

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 05.04.19.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 09.10.20 Bulletin 20/41.

56 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : SAFT Société par actions simplifiées  
— FR.

72 Inventeur(s) : DESPREZ Philippe et SIRET Clé-  
mence.

73 Titulaire(s) : SAFT Société par actions simplifiées.

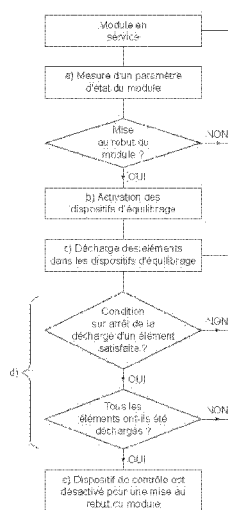
74 Mandataire(s) : CABINET HIRSCH & ASSOCIES.

54 PROCÉDE POUR UNE MISE AU REBUT OU UN RECYCLAGE SANS DANGER D'UNE BATTERIE.

57 Un procédé de mise au rebut ou de recyclage d'un module d'éléments électrochimiques, le module étant équipé d'un dispositif de contrôle de la charge et de la décharge des éléments électrochimiques, chaque élément électrochimique étant équipé d'un dispositif d'équilibrage de son état de charge, ledit procédé comprenant les étapes de : a) mesure d'un paramètre d'état du module, le résultat de cette mesure indiquant la nécessité d'une mise au rebut ou d'un recyclage du module, b) activation par le dispositif de contrôle d'au moins une partie, de préférence de tous les dispositifs d'équilibrage, c) décharge des éléments électrochimiques dans leur dispositif d'équilibrage, d) arrêt de la décharge d'un des éléments par le dispositif de contrôle, lorsqu'est satisfaite une condition portant sur un paramètre de fonctionnement de l'élément, l'étape d) étant répétée jusqu'à ce que tous les éléments du module aient satisfait à une condition portant sur un paramètre de fonctionnement de l'élément, e) mise au rebut ou recyclage du module.

Le procédé permet une mise au rebut sans danger d'une batterie.

figure pour l'abrégié : figure 4



## **Description**

### **Titre de l'invention : PROCEDE POUR UNE MISE AU REBUT OU UN RECYCLAGE SANS DANGER D'UNE BATTERIE**

#### **Domaine technique**

[0001] Le domaine technique de l'invention est celui des procédés de mise au rebut ou de recyclage de batteries usagées, en particulier de batteries lithium-ion usagées.

#### **Etat de la technique**

[0002] Les batteries lithium-ion sont couramment utilisées comme source d'énergie électrique dans de nombreux appareils électroniques, tels que les ordinateurs portables et les téléphones portables. Elles sont également utilisées dans des applications industrielles comme le véhicule électrique, le stockage des énergies renouvelables, le ferroviaire, etc. Ce type de batteries est utilisé généralement pendant deux à trois ans, puis est mis au rebut. L'utilisation croissante d'appareils électroniques génère une quantité importante de batteries lithium-ion usagées. Il convient de les recycler afin de minimiser les risques de pollution de l'environnement par les métaux et par les matières plastiques qu'elles contiennent. Le recyclage permet également de réduire la consommation de matières premières entrant dans la fabrication des batteries et de réduire la quantité d'énergie nécessaire à leur fabrication.

[0003] Le recyclage d'une batterie se décompose en deux étapes principales : le démantèlement de la batterie puis le recyclage des fractions démantelées. Le démantèlement, schématisé sur la figure 1, consiste à séparer la batterie en plusieurs parties afin de mieux valoriser les différents constituants de la batterie. On effectue une séparation entre les constituants de l'emballage de la batterie, les composants électroniques, tels que les cartes électroniques de contrôle, et les éléments électrochimiques (encore appelés éléments dans ce qui suit).

[0004] Le recyclage des métaux contenus dans un élément peut ensuite se faire selon deux types de procédés :

- un procédé pyrométallurgique : On chauffe les métaux. En les chauffant à différentes températures, on fait passer certains métaux à l'état liquide ou gazeux, ce qui permet de les séparer.

- un procédé hydrométallurgique :

On broie les métaux et on les met en solution.

[0005] Si une batterie ou un module d'éléments électrochimiques ou des éléments électrochimiques sont encore chargés lors de la phase de démantèlement, cela peut conduire à un risque électrique pour un opérateur du site de démantèlement. Si l'opérateur place par inadvertance un objet métallique entre les deux bornes de sortie de courant d'un

élément, d'un module ou d'une batterie, un court-circuit se crée, pouvant causer des brûlures, une électrisation, voire une électrocution. De plus, la mise en court-circuit d'éléments électrochimiques peut conduire à un échauffement excessif de ceux-ci, à leur endommagement, voire à leur destruction. Un court-circuit sur un élément chargé peut entraîner le feu de l'élément, un feu d'électrolyte généré par des étincelles dues au court-circuit, de la projection d'électrolyte, des brûlures. Un élément de 200 Wh/kg à 30 % d'état de charge avec une chaleur massique de 1 kJ/K/kg en court-circuit élève sa température de 216 °C. La figure 2 montre la température d'un élément lithium-ion dans le cas d'un emballement thermique pour différents états de charge : 0 %, 50 % et 100 %. On constate que le risque d'échauffement incontrôlé est réduit quand l'élément est complètement déchargé.

- [0006] Des procédures de contrôle de tension des éléments / modules sont réalisées sur le site de recyclage des batteries. Lorsque la tension est élevée (de l'ordre de 15 V pour des risques d'arc pouvant entraîner des projections de métal fondu), ou lorsque la capacité électrochimique de l'élément ou du module est élevée (plus de 10 Ah pour des risques de brûlure), cela conduit à traiter le démontage de façon spécifique avec des opérateurs formés et habilités et à mettre en place des procédures réglementaires plus importantes, augmentant significativement le coût du démantèlement.
- [0007] Après démantèlement de la batterie, les modules et/ou les éléments sont de nouveau manipulés sur le site de recyclage, conduisant potentiellement encore à un risque électrique pour les opérateurs du site de recyclage s'ils sont encore partiellement chargés. Chez certains recycleurs de batterie, les éléments sont rendus inertes en les immergeant dans des bains de solution saline. L'immersion des éléments est un procédé difficilement maîtrisable lorsque les éléments présentent des états de charge aléatoires. Lors de l'immersion, les valeurs de tension qui en résultent peuvent sortir des limites de sécurité admises. Les deux documents suivants décrivent des procédés par immersion.
- [0008] Le document KR 10-0860972 décrit un procédé de démantèlement d'une batterie lithium-ion comprenant les étapes de :
- application d'un traitement physique sur la partie externe du conteneur de la batterie conduisant à la mise en court-circuit de la batterie, par exemple en créant des fissures sur la paroi du conteneur,
  - décharge de la batterie pendant une durée de 6 à 12 heures dans de l'eau du robinet.
- Ce procédé présente un risque pour un opérateur car il nécessite de provoquer un court-circuit.
- [0009] Le document CN 104882646 décrit un procédé permettant de décharger de l'électricité de batteries lithium-ion usagées. Le procédé comprend les étapes consistant à:

- 1) ajouter une substance alcaline, telle que NaOH, à une solution saline saturée jusqu'à l'obtention d'une valeur de pH de 10 à 12 ;
- 2) immerger les batteries lithium-ion usagées dans le liquide afin de décharger l'électricité des batteries par électrolyse, retirer manuellement les circuits électroniques à l'aide de pinces après l'infiltration du liquide dans les batteries pendant 8 à 12 heures, continuer à immerger les batteries dans le liquide pendant 30 à 40 heures et décharger complètement l'électricité des batteries par électrolyse ;
- 3) nettoyer les batteries une fois que les batteries sont complètement déchargées, puis démonter et recycler les batteries.

[0010] Le document CN 103346365 décrit un procédé de recyclage de l'électrode négative d'une batterie de type lithium-ion. Ce procédé comprend les étapes de :

- décharge de la batterie jusqu'à ce que sa tension soit inférieure à 2 V,
- démontage des éléments,
- chauffage des éléments à basse température dans une atmosphère inerte afin de retirer l'électrolyte,
- extraction de l'électrode négative et de la matière active négative,
- chauffage de la matière active négative sous atmosphère inerte à une température allant de 1400 à 2600°C,
- refroidissement de la matière active négative, tamisage et recyclage de celle-ci.

[0011] Le procédé décrit dans ce document effectue la décharge de la batterie jusqu'à ce qu'une tension de 2 V soit atteinte sans se préoccuper des différences qui pourraient exister entre les états de charge de la pluralité d'éléments constituant la batterie. Or, une batterie est généralement constituée d'une association en parallèle et/ou série d'une pluralité d'éléments électrochimiques. Au sein de cette pluralité, les éléments présentent des états de vieillissement différents, donc des impédances internes différentes. C'est l'élément ou les éléments de la batterie qui présente(nt) l'impédance la plus élevée ou la capacité la plus faible, donc qui présente(nt) la tension la plus faible, qui limite(nt) la décharge de la batterie. En cas d'un déséquilibre entre les états de charge des éléments, la décharge de la batterie s'arrêtera alors que certains éléments pourront encore être dans un état substantiellement chargé. Ainsi, lorsque l'opérateur va démonter les éléments, il existe un risque, en cas d'erreur de manipulation de l'opérateur, que les éléments qui sont encore substantiellement chargés soient mis en court-circuit. Ce document ne décrit pas un procédé permettant de s'assurer que tous les éléments de la batterie puissent être manipulés sans risque pour l'opérateur.

[0012] Le document CN 103515661 décrit un procédé pour prolonger la durée de vie d'un montage comprenant plusieurs modules connectés en parallèle. La durée de vie du montage est prolongée par application du principe selon lequel un module proche de sa fin de vie doit être déchargé à un courant plus faible qu'un module en début de vie. Un

convertisseur DC/DC est connecté en série avec chaque module et permet de faire varier le courant de décharge de chaque module en fonction de son état de vieillissement. Dans ce document, lorsqu'un module est arrivé en fin de vie (étape 3.4.2), c'est-à-dire qu'il a perdu 20 % de sa capacité initiale ( $SOH < 0,8$ ), tous les modules sont arrêtés (étape 3.5.2) et un opérateur remplace le module défaillant (étape 3.9). Tant qu'un module n'a pas atteint sa fin de vie ( $SOH > 0,8$ , étape 3.4.2) et que son état de charge est supérieur à 5 % (étape 3.6), il participe à l'alimentation d'un consommateur électrique. Si le module n'a pas atteint sa fin de vie ( $SOH > 0,8$ ) mais que son état de charge est inférieur à 5 % (étape 3.6), il est rechargé (étape 3.8). Dans ce document, soit le module atteint sa fin de vie et il est remplacé, soit il atteint un faible état de charge et il est rechargé. Les modules sont connectés en parallèle et incluent donc des éléments en série dans chacun d'entre-deux. L'état de charge est défini au niveau du module et ce document ne garantit pas un état de charge maximum d'un élément dans ce module.

- [0013] Il existe un besoin d'un procédé permettant de mettre au rebut ou de recycler une batterie tout en minimisant le danger d'électrisation pour un opérateur.
- [0014] Par ailleurs, indépendamment du problème d'éviter des courts-circuits lors des opérations de démantèlement et de recyclage des batteries, il se pose le problème de la disparité des états de santé des différents éléments au sein d'un module. Une disparité des états de santé des éléments au sein d'un module conduit à une disparité des états de charge des éléments. Par exemple, dans le domaine des systèmes d'éclairage de secours, un conteneur peut fournir une tension de secours allant de 600 V à 1000 V environ. L'alimentation de secours est composée de branches de batterie. Chaque branche est composée de modules délivrant chacun une tension pouvant aller de 28,7 V, dans le cas de 7 éléments lithium-ion de 4,1 V connectés en série, jusqu'à 57 V dans le cas de 14 éléments lithium-ion de 4,1 V connectés en série. Les conteneurs sont conçus pour pouvoir remplacer facilement des modules au cours de la vie de l'alimentation de secours. Un module peut être remplacé en raison d'une panne de sa carte électronique ou en raison de la défaillance d'un de ses éléments. Si l'on prend le cas hypothétique où un module est remplacé alors que les autres modules présentent un vieillissement de 30 %, une différence de 30 % se crée entre la capacité que pourra décharger le module neuf et la capacité que pourra décharger un module qui n'a pas été remplacé. Dans la suite du fonctionnement de la batterie, le module remplacé continuera de délivrer une capacité 30 % supérieure à celle d'un module qui n'a pas été remplacé. Une telle situation est schématisée à la figure 3a. Le module M4 est remplacé tandis que les 6 autres modules M1, M2, M3, M5, M6 et M7 sont conservés. Lorsqu'il est nécessaire de remplacer les modules, le module M4 qui aura été précédemment remplacé présentera un état de charge de 30 % supérieur à celui des autres

modules. Cet état de charge de 30% correspond à une tension d'environ 3,6 V pour un élément de type lithium-ion. La mise en série de 14 éléments délivrant chacun une tension de 3,6 V en circuit ouvert constitue un module dont la tension est de 50,4 V, ce qui peut présenter un danger pour un opérateur en cas de mauvaise manipulation. La présence de modules présentant différents états de vieillissement impose donc un tri lors de leur recyclage afin de différencier ceux qui contiennent une quantité substantielle d'énergie de ceux qui contiennent une quantité négligeable d'énergie.

[0015] La situation inverse peut également se présenter. Une batterie comporte une pluralité de modules. Un de ces modules présente un état de vieillissement plus avancé 30 % par rapport à celui des autres modules de la batterie. La batterie complètement déchargée possède tous ses modules à 30 % d'état de charge sauf un, celui qui a un état de vieillissement plus avancé. Une telle situation est schématisée à la figure 3b. Le module M4 présente un état de charge qui est de 30% plus faible que celui des 6 autres modules M1, M2, M3, M5, M6 et M7.

[0016] Il existe donc un besoin d'un procédé permettant de mettre au rebut ou de recycler un module sans avoir à réaliser un tri préalable entre les éléments du module selon leur état de charge. De manière similaire, il existe un besoin d'un procédé permettant de mettre au rebut ou de recycler une batterie sans avoir à réaliser un tri préalable entre les modules de la batterie selon leur état de charge. Le problème technique exposé ci-dessus à l'échelle d'une batterie constituée d'un assemblage de modules en série et/ou en parallèle se pose également à l'échelle d'un module constitué d'un assemblage d'éléments électrochimiques en série et/ou en parallèle.

### **Résumé de l'invention**

[0017] A cet effet, l'invention propose un procédé de mise au rebut ou de recyclage d'un module d'éléments électrochimiques, le module étant équipé d'un dispositif de contrôle de la charge et de la décharge des éléments électrochimiques, chaque élément électrochimique étant équipé d'un dispositif d'équilibrage de son état de charge, ledit procédé comprenant les étapes de :

- a) mesure d'un paramètre d'état du module, le résultat de cette mesure indiquant la nécessité d'une mise au rebut ou d'un recyclage du module,
- b) activation par le dispositif de contrôle d'au moins une partie, de préférence de tous les dispositifs d'équilibrage,
- c) décharge des éléments électrochimiques dans leur dispositif d'équilibrage,
- d) arrêt de la décharge d'un des éléments par le dispositif de contrôle, lorsqu'est satisfaite une condition portant sur un paramètre de fonctionnement de l'élément, l'étape d) étant répétée jusqu'à ce que tous les éléments du module aient satisfait à une condition portant sur un paramètre de fonctionnement de l'élément,

e) mise au rebut ou recyclage du module.

- [0018] Selon un mode de réalisation, à l'étape d), le dispositif de contrôle arrête la décharge d'un des éléments lorsque sa tension est inférieure ou égale à une première valeur seuil  $V_{seuil1}$  définie dans le dispositif de contrôle.
- [0019] Selon un mode de réalisation,  $V_{seuil1}$  est 0 V.
- [0020] Selon un mode de réalisation, tous les éléments du module ont une tension de 0 V avant de débiter l'étape e) de mise au rebut ou de recyclage du module.
- [0021] Selon un mode de réalisation, à l'étape d), le dispositif de contrôle arrête la décharge d'un des éléments lorsque son état de charge est inférieur ou égal à 10 %, de préférence inférieur ou égal à 5 %, de préférence égal à 0 %.
- [0022] Selon un mode de réalisation, le dispositif d'équilibrage dissipe l'énergie d'un élément dans une résistance connectée en parallèle de cet élément, la résistance étant intégrée au module.
- [0023] Selon un mode de réalisation, entre l'étape d) et l'étape e), tous les dispositifs d'équilibrage sont désactivés et le dispositif de contrôle envoie un signal à un opérateur l'informant que le module peut être mis au rebut ou peut être recyclé.
- [0024] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend après l'étape d), une étape dans laquelle le dispositif de contrôle réactive le dispositif d'équilibrage d'un élément dans l'éventualité où la tension de cet élément augmenterait au-delà d'une seconde valeur seuil  $V_{seuil2}$  définie dans le dispositif de contrôle, où  $V_{seuil2}$  est supérieure à  $V_{seuil1}$ .
- [0025] Selon un mode de réalisation, le paramètre d'état du module est choisi parmi l'état de santé du module, l'état de charge du module, la durée d'utilisation du module, le nombre de cycles effectués par le module, la tension du module, la quantité d'énergie délivrée par le module depuis sa première mise en service, un état de défaillance d'une carte électronique du module, un état de défaillance de son système de régulation de température.
- [0026] Selon un mode de réalisation, le paramètre de fonctionnement de l'élément est choisi parmi la tension de cet élément, la capacité de cet élément, la durée écoulée de décharge et la quantité d'électricité délivrée par cet élément.
- [0027] Selon un mode de réalisation, dans lequel l'étape e) de mise au rebut ou de recyclage du module comprend le démantèlement du module en :
- des matériaux d'emballages en métal ou en plastique,
  - des composants électroniques,
  - des éléments électrochimiques
  - des câbles électriques.
- [0028] Selon un mode de réalisation, les éléments électrochimiques du module sont à électrolyte liquide ou solide et sont d'un type choisi parmi le lithium-ion, le sodium-ion, le lithium-soufre et le sodium-soufre.

[0029] L'invention permet de rendre sûr le recyclage des batteries. Pour cela, les éléments sont tous déchargés, de préférence complètement, en utilisant les dispositifs d'équilibrage auxquels ils sont associés. L'activation et la désactivation des dispositifs d'équilibrage sont commandées par le dispositif de contrôle de la charge/décharge des éléments. Grâce à l'invention, on réduit la tension de chaque élément avant d'effectuer le démontage de la batterie par un opérateur, ce qui permet d'opérer sans risque et de réduire le coût du démontage.

### **Brève description des figures**

[0030] [fig.1] est une représentation schématique des différents constituants d'une batterie lithium-ion obtenus par le démantèlement de la batterie.

[0031] [fig.2] représente la montée en température d'un élément lithium-ion dans le cas d'un emballage thermique pour différents états de charge de l'élément : 0 %, 50 % et 100 %.

[0032] [fig.3a] est une représentation schématique des états de charge de sept modules M1 à M7 formant une batterie. Le module M4 a été remplacé et présente un état de charge supérieur de 30 % à celui des autres modules.

[0033] [fig.3b] est une représentation schématique des états de charge de sept modules M1 à M7 formant une batterie. Le module M4 présente un état de charge inférieur de 30 % à celui des autres modules.

[0034] [fig.4] est un algorithme représentant les différentes étapes du procédé selon l'invention.

[0035] [fig.5] schématise le dispositif utilisé pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention et les entrées/sorties du dispositif de contrôle. La signification des abréviations utilisés sur cette figure est comme suit :

CA : contrôleur d'application

BMS : dispositif de contrôle

M : module

G : gestion charge / décharge du module M

C1 à C4 : éléments électrochimiques 1 à 4

E1 à E4 : dispositifs d'équilibrage associés aux éléments C1 à C4

(1) : signal : drapeau conditionnement avant recyclage ; 0 = non ; 1 = oui

(2) : signal : pilotage de la décharge

(3) : signaux : pilotage des dispositifs d'équilibrage

(4) : signal : module prêt pour recyclage ; 0 = non ; 1 = oui

(5) : puissance / courant / tension imposée au module

[0036] [fig.6a] représente la variation du courant de décharge des batteries 1, 2 et 3 au cours de la décharge dans le cas de l'exemple 1, lorsque le procédé selon l'invention n'est pas

mis en œuvre.

- [0037] [fig.6b] représente la variation de la tension aux bornes des batteries 1, 2 et 3 en parallèle au cours de la décharge dans le cas de l'exemple 1, lorsque le procédé selon l'invention n'est pas mis en œuvre.
- [0038] [fig.6c] représente la variation de la tension aux bornes de certains éléments au cours de la décharge des batteries 1, 2 et 3 dans le cas de l'exemple 1, lorsque le procédé selon l'invention n'est pas mis en œuvre.
- [0039] [fig.6d] représente la variation de l'état de charge des batteries 1, 2 et 3, obtenu par une mesure coulométrique, dans le cas de l'exemple 1, lorsque le procédé selon l'invention n'est pas mis en œuvre.
- [0040] [fig.7a] représente la variation du courant dans la batterie dans l'exemple 1.
- [0041] [fig.7b] représente la variation de la tension aux bornes des trois batteries en parallèle au cours de la simulation de l'exemple 1.
- [0042] [fig.7c] représente la variation de la tension aux bornes des éléments les plus chargés et des éléments les moins chargés au cours de la simulation de l'exemple 1 lorsque le procédé selon l'invention est mis en œuvre et que la tension d'arrêt  $V_{seuil1}$  est de 2 V.
- [0043] [fig.7d] représente la variation de l'état de charge des trois batteries par la mesure coulométrique au cours de la simulation de l'exemple 1 lorsque le procédé selon l'invention est mis en œuvre et que la tension d'arrêt  $V_{seuil1}$  est de 2 V.
- [0044] [fig.8] représente la variation de la tension des éléments ( $V1$ ,  $V2$ ,  $V3$ ,  $V4$ ), la variation du courant traversant ces éléments ( $I1$ ,  $I2$ ,  $I3$ ,  $I4$ ) ainsi que la variation du courant dans la batterie IBAT au cours de la simulation de l'exemple 1, lorsque le procédé selon l'invention est mis en œuvre et que la tension d'arrêt  $V_{seuil1}$  est de 0 V.
- [0045] [fig.9] représente la variation des paramètres suivants, dans les conditions de l'exemple 2, sans utiliser le procédé selon l'invention :
- la variation de la tension de la batterie VBAT au cours de la décharge de la batterie,
  - la variation du courant IBAT traversant la batterie au cours de la décharge,
  - la variation de l'état de charge SOC des éléments C1-C7, C8-C13 et C14 au cours de la décharge.
- [0046] [fig.10] représente la variation des paramètres suivants, dans les conditions de l'exemple 2, en utilisant le procédé selon l'invention :
- la variation du courant IBAT traversant la batterie au cours de la décharge,
  - la variation de la tension  $V1$ - $V7$ ,  $V8$ - $V13$  et  $V14$  des éléments C1-C7, C8-C13 et C14 au cours de la décharge de la batterie, puis au cours de la décharge dans les dispositifs d'équilibrage,
  - la variation du courant traversant les éléments I1-I7, I8-I13 au cours de la décharge dans les dispositifs d'équilibrage.
- [0047] [fig.11] représente la variation des paramètres suivants, dans les conditions de

l'exemple 2, en utilisant le procédé selon l'invention :

- la variation de l'état de charge SOC des éléments C1-C7, C8-C13 et C14 au cours de la décharge de la batterie et au cours de l'étape de décharge de ces éléments dans les dispositifs d'équilibrage auxquels ils sont associés,
- la variation du courant IBAT traversant la batterie,
- la variation de la tension VBAT de la batterie au cours de la décharge de la batterie et au cours de l'étape de décharge des éléments C1-C7, C8-C13 et C14 dans leur dispositif d'équilibrage associé.

### **Description détaillée**

- [0048] Le procédé selon l'invention utilise le dispositif de contrôle de la charge et de la décharge des éléments, encore appelé BMS pour « Battery Management System », pour activer les dispositifs d'équilibrage des éléments du module et provoquer leur décharge dans le dispositif d'équilibrage dont chaque élément est équipé. La décharge des éléments permet d'amener les éléments dans un état de charge suffisamment faible pour qu'en cas de mise en court-circuit des bornes d'un élément, le risque pour la santé d'un opérateur soit négligeable. Lorsque tous les éléments ont été déchargés ou lorsque leur état de charge est suffisamment faible pour n'entraîner aucun danger pour un opérateur, le dispositif de contrôle désactive les dispositifs d'équilibrage et la batterie peut être démantelée.
- [0049] Les éléments du module peuvent être connectés électriquement entre eux en série ou en parallèle. Les éléments du module peuvent être connectés pour former un montage en série-parallèle, c'est-à-dire former un assemblage dans lequel des montages en série d'éléments sont connectés en parallèle. Les éléments du module peuvent être connectés pour former un montage en parallèle-série, c'est-à-dire former un assemblage dans lequel des montages en parallèle d'éléments sont connectés en série.
- [0050] Le dispositif de contrôle de la charge et de la décharge des éléments, encore appelé dispositif de contrôle dans ce qui suit, comprend des capteurs de mesure pour mesurer les paramètres principaux du module et des éléments, tels que la tension du module et celle des éléments, la température du module et celle des éléments, le courant traversant le module et celui traversant les éléments. Le dispositif de contrôle s'assure que ces paramètres se situent dans une plage nominale de fonctionnement. L'état de charge (SOC pour « State of Charge » en anglais) et l'état de santé (SOH pour « State of Health » en anglais) de chaque élément sont des paramètres pris en compte par le dispositif de contrôle.
- [0051] L'état de charge SOC d'un élément est défini comme la quantité d'énergie disponible dans l'élément rapportée à l'énergie de cet élément totalement chargé. L'état de charge peut être déterminé en utilisant un algorithme fondé sur la correspondance entre une

valeur d'état de charge et une valeur de la tension de cet élément, lorsque la tension de l'élément varie proportionnellement avec son état de charge. L'état de charge peut aussi être déterminé par intégration du courant de charge/décharge en fonction du temps selon le courant traversant l'élément. On utilise pour cela un coulomètre qui intègre la quantité de courant traversant l'élément pendant une durée donnée. Cette définition de l'état de charge donnée à l'échelle d'un élément est également valable à l'échelle d'un module d'éléments ou d'une batterie.

- [0052] L'état de santé SOH d'un élément permet d'estimer le degré de vieillissement de l'élément entre un état neuf et un état de fin de vie. L'état de santé peut être calculé à partir du rapport de la capacité de l'élément à un instant donné sur la capacité de l'élément à l'état neuf dans les mêmes conditions de mesure, notamment dans les mêmes conditions de température. On parle alors d'un état de santé lié à la capacité de l'élément. L'état de santé peut être aussi obtenu en calculant le rapport de la résistance interne de l'élément à un instant donné sur la résistance interne de l'élément à l'état neuf dans les mêmes conditions de mesure. On parle alors d'un état de santé lié à la résistance de l'élément. Cette définition de l'état de santé donnée à l'échelle d'un élément est également valable à l'échelle d'un module d'éléments ou d'une batterie.
- [0053] Le dispositif de contrôle comprend un circuit électronique qui active ou désactive la charge ou la décharge des éléments dans le dispositif d'équilibrage auquel ils sont associés. Le dispositif d'équilibrage a pour rôle d'ajuster la tension aux bornes de chaque élément du module de manière à ce que tous les éléments du module présentent des tensions situées dans une même plage de valeurs, de préférence la plus étroite possible. Le dispositif d'équilibrage comprend généralement un dispositif de dérivation du courant par élément. Ce dispositif de dérivation peut être constitué d'une résistance connectée en parallèle de l'élément. Chaque élément peut dissiper l'énergie qu'il contient par effet Joule à travers la résistance à laquelle il est connecté.
- [0054] La figure 4 est un algorithme décrivant les différentes étapes du procédé selon l'invention.
- [0055] Dans une première étape a), on effectue une mesure d'un paramètre d'état du module. Le paramètre d'état mesuré peut être choisi parmi l'état de santé du module, l'état de charge du module, la durée d'utilisation du module, le nombre de cycles effectués par le module, la tension du module, la quantité d'énergie délivrée par le module depuis sa première mise en service. Le résultat de la mesure du paramètre d'état du module renseigne sur la nécessité ou non de mettre le module au rebut. La même mesure peut s'effectuer à l'échelle de la batterie au lieu de l'échelle du module.
- [0056] On peut décider de mettre au rebut le module lorsque son état de santé est par exemple inférieur ou égal à 80 %, ou inférieur ou égal à 70 %, ou inférieur ou égal à 50 %.

- [0057] On peut également décider de mettre le module au rebut lorsque sa durée de fonctionnement ou le nombre de cycles effectués par le module ou la quantité d'énergie délivrée par le module depuis sa première mise en service dépasse une valeur prédéterminée.
- [0058] On peut également décider de mettre le module au rebut lorsque sa tension a atteint une valeur qui sort de la plage nominale de fonctionnement du module, par exemple à la suite d'une surcharge ou d'une surdécharge prolongées ou lorsque la température du module est sortie de sa plage nominale.
- [0059] D'autres paramètres peuvent indiquer la nécessité d'une mise au rebut du module, tel qu'une défaillance du système de refroidissement du module, une défaillance d'une carte électronique de gestion du module.
- [0060] Dans une seconde étape b), le dispositif de contrôle active le dispositif d'équilibrage des éléments. De préférence, tous les dispositifs d'équilibrage des éléments sont activés en même temps et la décharge des éléments dans leur dispositif d'équilibrage est simultanée. On peut néanmoins prévoir que les dispositifs d'équilibrage soient activés les uns après les autres, de manière séquentielle, c'est-à-dire qu'un dispositif d'équilibrage d'un élément est activé après qu'un autre des éléments a terminé sa décharge dans le dispositif d'équilibrage auquel il est associé. On peut également prévoir que la décharge des éléments se fasse par groupes de plusieurs éléments. La décharge d'un groupe d'éléments débute lorsque la décharge d'un autre groupe d'éléments se termine. Ce mode de réalisation permet de réduire l'élévation de température du module car la décharge des différents éléments est étalée dans le temps.
- [0061] Dans une troisième étape c), la décharge des éléments électrochimiques se produit dans les dispositifs d'équilibrage auxquels ils sont associés.
- [0062] A l'étape d), la décharge d'un des éléments s'arrête lorsqu'une condition portant sur l'un des paramètres de fonctionnement de cet élément est satisfaite. Typiquement, on arrête la décharge de l'élément lorsque sa tension diminue en deçà d'une valeur seuil <sup>seuil</sup> définie dans le dispositif de contrôle. Cette valeur dépend du type d'élément et sa détermination aura fait l'objet de pré-études avant son implémentation dans le dispositif de contrôle. Pour un élément lithium-ion, ce seuil peut être fixé vers 2 V. On peut également fixer la valeur seuil à 0 V, quel que soit le type d'élément considéré. La décharge peut également s'arrêter après une durée prédéterminée définie dans le dispositif de contrôle, ou après que l'élément ait débité une certaine quantité d'électricité (Ah) ou lorsque l'état de charge de l'élément est inférieur à une valeur prédéterminée définie dans le dispositif de contrôle. Afin d'adapter les valeurs limites du paramètre de fonctionnement à la technologie de l'élément, on pourra avoir effectué au préalable des tests de mise en court-circuit de l'élément qui permettront d'établir une valeur limite du paramètre de fonctionnement en deçà de laquelle un court-circuit

sur l'élément n'entraîne pas de risque significatif pour l'opérateur. Les éléments du module qui ne satisfont pas à la condition sur le paramètre de fonctionnement continuent à se décharger dans le dispositif d'équilibrage.

[0063] On répète l'étape d) jusqu'à ce que tous les éléments du module aient satisfait à une condition portant sur l'un des paramètres de fonctionnement d'un élément. On pourra par exemple imposer l'arrêt de la décharge lorsque tous les éléments du module ont une tension inférieure à  $V_{\text{seuil1}}$ , ou lorsque leur tension atteint 0 V.

[0064] Etant donné qu'une fois la décharge d'un élément terminée, cet élément est mis en circuit ouvert, il est possible que sa tension augmente progressivement et redevienne supérieure au seuil  $V_{\text{seuil1}}$ . Dans ce cas, on peut prévoir de reprendre la décharge de l'élément dans le dispositif d'équilibrage jusqu'à ce que sa tension redescende en dessous de  $V_{\text{seuil1}}$ . La reprise de la décharge peut être commandée par le dispositif de contrôle lorsque la tension de l'élément dépasse une valeur seuil prédéterminée  $V_{\text{seuil2}}$ . L'homme du métier saura ajuster la différence entre  $V_{\text{seuil1}}$  et  $V_{\text{seuil2}}$  pour permettre une régulation plus ou moins fine de la décharge dans le dispositif d'équilibrage. Dans le cas d'éléments de type lithium-ion, on peut par exemple fixer  $V_{\text{seuil1}}$  à 2 V et  $V_{\text{seuil2}}$  à une valeur comprise entre 3 et 3,6 V. La possibilité de reprendre la décharge permet de réduire davantage la quantité d'électricité stockée dans l'élément et donc de réduire la puissance thermique évacuée par l'élément en cas de court-circuit.

[0065] L'application de la régulation peut conduire à une alternance de phases dans lesquelles l'opérateur reçoit dans un premier temps un signal selon lequel le module peut être recyclé en raison du fait que la tension de tous les éléments est inférieure à  $V_{\text{seuil1}}$  puis dans un second temps un signal selon lequel le module n'est pas apte à être recyclé en raison du fait que la tension d'un ou de plusieurs éléments est devenue supérieure à  $V_{\text{seuil2}}$ . Cette alternance de phases peut rendre difficile la décision pour un opérateur de recycler ou non le module. Pour éviter ceci, on peut définir et stocker dans le dispositif de contrôle un temps au-delà duquel on ne mesure plus la tension des éléments et la décharge des éléments dans leur dispositif d'équilibrage est arrêtée. Le module peut être recyclé.

[0066] Lorsque tous les éléments ont été déchargés, le dispositif de contrôle désactive les dispositifs d'équilibrage. Aucun des éléments ne débite donc de courant dans le dispositif d'équilibrage auquel il est associé. Le dispositif de contrôle envoie un signal à un opérateur l'informant que le module peut être mis au rebut ou peut être recyclé (étape e). Le dispositif de contrôle possède un indicateur tel qu'une diode, un signal continu ou un signal digital informant l'opérateur que tous les éléments sont déchargés, lui permettant ainsi de procéder à un démontage de la batterie en toute sécurité.

[0067] La figure 5 schématise le dispositif utilisé pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention et les entrées/sorties du dispositif de contrôle.

[0068] L'avantage du procédé selon l'invention est qu'il utilise le dispositif de contrôle de la charge et de la décharge des éléments et le dispositif d'équilibrage qui sont tous les deux des dispositifs intégrés au module. Il est en effet courant d'équiper un module d'éléments électrochimiques ou une batterie d'un dispositif de contrôle de la charge et de la décharge ainsi qu'un dispositif d'équilibrage des éléments. L'invention n'entraîne donc pas de coût supplémentaire, au moins pour ce qui concerne le matériel mis en œuvre.

[0069] On peut noter également que le procédé de l'invention minimise l'intervention d'un opérateur car les étapes du procédé sont exécutées par un logiciel installé dans le dispositif de contrôle. Il n'est pas nécessaire que l'opérateur se munisse d'outils spécifiques, telles que des résistances, pour réaliser la décharge des éléments. La ou les résistances qui font en effet partie du dispositif d'équilibrage de chaque élément est intégré au module. Il n'est pas nécessaire que l'opérateur contrôle périodiquement la tension des éléments pour déterminer s'il doit interrompre leur décharge. En effet, le logiciel contrôlant la décharge des éléments, est installé dans une carte électronique du dispositif de contrôle. Il pilote la décharge des éléments dans leur dispositif d'équilibrage, l'arrêt de la décharge et éventuellement la reprise de la décharge des éléments dans le dispositif d'équilibrage dans le cas où leur tension remonte au-delà de  $V_{\text{seuil1}}$ .

### **Exemple 1 :**

[0070] On simule la situation d'un conteneur équipé d'une source d'énergie électrique constituée de trois batteries reliées en parallèle. Chaque batterie comprend 11 modules en série. Chaque module comprend 14 éléments lithium-ion en série.

- Batterie 1 : 10 modules avec un vieillissement de 30 % (SOH=70 %) et un module neuf ;
- Batterie 2 : 9 modules avec un vieillissement de 30 % et 2 modules avec 5 % de vieillissement (SOH=95%) ;
- Batterie 3 : 8 modules avec un vieillissement de 30 %, un module neuf et 2 modules avec 5 % de vieillissement.

[0071] Les éléments lithium-ion comportent une électrode positive dont la matière active est à base d'un oxyde lithié de nickel, manganèse et cobalt et une électrode négative dont la matière active est à base de graphite. La tension d'un module est d'environ 50 V pour un état de charge d'environ 50 % et sa capacité est d'environ 45 Ah. Chaque batterie a une tension d'environ 550 V (50 V x 11) pour un état de charge d'environ 50 %.

[0072] L'état de charge des batteries se fonde sur une mesure coulométrique du courant. Une batterie est considérée équilibrée à 70 % d'état de charge du fait d'un usage à état de charge partiel. La tension minimale de décharge des éléments, encore appelée

tension d'arrêt, est de 2,5 V.

[0073] Une simulation informatique fournit les valeurs des tensions et de l'état de charge de chaque élément lors de la décharge des batteries avant le recyclage.

[0074] A) Recyclage des batteries sans utiliser le procédé selon l'invention :

[0075] Les trois batteries sont déchargées à un courant de 35 A comme le montre la figure 6a. En début de décharge, la tension aux bornes des trois batteries est d'environ 575 V. Elle chute brutalement à 400 V après 2000 s, comme le montre la figure 6b. La chute brutale à 400 V de la tension indique qu'une des batteries est complètement déchargée. Or, on note sur la figure 6c que les éléments les plus vieux ont atteint la tension d'arrêt de 2,5 V alors que les éléments les plus neufs ont encore une tension d'environ 3,5 V, ce qui correspond à un état de charge d'environ 25 %. De plus, la mesure coulométrique indique que la quantité d'électricité débitée correspond à une décroissance de l'état de charge des trois batteries de 70 % à environ 25 %, comme le montre la figure 6d. La mesure de tension indique une fin de vie de la source d'énergie électrique alors que la mesure coulométrique indique que les éléments les plus neufs sont chargés à environ 25%. La chute de tension à 400 V provient du fait que certains modules ont très peu vieillis (vieillessement de 5 %) alors que d'autres ont un vieillissement plus avancé (30 %). La présence des éléments présentant le vieillissement le plus avancé fait chuter la tension à 400 V, bien que les éléments les plus neufs soient encore à environ 25 % d'état de charge. Il existe donc un risque électrique important lors du démontage des batteries en raison de la tension et de l'énergie emmagasinée dans les éléments les plus neufs.

[0076] B) Application du procédé selon l'invention :

[0077] B-1) Mode de réalisation dans lequel les éléments les plus chargés sont déchargés jusqu'à une tension seuil  $V_{\text{seuil}}$  de 2 V :

[0078] Comme dans le cas exposé ci-avant, on décharge les batteries connectées en parallèle à un courant de 35 A. La figure 7a qui représente la variation du courant au cours de la simulation indique un courant de décharge de 35 A. La figure 7b montre qu'à environ 1750 s, la tension aux bornes des trois batteries chute à environ 430 V, ce qui indique la fin de la décharge des batteries. Comme expliqué ci-avant dans le cas A), certains éléments sont encore significativement chargés alors que d'autres sont déchargés. Ceci est mis en évidence à la figure 7c. En effet, au temps  $t=1750s$ , la tension de certains éléments a chuté à 1,5-2 V alors que la tension des éléments les plus neufs est encore d'environ 3,5V. Le procédé selon l'invention est alors mis en œuvre afin de décharger les éléments les plus neufs. Les batteries sont placées en mode « Conditionnement avant recyclage » et déchargées avec activation des dispositifs d'équilibrage. Les éléments les plus chargés sont déchargés à travers les dispositifs d'équilibrage à un courant à 10 A, valeur élevée pour une meilleure illustration graphique. La décharge se

poursuit tant que la tension de ces éléments est supérieure à une tension seuil  $V_{\text{seuil1}}$  de 2 V avec un hystérésis  $V_{\text{seuil2}}$  à 3,6 V. La figure 7d représente la variation de l'état de charge des trois batteries par une mesure coulométrique. On note que l'état de charge de la batterie 3 passe de 22 % à environ 10 % au temps  $t=3500$  s, que l'état de charge de la batterie 2 passe de 22 % à environ 5 % au temps  $t=4000$  s et que l'état de charge de la batterie 1 passe de 22 % à environ 3 % au temps  $t=4250$  s. L'étape de décharge dans le dispositif d'équilibrage permet donc de décharger environ 15 % de capacité supplémentaire et donc de réduire l'énergie contenue dans les batteries pour l'étape ultérieure de démontage des batteries.

[0079] B-2) Mode de réalisation dans lequel les éléments les plus chargés sont déchargés jusqu'à une tension seuil  $V_{\text{seuil1}}$  de 0 V :

[0080] Ce mode de réalisation diffère de celui décrit au paragraphe B-1 en ce que les éléments sont déchargés jusqu'à la tension  $V_{\text{seuil2}}$  de 0 V. Les dispositifs d'équilibrage sont maintenus activés jusqu'à ce que la tension des éléments atteigne 0 V, ce qui supprime tout risque électrique lors du démontage. La figure 8 représente la variation de la tension et du courant dans quatre éléments. La batterie est déchargée à un courant  $I_{\text{BAT}}$  de 35 A. Un premier élément 1 présente une tension  $V1$  nulle au temps  $t=1800$  s. Les trois autres éléments 2, 3 et 4 qui présentent un état de charge supérieur à l'élément 1 sont déchargés dans leur dispositif d'équilibrage à un courant de 10 A. L'élément 2 présente une tension  $V2$  nulle au temps  $t=4000$  s. L'élément 3 présente une tension  $V3$  nulle au temps  $t=4500$  s. L'élément 4 présente une tension  $V4$  nulle au temps  $t=5000$  s.

### **Exemple 2:**

[0081] On simule le fonctionnement d'une batterie utilisée dans le secteur des télécommunications. Cette batterie comprend 14 éléments en série de type lithium-ion. Ces éléments comportent une électrode positive dont la matière active est à base d'un oxyde lithié de nickel, cobalt et aluminium et une électrode négative dont la matière active est à base de graphite. Chaque élément a une capacité nominale de 80 Ah et une capacité réelle d'environ 74 Ah. Le vieillissement des éléments est le suivant :

- Eléments 1 à 7 (C1 à C7) : vieillissement de 15 %
- Eléments 8 à 13 (C8 à C13) : vieillissement de 30 %
- Elément 14 (C14) : vieillissement de 40 %.

[0082] L'application au secteur des télécommunications implique une batterie présentant un état de charge proche de 100 %, les éléments étant considérés équilibrés à 100 % d'état de charge.

[0083] A) Recyclage de la batterie sans utiliser le procédé selon l'invention :

[0084] La batterie est déchargée à un courant  $I_{\text{BAT}}$  de 16 A, soit au régime de C/5. La figure 9 montre que la tension de la batterie  $V_{\text{BAT}}$  en début de décharge est de 56 V. Elle

décroît pour atteindre 48 V en fin de décharge. La figure 9 montre également que la décharge n'a duré en réalité que 2,7 h (10000 s) au lieu des 5 heures théoriquement prévues. Cette différence est due au vieillissement différent des éléments. A la fin de la décharge, la batterie doit donc être mise au rebut. Les éléments les plus neufs C1 à C7 contiennent encore 22 Ah, ce qui correspond à un état de charge de 27 %. Les éléments C8 à C13 contiennent environ 12 Ah, ce qui correspond à un état de charge de 15 %. L'élément C14 est complètement déchargé. En raison du fait que les éléments C1-C7 et C8-C13 sont encore partiellement chargés, il existe un risque électrique pour un opérateur.

[0085] B) Application du procédé selon l'invention :

[0086] Au temps  $t=10\ 000$  s, la batterie arrête de débiter du courant. Les éléments C1-C7 et C8-C13 se déchargent à un courant de 6 A dans le dispositif d'équilibrage auquel ils sont associés. L'élément C14 ayant déjà atteint sa tension d'arrêt, il ne se décharge pas dans le dispositif d'équilibrage. La figure 10 représente la variation du courant traversant la batterie ( $I_{BAT}$ ), la variation du courant traversant le dispositif d'équilibrage pour les éléments C1-C7, C8-C13 (I1-I7, I8-I13), et la variation de la tension des éléments C1-C7, C8-C13 et C14 (V1-V7, V8-V13 et V14) au cours de la décharge. Au temps  $t=17000$  s, la tension des éléments C8 à C13 atteint 0 V. Au temps  $t=23400$  s, la tension des éléments C1 à C7 atteint 0 V.

[0087] La figure 11 représente :

- la variation de l'état de charge des éléments C1-C7, C8-C13 et C14 au cours de la décharge de la batterie et au cours de l'étape de décharge de ces éléments dans le dispositif d'équilibrage,
- la variation du courant  $I_{BAT}$  traversant la batterie,
- la variation de la tension  $V_{BAT}$  de la batterie au cours de la décharge de la batterie et au cours de l'étape de décharge des éléments C1-C7, C8-C13 et C14 dans leur dispositif d'équilibrage associé.

[0088] La figure 11 montre que le courant traversant la batterie devient nul à  $t=10000$  s. La tension de la batterie chute brusquement à différents instants :

- A  $t=10000$  s, ce qui correspond à la chute à 0 V de la tension de l'élément C14,
- A  $t=17000$  s, ce qui correspond à la chute à 0 V de la tension des éléments C8-C13,
- A  $t=23400$  s, ce qui correspond à la chute à 0 V de la tension des éléments C1-C7.

L'état de charge des éléments C1-7, C8-13 et C14 atteint 0 Ah aux temps respectifs de 23400, 17000 et 10000 s.

[0089] L'énergie emmagasinée dans les éléments et la tension des éléments sont nulles au temps  $t=23400$  s. La batterie peut être démontée en toute sécurité sans risque

électrique.

## Revendications

- [Revendication 1] Procédé de mise au rebut ou de recyclage d'un module d'éléments électrochimiques, le module étant équipé d'un dispositif de contrôle de la charge et de la décharge des éléments électrochimiques, chaque élément électrochimique étant équipé d'un dispositif d'équilibrage de son état de charge, ledit procédé comprenant les étapes de :
- a) mesure d'un paramètre d'état du module, le résultat de cette mesure indiquant la nécessité d'une mise au rebut ou d'un recyclage du module,
  - b) activation par le dispositif de contrôle d'au moins une partie, de préférence de tous les dispositifs d'équilibrage,
  - c) décharge des éléments électrochimiques dans leur dispositif d'équilibrage,
  - d) arrêt de la décharge d'un des éléments par le dispositif de contrôle, lorsqu'est satisfaite une condition portant sur un paramètre de fonctionnement de l'élément,
- l'étape d) étant répétée jusqu'à ce que tous les éléments du module aient satisfait à une condition portant sur un paramètre de fonctionnement de l'élément,
- e) mise au rebut ou recyclage du module.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel à l'étape d), le dispositif de contrôle arrête la décharge d'un des éléments lorsque sa tension est inférieure ou égale à une première valeur seuil  $V_{\text{seuil}}$  définie dans le dispositif de contrôle.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 2, dans lequel  $V_{\text{seuil}}$  est 0 V.
- [Revendication 4] Procédé selon la revendication 3, dans lequel tous les éléments du module ont une tension de 0 V avant de débiter l'étape e) de mise au rebut ou de recyclage du module.
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 1, dans lequel à l'étape d), le dispositif de contrôle arrête la décharge d'un des éléments lorsque son état de charge est inférieur ou égal à 10 %, de préférence inférieur ou égal à 5 %, de préférence égal à 0 %.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le dispositif d'équilibrage dissipe l'énergie d'un élément dans une résistance connectée en parallèle de cet élément, la résistance étant intégrée au module.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel, entre l'étape d) et l'étape e), tous les dispositifs d'équilibrage sont désactivés

et le dispositif de contrôle envoie un signal à un opérateur l'informant que le module peut être mis au rebut ou peut être recyclé.

[Revendication 8] Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, comprenant après l'étape d), une étape dans laquelle le dispositif de contrôle réactive le dispositif d'équilibrage d'un élément dans l'éventualité où la tension de cet élément augmenterait au-delà d'une seconde valeur seuil  $V_{\text{seuil2}}$  définie dans le dispositif de contrôle, où  $V_{\text{seuil2}}$  est supérieure à  $V_{\text{seuil1}}$ .

[Revendication 9] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le paramètre d'état du module est choisi parmi l'état de santé du module, l'état de charge du module, la durée d'utilisation du module, le nombre de cycles effectués par le module, la tension du module, la quantité d'énergie délivrée par le module depuis sa première mise en service, un état de défaillance d'une carte électronique du module, un état de défaillance de son système de régulation de température.

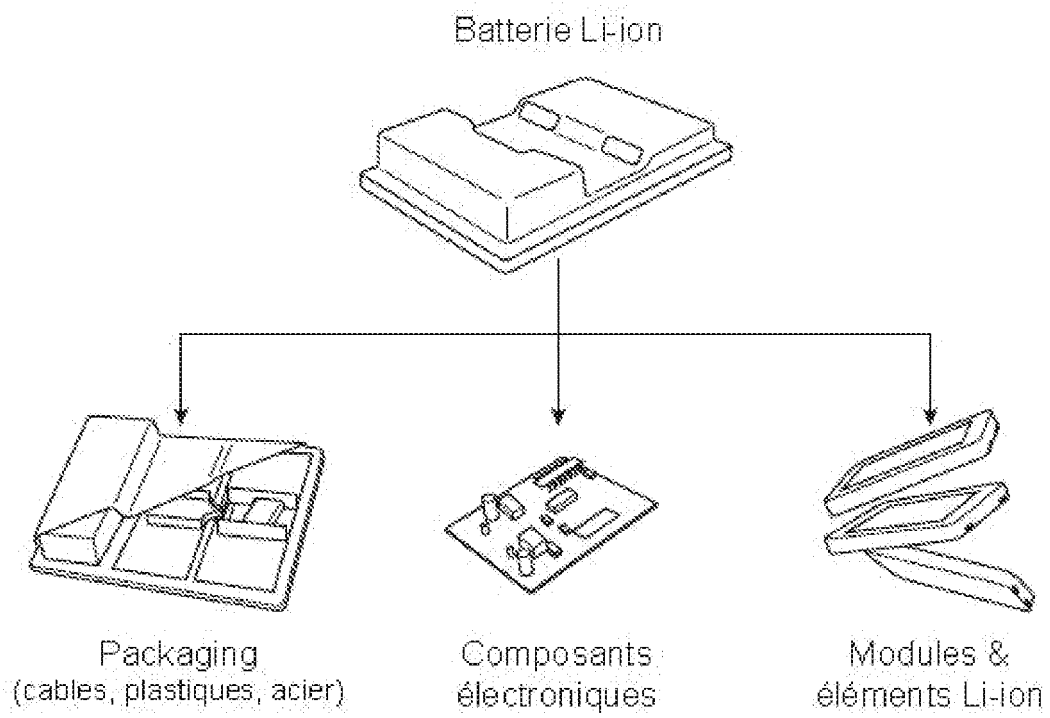
[Revendication 10] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le paramètre de fonctionnement de l'élément est choisi parmi la tension de cet élément, la capacité de cet élément, la durée écoulée de décharge et la quantité d'électricité délivrée par cet élément.

[Revendication 11] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'étape e) de mise au rebut ou de recyclage du module comprend le démantèlement du module en :

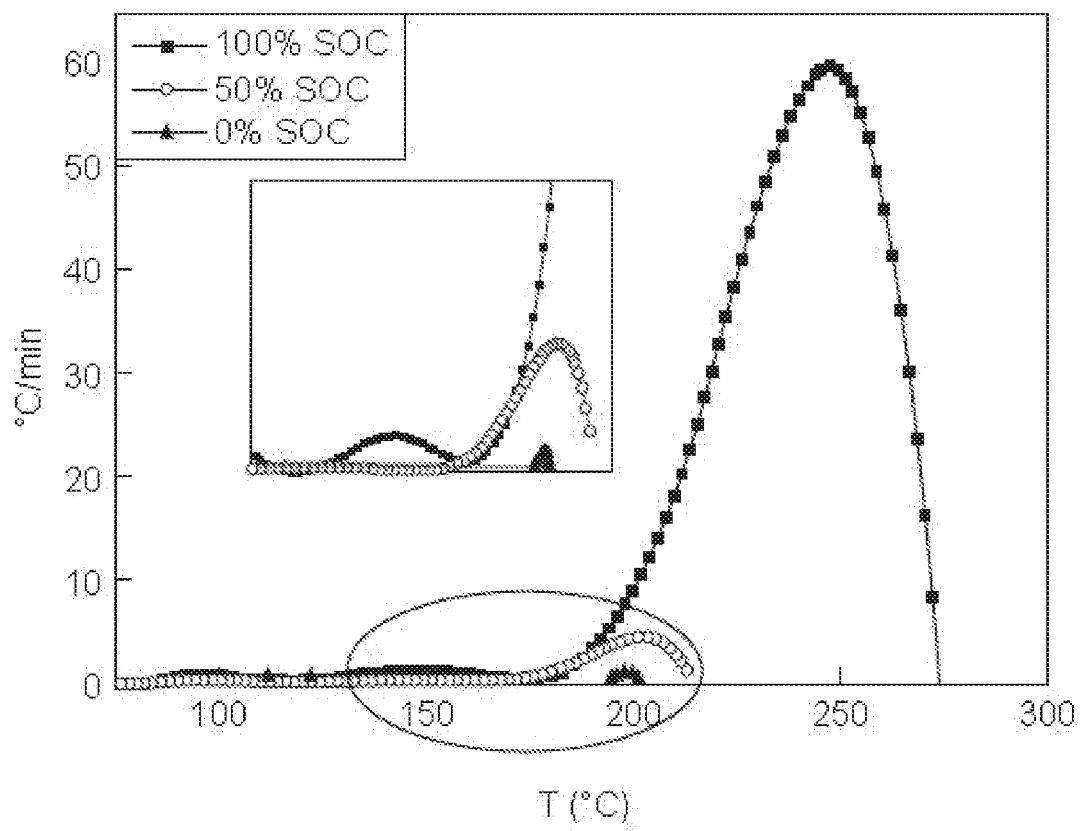
- des matériaux d'emballages en métal ou en plastique,
- des composants électroniques,
- des éléments électrochimiques
- des câbles électriques.

[Revendication 12] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les éléments électrochimiques du module sont à électrolyte liquide ou solide et sont d'un type choisi parmi le lithium-ion, le sodium-ion, le lithium-soufre et le sodium-soufre.

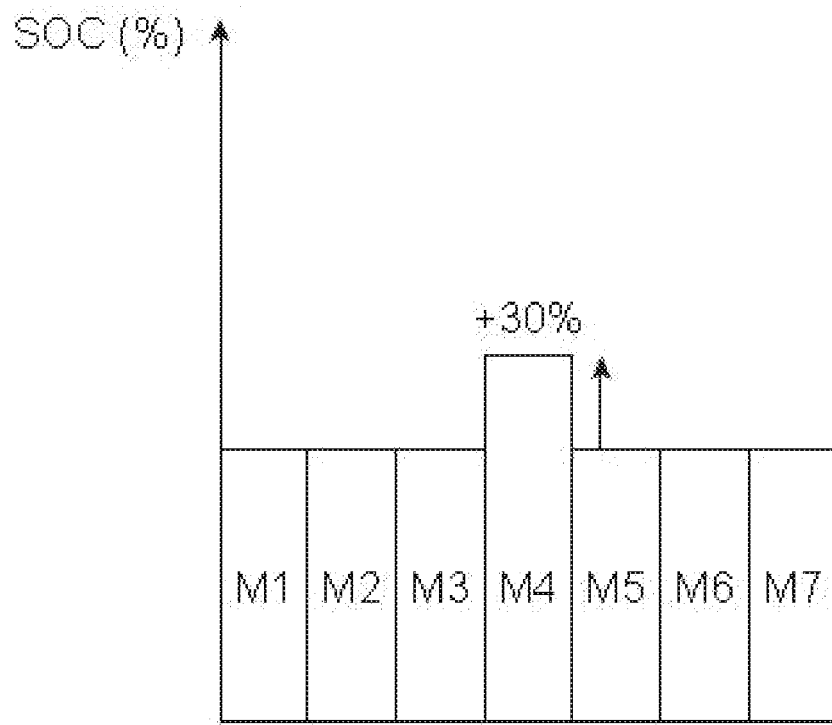
[Fig. 1]



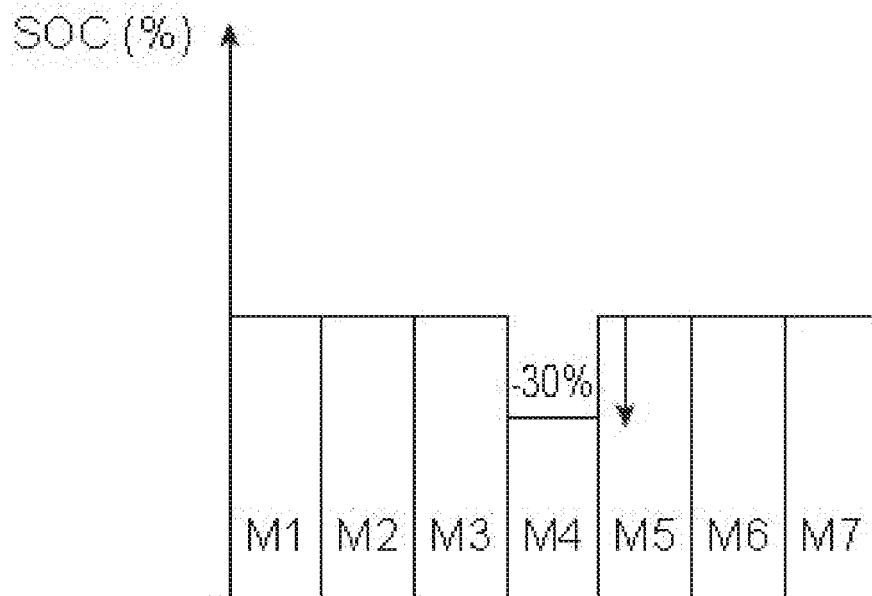
[Fig. 2]



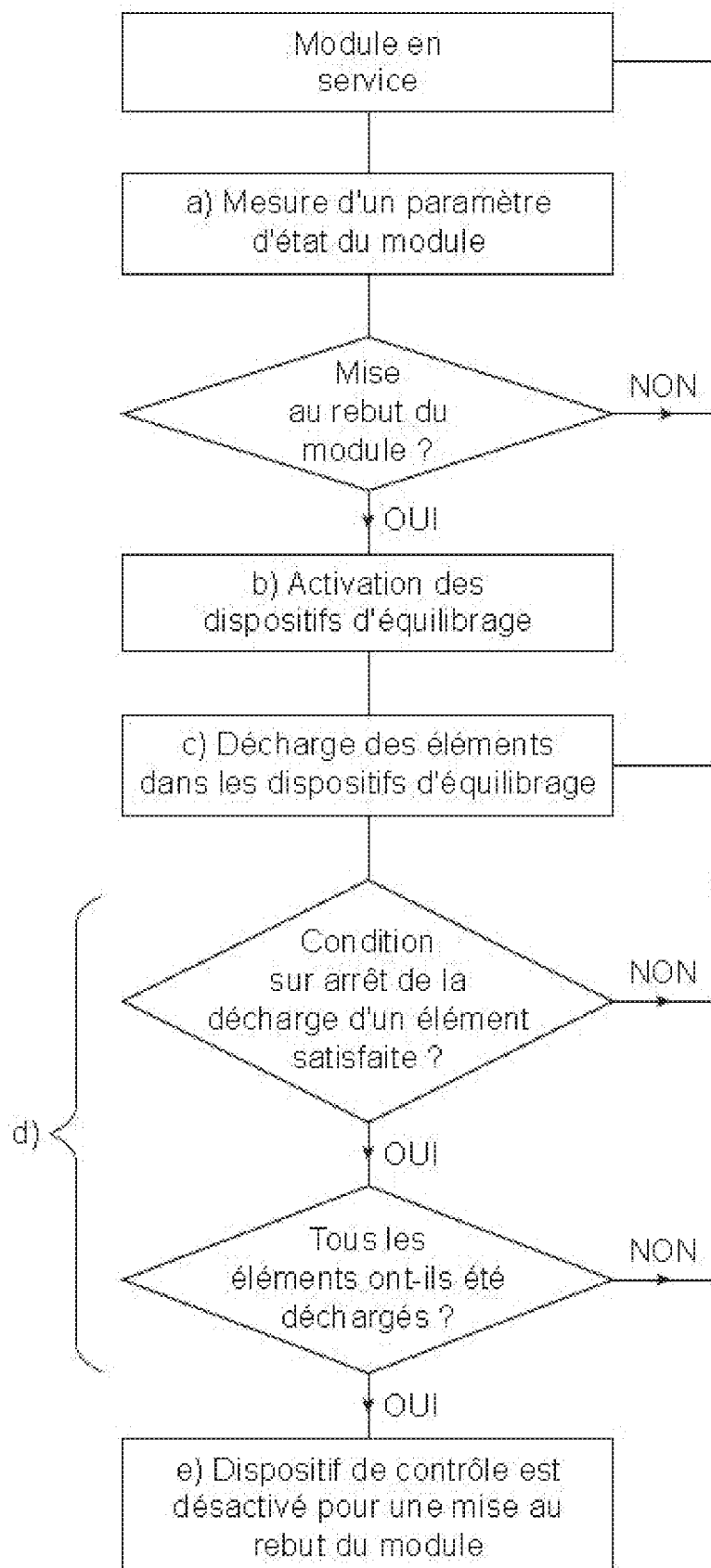
[Fig. 3a]



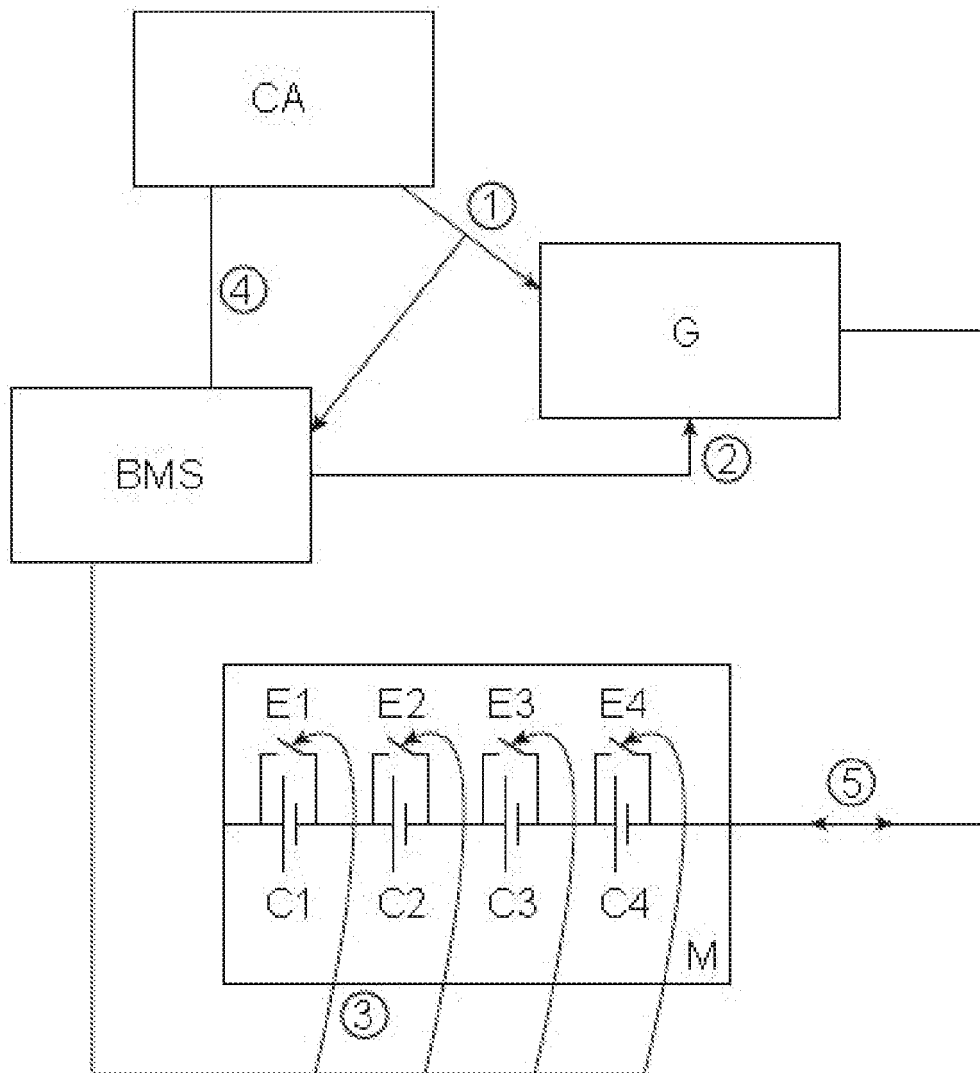
[Fig. 3b]



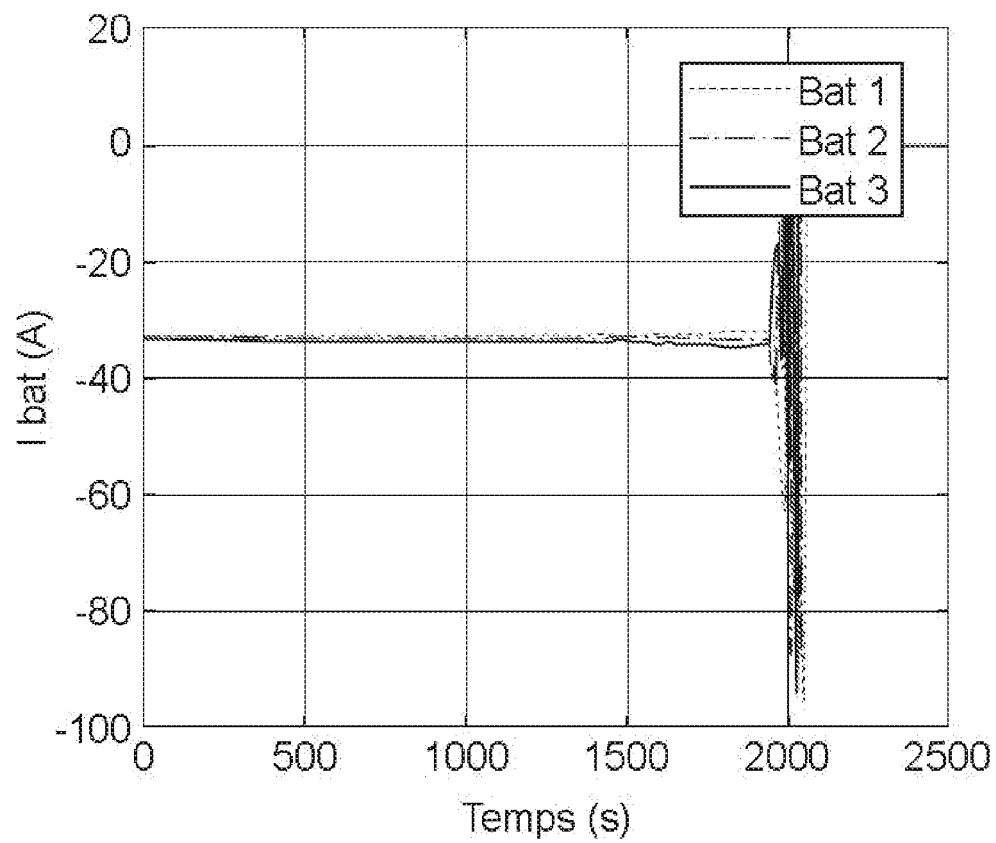
[Fig. 4]



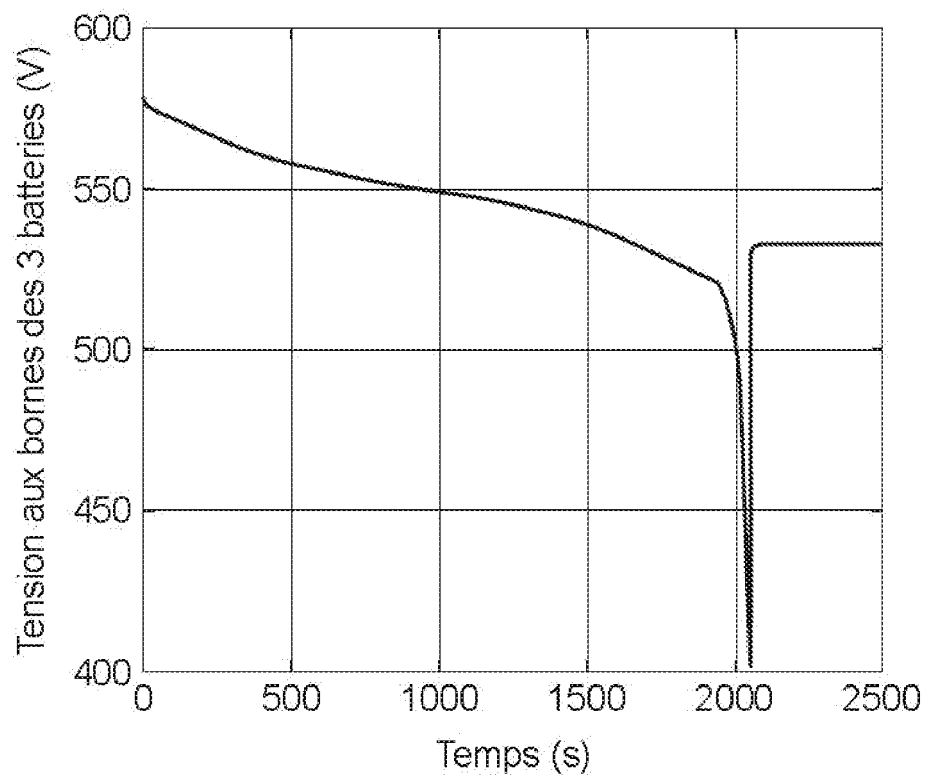
[Fig. 5]



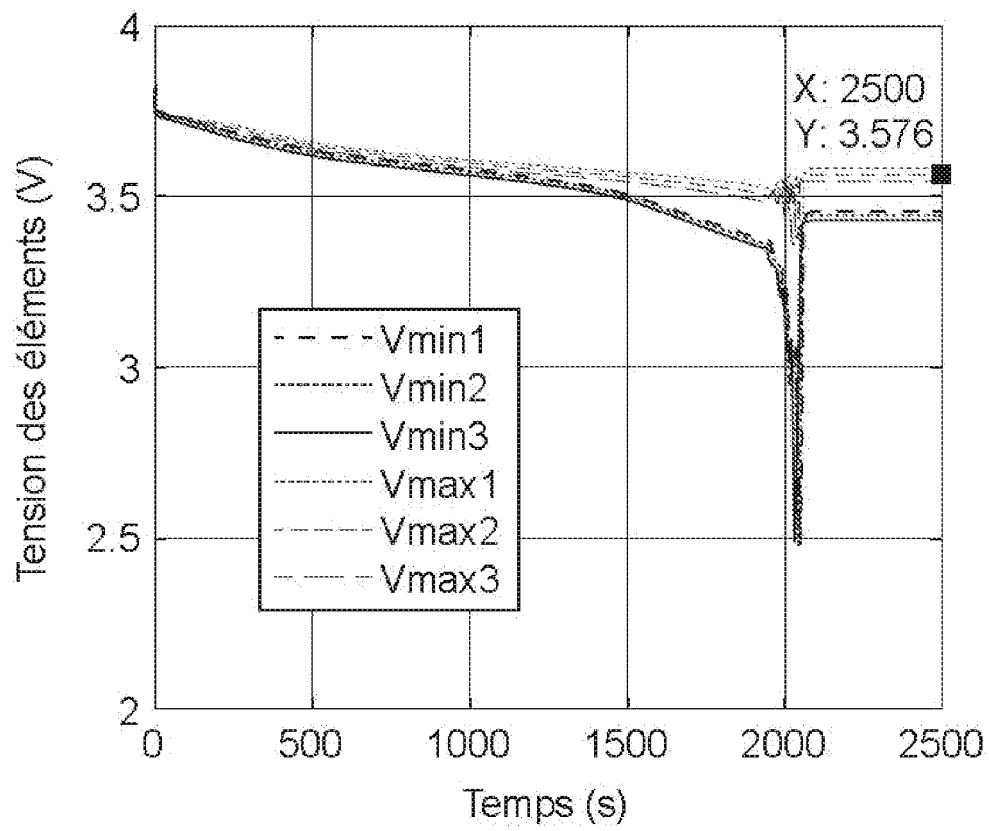
[Fig. 6a]



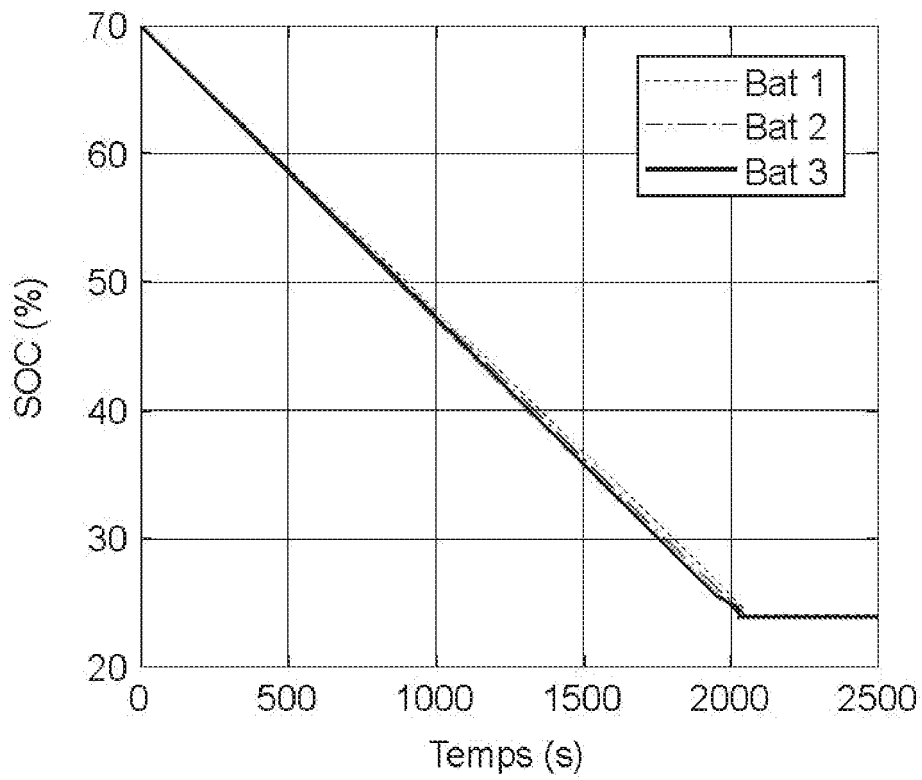
[Fig. 6b]



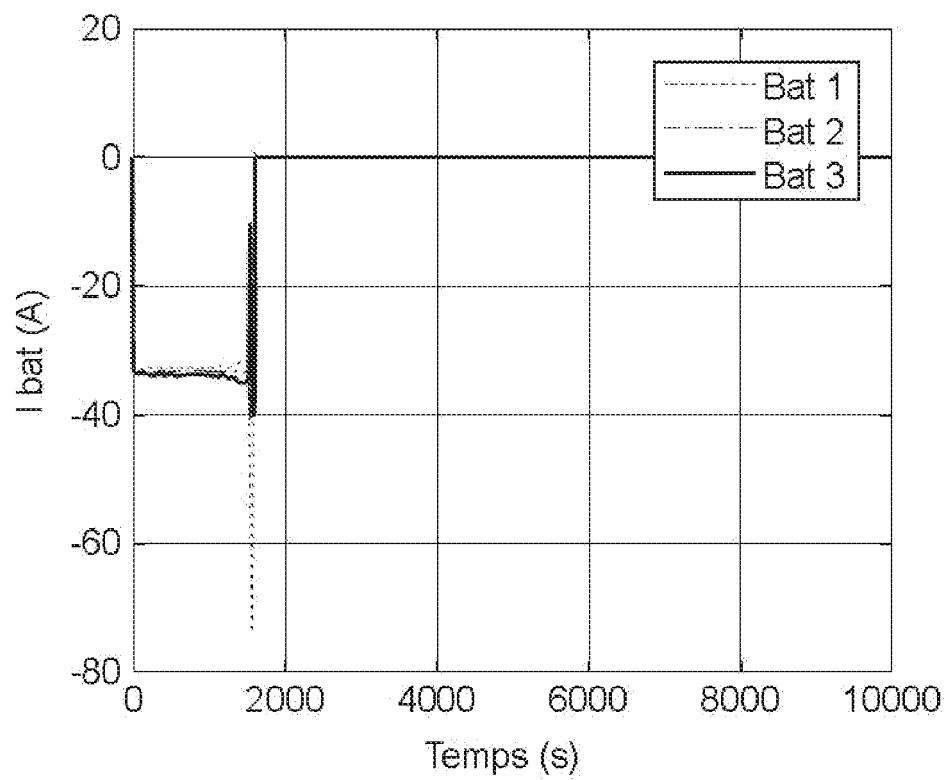
[Fig. 6c]



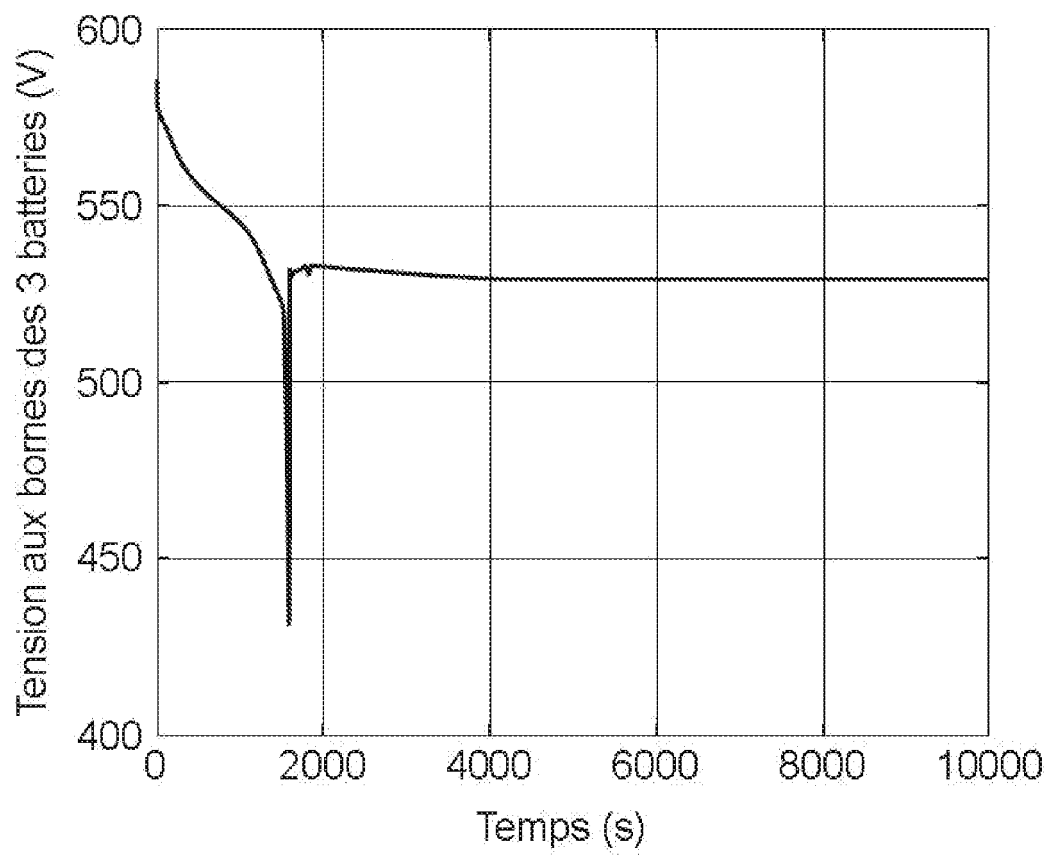
[Fig. 6d]



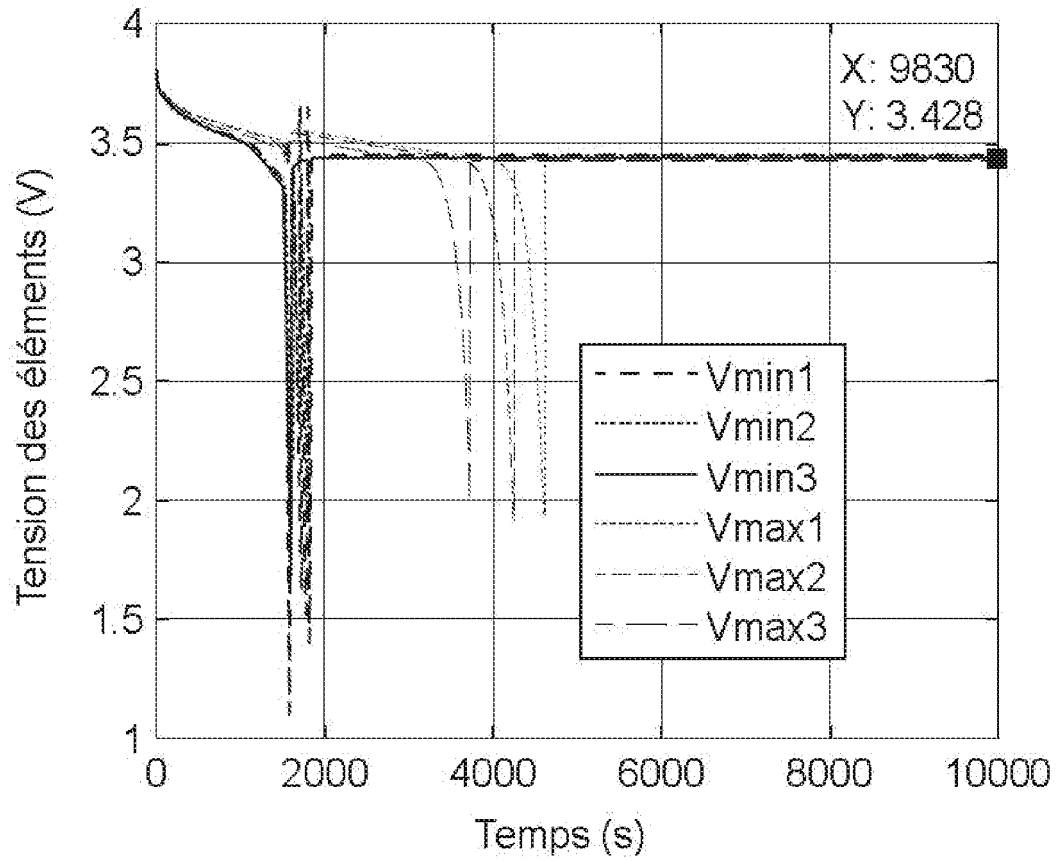
[Fig. 7a]



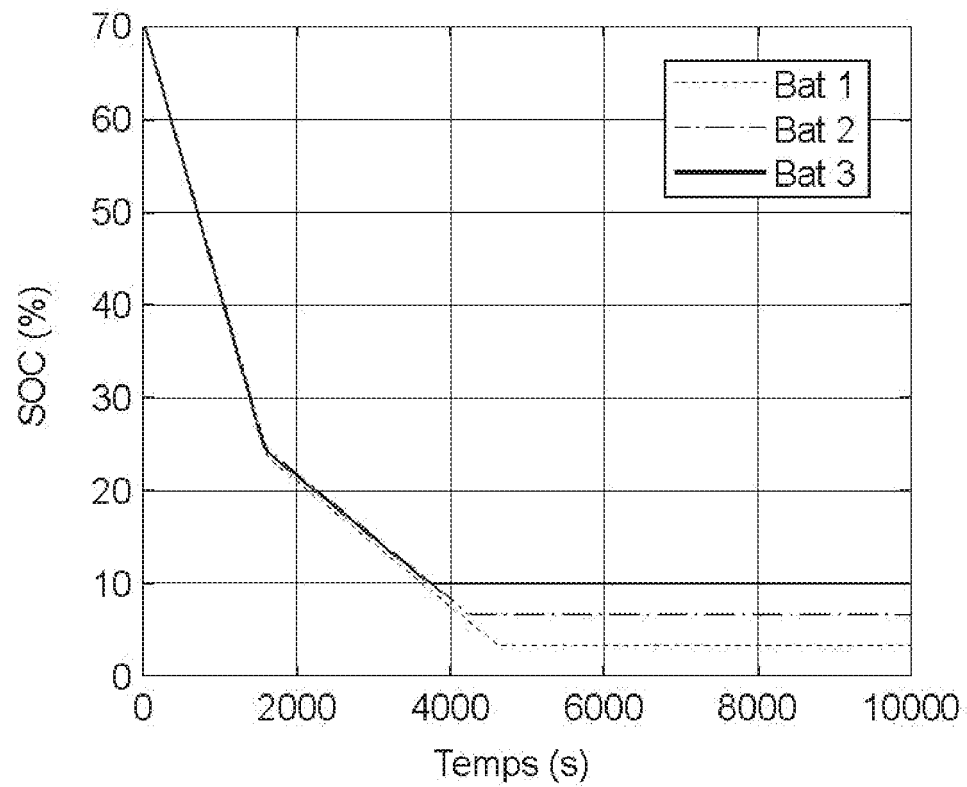
[Fig. 7b]



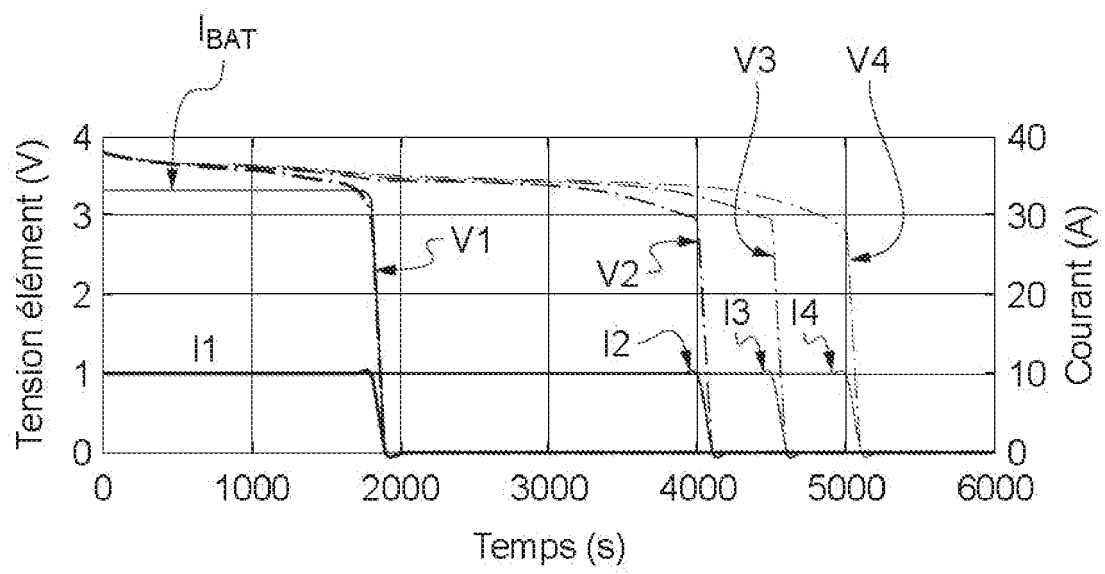
[Fig. 7c]



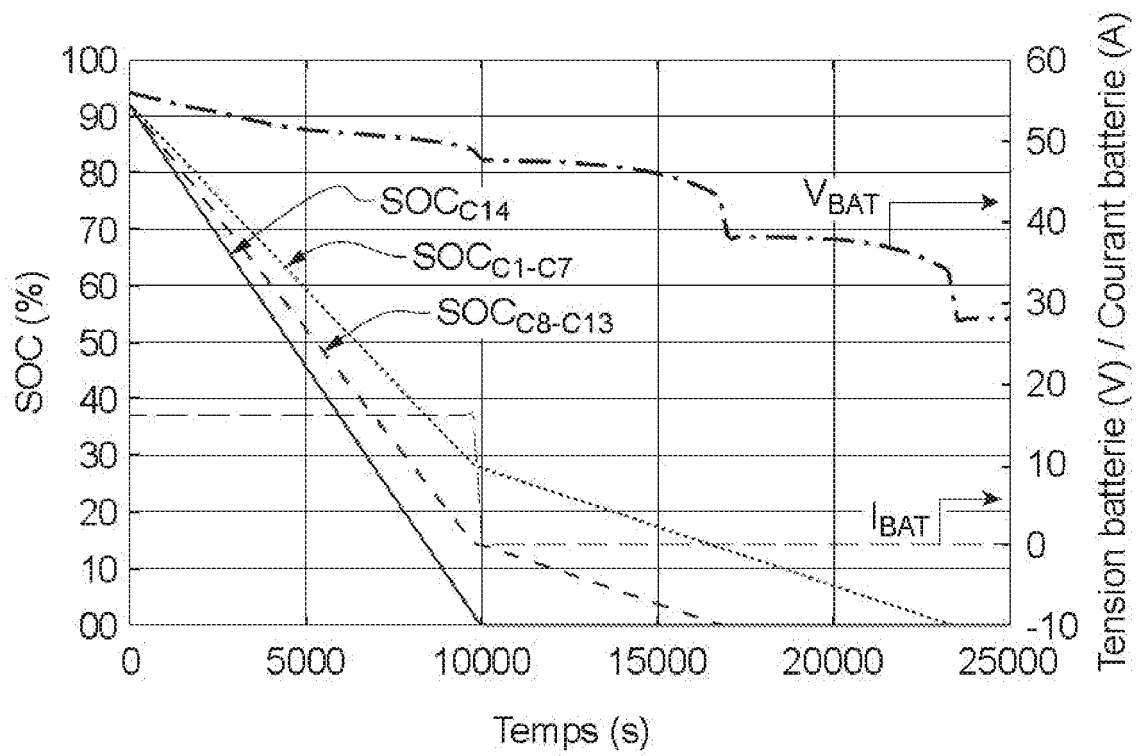
[Fig. 7d]



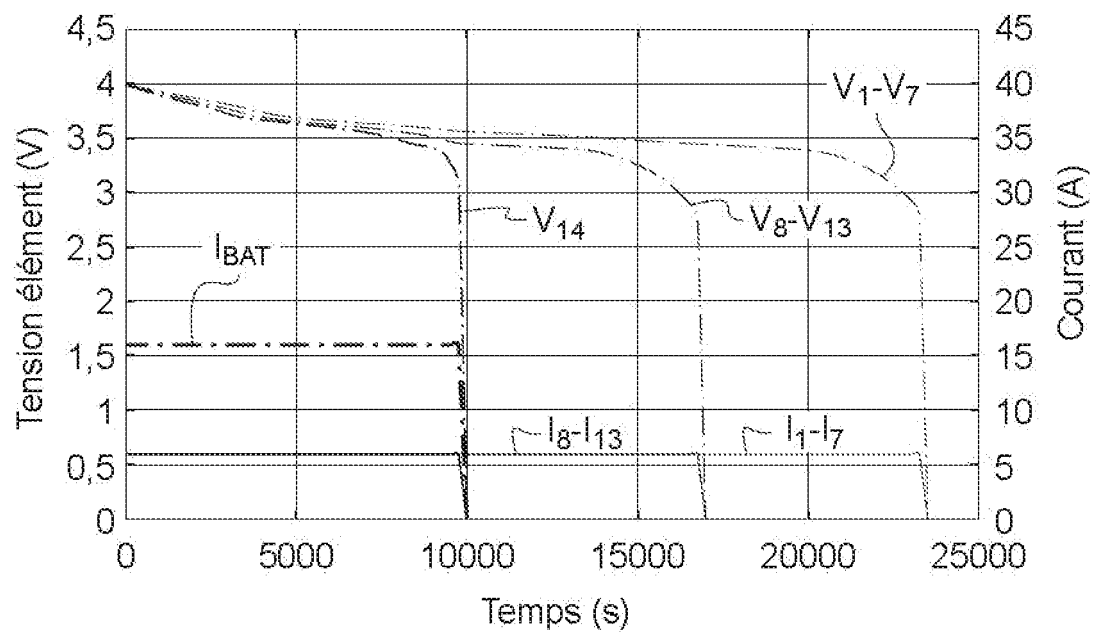
[Fig. 8]



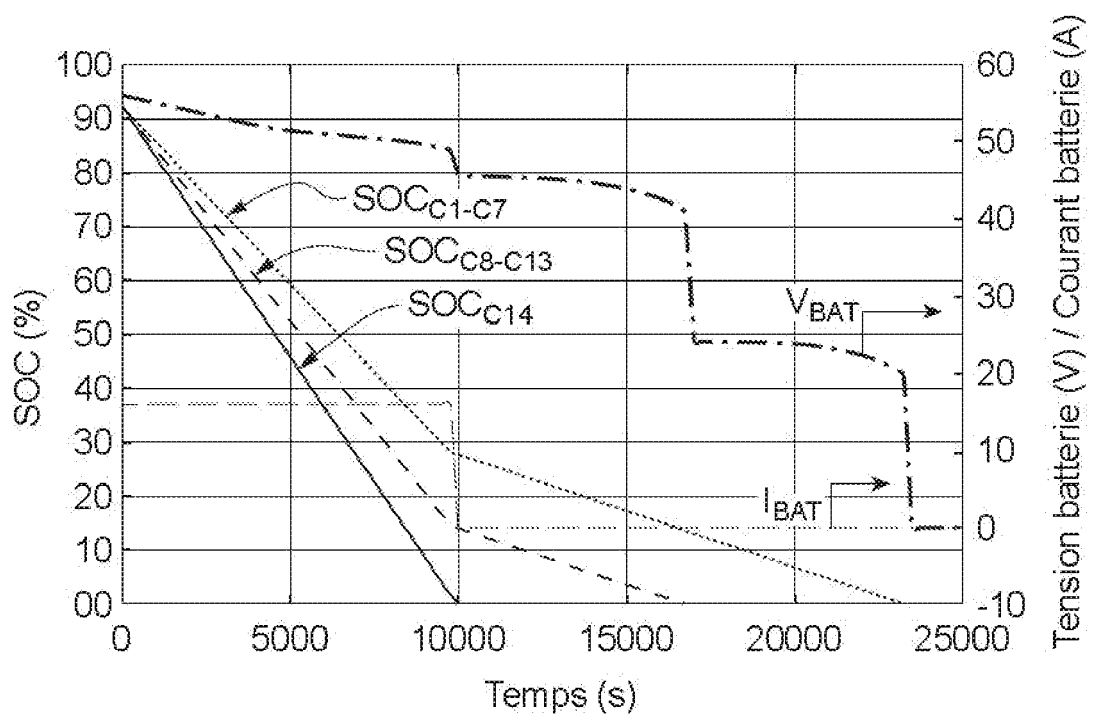
[Fig. 9]



[Fig. 10]



[Fig. 11]



# **RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 866210  
FR 1903676

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                   | Revendication(s)<br>concernée(s) | Classement attribué<br>à l'invention par l'INPI |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|
| Catégorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Citation du document avec indication, en cas de besoin,<br>des parties pertinentes                                                                |                                  |                                                 |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | US 2012/126751 A1 (CASSIDY DAVID E [US])<br>24 mai 2012 (2012-05-24)<br>* alinéas [0001], [0004], [0005],<br>[0011] - [0042] *<br>* figures 2-4 * | 1-12                             | H01M10/54<br>H01M10/42<br>H01M10/48             |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | WO 90/13922 A2 (MOTOROLA INC [US])<br>15 novembre 1990 (1990-11-15)<br>* page 2, ligne 14 - page 3, ligne 18 *<br>* figure 1 *                    | 1-12                             |                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                   |                                  | DOMAINES TECHNIQUES<br>RECHERCHÉS (IPC)         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                   |                                  | H01M                                            |
| Date d'achèvement de la recherche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                   | Examineur                        |                                                 |
| 20 novembre 2019                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                   | Mercedes González                |                                                 |
| <p><b>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul<br/>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie<br/>A : arrière-plan technologique<br/>O : divulgation non-écrite<br/>P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention<br/>E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.<br/>D : cité dans la demande<br/>L : cité pour d'autres raisons<br/>.....<br/>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p> |                                                                                                                                                   |                                  |                                                 |

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE**  
**RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1903676 FA 866210**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **20-11-2019**  
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication |
|-------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| US 2012126751 A1                                | 24-05-2012             | CN 102480151 A                          | 30-05-2012             |
|                                                 |                        | US 2012126751 A1                        | 24-05-2012             |
| -----                                           |                        |                                         |                        |
| WO 9013922 A2                                   | 15-11-1990             | EP 0423323 A1                           | 24-04-1991             |
|                                                 |                        | JP H03505651 A                          | 05-12-1991             |
|                                                 |                        | US 4965505 A                            | 23-10-1990             |
|                                                 |                        | US 5119009 A                            | 02-06-1992             |
|                                                 |                        | WO 9013922 A2                           | 15-11-1990             |
| -----                                           |                        |                                         |                        |