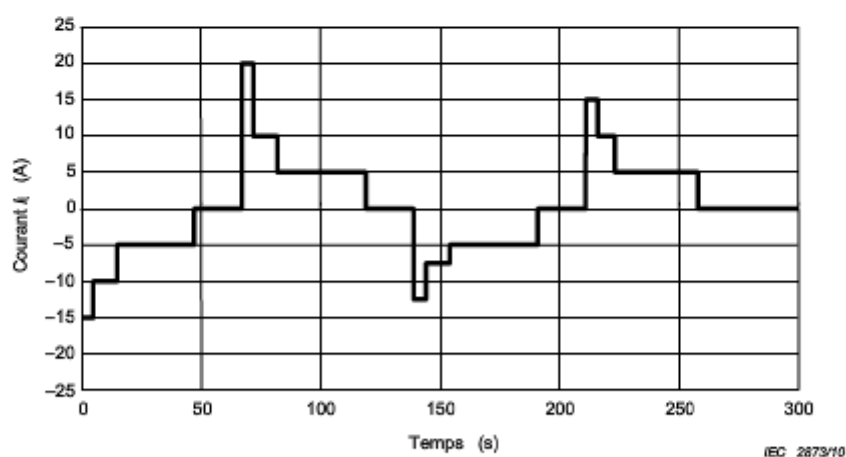
IEC 2872/10

Figure 6 – Profil à décharge prédominante pour l'essai de durée de vie - HEV

Si le courant maximal spécifié par le fabricant est inférieur à $20 I_t$, celui-ci peut être utilisé au pas 1 de charge/décharge, ainsi qu'en remplaçant le courant du pas 6 de charge/décharge par la moitié de ce courant maximal spécifié par le fabricant.

Tableau 6 – Profil à charge prédominante pour l'essai de durée de vie - HEV

Pas de charge/décharge	Durée s	Courant I_t A	Charge/décharge
1	5	-15	Charge
2	10	-10	Charge
3	37	-5	Charge
4	20	0	-
5	5	20	Décharge
6	10	10	Décharge
7	32	5	Décharge
8	20	0	-
9	5	-12,5	Charge
10	7	-7,5	Charge
11	49	-5	Charge
12	20	0	-
13	5	15	Décharge
14	10	10	Décharge
15	23	5	Décharge
16	42	0	-

**Figure 7 – Profil à charge prédominante pour l'essai de durée de vie - HEV**

Si le courant maximal spécifié par le fabricant est inférieur à $20 I_t$, celui-ci peut être utilisé au pas 5 de charge/décharge, ainsi qu'en remplaçant le courant du pas 2 de charge/décharge par la moitié de ce courant maximal spécifié par le fabricant.

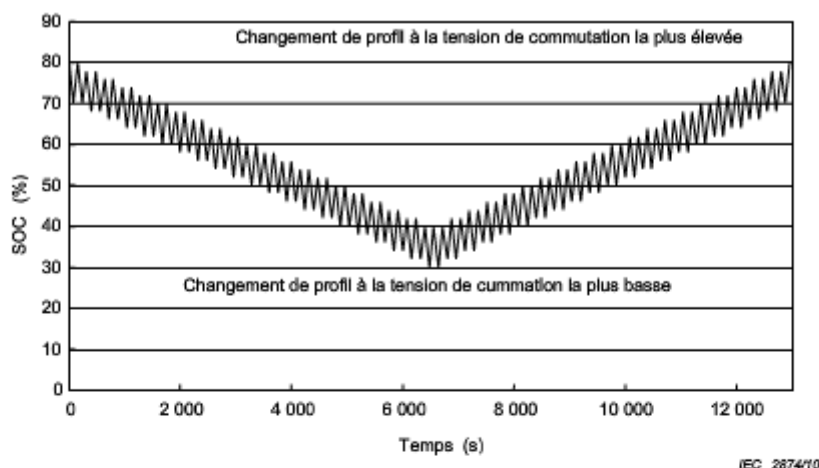


Figure 8 – Variation typique du SOC par combinaison de deux profils pour l'essai de durée de vie - HEV

d) Mesure périodique des performances

Après chaque achèvement de la procédure des étapes 1 à 4 pendant 7 jours, la puissance de l'élément doit être mesurée, comme indiqué en 7.7.2.1. La capacité de l'élément doit être mesurée tous les 14 jours, comme indiqué en 7.7.2.1.

e) Achèvement de l'essai

L'essai de durée de vie doit être arrêté lorsque l'une des conditions suivantes est satisfaite. Sinon retour à 7.7.2.3 a) et répéter l'essai.

Condition A – L'essai de 7.7.2.3 c) est répété pendant une période globale de 6 mois.

Condition B – Lorsqu'une des performances mesurée de 7.7.2.3 d) a décru à moins de 80 % de sa valeur initiale.

Le nombre de fois correspondant à la mise en œuvre de chaque profil et celui correspondant au fait que les tensions de commutation sont atteintes doivent être consignés.

7.8 Essai de rendement en énergie

Le rendement en énergie des éléments doit être déterminé par deux essais communs spécifiés en 7.8.1 et l'un des essais décrits en 7.8.2 et 7.8.3.

7.8.1 Essais communs aux éléments BEV et HEV

7.8.1.1 Essai dans des conditions normales

Cet essai est applicable aux éléments utilisés dans les applications HEV et BEV. L'essai doit être effectué conformément à la procédure suivante.

- L'élément doit être laissé au repos à la température ambiante pendant 1 h au minimum et au maximum pendant 4 h après la charge complète. L'essai doit alors être commencé.
- Décharger l'élément par la méthode indiquée en 7.2 à température ambiante.
- Essai de rendement en énergie à un SOC de 100 %:

- 1) laisser l'élément au repos pendant 4 h, et le charger ensuite à un SOC de 100 % en suivant la méthode recommandée par le fabricant;
 - 2) laisser l'élément au repos pendant 4 h, puis le décharger en suivant la méthode indiquée en 7.2 à température ambiante.
- d) Essai de rendement en énergie à un SOC de 70 %:
- 1) laisser l'élément au repos pendant 4 h, et le charger ensuite à un SOC de 70 % en suivant la méthode recommandée par le fabricant ;
 - 2) laisser l'élément au repos pendant 4 h, puis le décharger en suivant la méthode indiquée en 7.2 à température ambiante.
- e) Calcul de la quantité d'électricité déchargée et de la quantité d'électricité chargée

quantité d'électricité déchargée et chargée peut être calculée en utilisant la méthode suivante: lire les courants de charge et décharge I à des intervalles de s secondes ($s \leq 30$) dès le début de la décharge; calculer ensuite la quantité d'électricité déchargée Q_d et la quantité d'électricité chargée Q_c en utilisant l'équation (13).

$$Q = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_n}{\frac{3600}{s}} \quad (13)$$

où

Q est la quantité d'électricité déchargée ou chargée (Ah);

I_n est la valeur du courant de charge ou de décharge mesurée au point n de l'intervalle (A).

- f) Calcul de l'énergie électrique déchargée et chargée

l'énergie électrique déchargée et chargée peut être calculée en utilisant la méthode suivante:

Lire les courants de décharge I et les tensions de décharge V à des intervalles de s secondes ($s \leq 30$) dès le début de la décharge; calculer ensuite l'énergie électrique déchargée et chargée en utilisant l'équation (14).

$$W = \frac{I_1 U_1 + I_2 U_2 + \dots + I_n U_n}{\frac{3600}{s}} \quad (14)$$

où

W est l'énergie électrique déchargée ou chargée (Wh);

I_n est la valeur du courant de charge ou de décharge mesurée au point n de l'intervalle (A);

U_n est la valeur de la tension de décharge mesurée au point n de l'intervalle (V).

- g) Calcul du rendement en énergie

Déterminer le rendement en coulombs en utilisant l'équation (15) et le rendement en énergie en utilisant l'équation (16).

$$\eta_c = \frac{Q_d}{Q_c} 100 \quad (15)$$

où

η_c est le rendement en coulombs (%);

Q_d est la quantité électrique de décharge de 7.8.1 (Ah);

Q_c est la quantité électrique de charge de 7.8.1 (Ah).

$$\eta_e = \frac{W_d}{W_c} 100 \quad (16)$$

où

η_e est le rendement en énergie (%);

W_d est l'énergie électrique déchargée de 7.8.1 (Wh);

W_c est l'énergie électrique chargée de 7.8.1 (Wh).

NOTE Les valeurs données par les dispositifs de mesure peuvent être utilisées, si une précision suffisante peut être obtenue.

7.8.1.2 Essai à différentes températures

Cet essai est applicable aux éléments utilisés dans les applications HEV et BEV. L'essai doit être effectué conformément à la procédure suivante.

L'essai doit être effectué aux températures de $-20\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, $0\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ et $45\text{ °C} \pm 2\text{ K}$.

- a) Charge complète à température ambiante.
- b) Obtenir l'équilibre thermique de l'élément à la température de l'essai, et commencer les essais après un temps de repos de 16 h au minimum et de 24 h au maximum.
- c) Décharger l'élément par la méthode indiquée en 7.2 à chaque température d'essai.
- d) Essai de rendement énergétique à un SOC de 100 %:
 - 1) à chaque température, laisser l'élément au repos pendant 4 h, et le charger ensuite à un SOC de 100 % en suivant la méthode recommandée par le fabricant;
 - 2) laisser l'accumulateur au repos pendant 4 h, puis le décharger en suivant la méthode indiquée en 7.2.
- e) Calculer quantité d'électricité déchargée et chargée en utilisant l'équation (13).
- f) Calculer l'énergie électrique déchargée et chargée en utilisant l'équation (14).
- g) Calculer le rendement en coulombs en utilisant l'équation (15) et le rendement en énergie en utilisant l'équation (16).

NOTE Il convient que les limites de charge/décharge à basse température spécifiées par le fabricant soient prises en considération.

7.8.2 Essai des éléments en application BEV

Cet essai est applicable aux éléments utilisés dans les applications BEV, et il est prévu pour déterminer le rendement en énergie des éléments dans des conditions de charge rapide. L'essai doit être effectué conformément à la procédure suivante.

- a) L'élément doit être laissé au repos à la température ambiante pendant 1 h au minimum et au maximum pendant 4 h après la charge complète. L'essai doit alors être commencé.
- b) Décharger l'élément par la méthode indiquée en 7.2.
- c) Essai de rendement en énergie à un SOC de 80 %:
 - 1) laisser l'élément au repos pendant 4 h, et le charger ensuite à un SOC de 80 % sous $2 I_t$. Si la tension atteint la tension de la limite supérieure spécifiée par le fabricant, la charge doit être arrêtée;

NOTE Les conditions d'essai sélectives sont montrées dans le Tableau A.4 de l'Annexe A.

- 2) laisser l'élément au repos pendant plus de 4 h jusqu'à ce qu'il atteigne la température d'essai, et ensuite le décharger en suivant la méthode indiquée en 7.2.
- d) Calculer quantité d'électricité déchargée et chargée en utilisant l'équation (13).
- e) Calculer l'énergie électrique déchargée et chargée en utilisant l'équation (14).
- f) Calcul du rendement en énergie.

Déterminer le rendement en coulombs en utilisant l'équation (17) et le rendement en énergie en utilisant l'équation (18).

$$\eta_{c1} = \frac{Q_{d1}}{Q_{c1}} 100 \quad (17)$$

où

η_{c1} est le rendement en coulombs (%);
 Q_{d1} est la quantité électrique de décharge de 7.8.2 (Ah);
 Q_{c1} est la quantité électrique de charge de 7.8.2 (Ah).

$$\eta_{e1} = \frac{W_{d1}}{W_{c1}} 100 \quad (18)$$

où

η_{e1} est le rendement en énergie (%);
 W_{d1} est l'énergie électrique de décharge de 7.8.2 (Wh);
 W_{c1} est l'énergie électrique de charge de 7.8.2 (Wh).

7.8.3 Calcul du rendement en énergie pour les éléments en application HEV

Ce paragraphe est applicable aux éléments utilisés dans les applications HEV.

a) Calcul de l'énergie électrique chargée et déchargée

Calculer l'énergie électrique chargée et déchargée à partir des résultats de l'essai spécifié en 7.4, en utilisant les équations (19) et (20). Arrondir des valeurs résultantes à trois chiffres significatifs.

Relever les valeurs de courant et de tension à intervalles réguliers à partir des données de courant et de tension collectées pendant les cycles de charge et de décharge correspondant aux motifs de charge et de décharge de durée $10 I_t \times 10$ s. Utiliser l'intervalle de mesure normalisé de 1 s. Lorsque la tension de l'accumulateur, après 10 s, dépasse la tension de la limite inférieure de décharge ou la tension de la limite supérieure de charge, effectuer l'essai en utilisant la valeur de courant du palier inférieur du Tableau 1, et consigner la valeur du courant qui a été réellement observée.

$$W_{c2} = \frac{I_{c1}U_{c1} + I_{c2}U_{c2} + \dots + I_{cn}U_{cn}}{3600} \quad (19)$$

où

W_{c2} est l'énergie électrique chargée (Wh);
 I_{cn} est la valeur du courant de charge mesurée au point n de l'intervalle (A);
 U_{cn} est la valeur de la tension de charge mesurée au point n de l'intervalle (V).

$$W_{d2} = \frac{I_{d1}U_{d1} + I_{d2}U_{d2} + \dots + I_{dn}U_{dn}}{3600} \quad (20)$$

où

W_{d2} est l'énergie électrique déchargée (Wh);
 I_{dn} est la valeur du courant de décharge mesurée au point n de l'intervalle (A);
 U_{dn} est la valeur de la tension de décharge mesurée au point n de l'intervalle (V).

b) Calcul du rendement en énergie

Déterminer le rendement en énergie en utilisant l'équation (21).

$$\eta_{e2} = \frac{W_{d2}}{W_{c2}} 100 \quad (21)$$

où

η_{e2} est le rendement en énergie (%);

W_{d2} est l'énergie électrique déchargée (Wh);

W_{C2} est l'énergie électrique chargée (Wh).

Annexe A (informative)

Conditions d'essai sélectives

La présente annexe donne des conditions supplémentaires et sélectives relatives à l'essai de capacité spécifié en 7.2, aux essais de puissance de 7.4, à l'essai de durée de vie en cyclage de 7.7 et à l'essai de rendement énergétique de 7.8.2. Les conditions d'essai « r » sont spécifiés dans cette norme. De plus les conditions d'essai "a" du Tableau A.1, du Tableau A.2, du Tableau A.3 et du Tableau A.4, peuvent être choisies, basées sur un accord entre le fabricant et le client.

Tableau A.1 – Conditions d'essai de capacité

		–20 °C	0 °C	25 °C	45 °C
Application BEV	0,2 I_t	a	a	a	a
	1/3 I_t	a	r	r	r
	1 I_t	a	a	a	a
	5 I_t	a	a	a	a
Application HEV	0,2 I_t	a	a	a	a
	1/3 I_t	a	a	a	a
	1 I_t	a	r	r	r
	10 I_t	a	a	a	a
	I_{dmax}	a	a	a	a

Si l'écart des données est supérieur à celui de 1 I_t et de 1/3 I_t , cela doit être indiqué.

Tableau A.2 – Conditions d'essai de puissance

		–20 °C	0 °C	25 °C	40 °C
Application BEV	SOC 20 %	a	a	r	a
	SOC 50 %	r	r	r	r
	SOC 80 %	a	a	r	a
Application HEV	SOC 20 %	a	a	r	a
	SOC 50 %	r	r	r	r
	SOC 80 %	a	a	r	a

Tableau A.3 – Conditions d'essai de durée de vie en cyclage

	25 °C	45 °C
Application BEV	a	r
Application HEV	a	r

**Tableau A.4 – Conditions d'essai du rendement énergétique
relatives à l'application BEV**

SOC	Courant de charge	
80 %	$2 I_t$	r
SOC recommandé par le fabricant	Courant recommandé par le fabricant	a



Annexe B (informative)

Séquence des essais de durée de vie en cyclage

La présente Annexe B donne les séquences des essais de durée de vie en cyclage spécifiés en 7.7. La séquence des essais de durée de vie en cyclage de l'application BEV est illustrée à la Figure B.1 et à la Figure B.2. La séquence des essais de durée de vie en cyclage de l'application HEV est donnée au Tableau B.1.

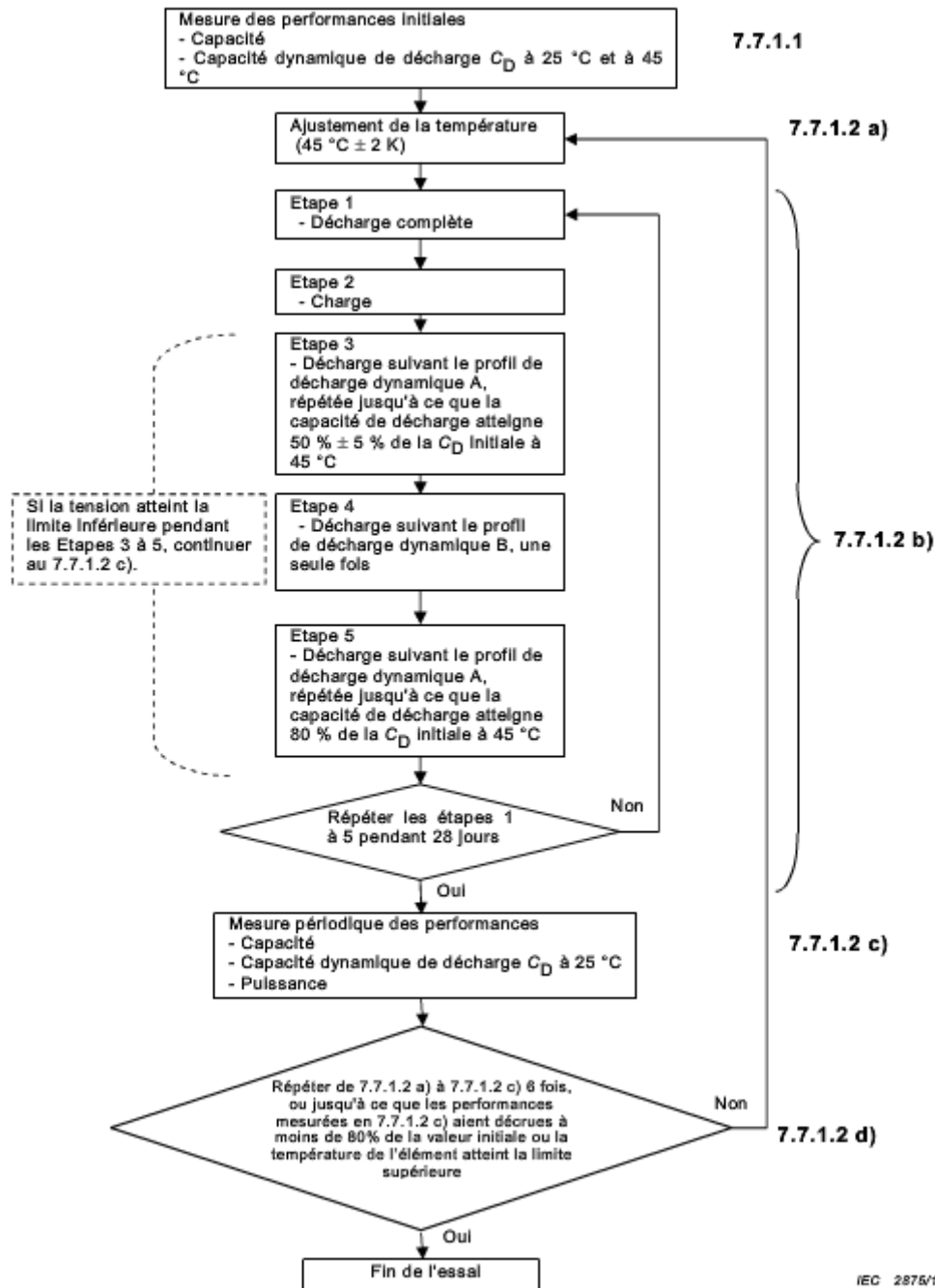
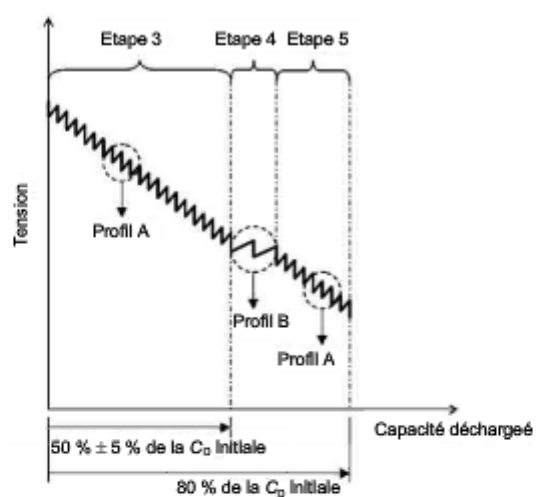


Figure B.1 – Séquence des essais de durée de vie relatifs à l'application BEV



IEC 2878/10

Figure B.2 – Concept de l'essai de durée de vie relatif à l'application BEV

Tableau B.1 – Séquence des essais de durée de vie relatifs à l'application HEV

		Procédure d'essai	Température
7.7.2.1		Mesure des performances initiales - Capacité - Puissance	Température ambiante
7.7.2.2 a)		Fixer la tension de commutation du profil à décharge prédominante au profil à charge prédominante	45 °C ± 2 K
7.7.2.2 b)		Fixer la tension de commutation du profil à charge prédominante au profil à décharge prédominante	
7.7.2.3 a)		Ajustement de la température à 45 °C ± 2 K	45 °C ± 2 K
7.7.2.3 b)		Ajustement du SOC à 80 %	
7.7.2.3 c)	Etape 1	Répéter le cycle du profil à décharge prédominante jusqu'à la tension de commutation fixée en 7.7.2.2 a)	
	Etape 2	Répéter le cycle du profil à charge prédominante jusqu'à la tension de commutation fixée en 7.7.2.2 b)	
	Etape 3	Répéter les étapes 1 et 2 pendant 22 h	
	Etape 4	Repos pendant 2 h	
		Répéter la procédure de l'étape 1 à l'étape 4.	
7.7.2.3 d)		Mesure périodique des performances - Capacité (tous les 14 jours) - Puissance (tous les 7 jours)	Température ambiante
7.7.2.3 e)		Arrêter l'essai lorsque l'une des conditions suivantes est satisfaite. Si aucune n'est satisfaite, revenir à 7.7.2.3 a). - Répéter 7.7.2.3 c) 6 mois - L'une des performances mesurée de 7.7.2.3 d) a décru à moins de 80 % de sa valeur initiale.	-

Bibliographie

CEI 62660-2, *Éléments d'accumulateurs Lithium-Ion pour la propulsion des véhicules routiers électriques – Partie 2: Essais de fiabilité et de traitement abusif*²

ISO 12405-1, *Véhicules routiers à propulsion électrique – Spécifications d'essai pour des blocs et systèmes de batterie de traction aux lithium-ion – Partie 1 : Applications haute puissance*³

ISO 12405-2, *Véhicules routiers à propulsion électrique – Spécifications d'essai pour des blocs et systèmes de batterie de traction aux lithium-ion – Applications haute énergie, et définissant les essais et les exigences relatives aux systèmes de batterie*⁴
