

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication :

3 034 261

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national :

15 52401

⑤① Int Cl⁸ : **H 01 M 10/617** (2015.01), H 01 M 10/052, H 01 M 10/625, H 01 M 10/627, H 01 M 10/653, H 01 M 10/659

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ BATTERIE ELECTRIQUE MODULAIRE COMPRENANT UN DISPOSITIF DE REGULATION THERMIQUE.

②② Date de dépôt : 23.03.15.

③③ Priorité :

⑥① Références à d'autres documents nationaux apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : IFP ENERGIES NOUVELLES
Etablissement public — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 30.09.16 Bulletin 16/39.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 05.04.19 Bulletin 19/14.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : MINGANT REMY, GONZALEZ
SERGE et JACQUINET PHILIPPE.

⑦③ Titulaire(s) : IFP ENERGIES NOUVELLES
Etablissement public.

⑦④ Mandataire(s) : IFP ENERGIES NOUVELLES.

FR 3 034 261 - B1



Domaine de l'invention

La présente invention concerne le domaine des batteries électriques modulaires (ou packs batteries), notamment la régulation thermique des batteries électriques modulaires rechargeables.

5

Contexte général

L'utilisation de packs batteries comme sources réversibles d'énergie et de puissance dans les applications portables est courante, et elle se généralise dans les applications de traction et les applications stationnaires. Dans ces applications où des
10 niveaux de puissance et/ou énergie élevés sont nécessaires, les packs batteries sont généralement formés de modules, connectés entre eux en série et/ou en parallèle suivant l'application visée. Chaque module intègre une pluralité de cellules élémentaires, qui sont des cellules électrochimiques de stockage et de restitution d'énergie électrique, connectées en série et/ou en parallèle par une connectique appropriée au passage du
15 courant. Une architecture de batterie électrique modulaire, où des modules compacts de taille intermédiaire constituent individuellement une source d'énergie et de puissance, est classiquement utilisée car elle apporte une flexibilité pour l'agencement, l'utilisation et la maintenance des modules.

Certaines fonctions du pack batterie comme la régulation thermique, la protection
20 mécanique et la sécurité pour le stockage réversible de l'énergie électrique doivent alors être prises en compte et assurées au niveau du module de batterie.

Actuellement, différentes technologies de batteries rechargeables, aussi appelées batteries secondaires, assurant le stockage réversible d'énergie électrique sous forme électrochimique, sont utilisées pour les applications associées à la traction
25 électrique des véhicules ou aux énergies stationnaires. Parmi celles-ci, les batteries Li-ion sont largement étudiées.

Un module de batterie doit être régulé thermiquement notamment car la charge et la décharge des cellules entraînent des élévations de température, en particulier dues à la résistance interne des cellules et à celle des connectiques reliant les cellules. Or, une
30 batterie doit fonctionner dans une gamme de température limitée, notamment les batteries Li-ion, afin d'une part de prévenir tout risque d'emballement thermique des cellules, et d'autre part de limiter les phénomènes de vieillissement des cellules, qui affectent les performances du module et requièrent une maintenance accrue.

Différents phénomènes indésirables peuvent intervenir si une ou plusieurs cellules d'un pack batterie se trouvent en dehors des plages de température et/ou de tension préconisées par le constructeur. Ces phénomènes peuvent être provoqués par un point chaud localement et/ou une surcharge, mais également par un endommagement mécanique sur les cellules, comme une perforation, ou un contact sur les connectiques provoquant un court-circuit.

Suivant la chimie de l'accumulateur, ces phénomènes peuvent endommager parfois irréversiblement les matériaux actifs, réduire la capacité de la cellule, rendre le système inopérant, voire provoquer un emballement thermique assorti de risques de feu et/ou de dégagements gazeux.

Pour ce qui concerne les accumulateurs Li-ion, il est connu d'intégrer des systèmes de sécurité "passifs" dans chaque élément (séparateur capable de couper irréversiblement la circulation de l'électrolyte entre les électrodes, compartiment à gaz et évent pour éviter la montée en pression, etc.) afin de réduire les risques d'emballement thermique. Une électronique spécifique peut également être intégrée dans la cellule, avec le même objectif. A l'échelle du module ou du pack, le système de gestion de la batterie, ou Battery Management System (BMS) en termes anglo-saxons, doit assurer le fonctionnement en toute sécurité en conditions d'usage normal et limiter les risques en usage abusif.

La prise en compte d'une fonction de régulation thermique à l'échelle du module dans une batterie électrique modulaire permet d'en améliorer la sécurité.

De nombreuses techniques de refroidissement et diverses architectures de batteries modulaires existent.

Parmi elles, il est connu d'utiliser des matériaux à changement de phase (MCP), capables de stocker de la chaleur latente, pour la gestion thermique des batteries. Un MCP peut en effet emmagasiner ou restituer de la chaleur lorsqu'il change d'état, passant de l'état solide à l'état liquide et vice et versa. Un tel matériau est par exemple décrit dans la demande de brevet US 2013/0270476 A1 pour le refroidissement de batterie de type Li-ion cylindriques. Le matériau décrit est un MCP composite à base de polyéthylène glycol, de silice, et comporte un retardateur de flamme en graphite et polymère.

Une technique de refroidissement de batterie est décrite dans la demande de brevet US 2012/0107662 A1, mettant en œuvre une matrice composite multicouches en graphite expansé infiltrée d'un MCP, sous forme de bloc, comprenant des orifices dans

lesquels s'insèrent des cellules électrochimiques. La matrice thermiquement conductrice enveloppant au moins en partie les cellules, assure la gestion thermique de la batterie modulaire par dissipation passive de la chaleur vers l'extérieur du bloc de graphite.

La demande de brevet US 2014/0004394 décrit également l'usage de MCP pour
5 la gestion thermique d'une batterie, notamment pour chauffer la batterie lors du démarrage à froid, ou pour son refroidissement. Les MCP décrits sont par exemple une solution saline ou une paraffine, mis en œuvre dans un gel ou dans un ou plusieurs conteneurs en plastique ou en métal. Le gel ou les conteneurs remplis de MCP sont placés autour de la batterie ou encore directement dans la batterie. Ils agissent
10 thermiquement par mise en contact avec la batterie, sous l'activation d'un événement extérieur (pulse) pour ce qui est du réchauffement de la batterie par cristallisation du MCP.

D'autres systèmes de régulation thermique de batteries modulaires reposent sur l'utilisation de matériaux à chaleur sensible, par exemple de l'eau, qui récupèrent la
15 chaleur dégagée par les cellules d'une batterie. Ils s'agit généralement de systèmes de dissipation active de la chaleur. La demande de brevet US 2008/292948 A1 décrit par exemple une batterie modulaire munie d'un système de dissipation active de la chaleur, reposant sur la circulation d'un liquide. Des échangeurs thermiques sous forme de plaques sont disposés entre des rangées de cellules. Une circulation de liquide dans les
20 plaques permet de prélever la chaleur à la surface des cellules, et de refroidir ainsi la batterie. Le liquide à forte chaleur sensible est utilisé dans ce cas comme vecteur caloripporteur.

Objectifs et résumé de l'invention

25 La présente invention propose une autre configuration de batterie électrique modulaire comportant un système de régulation thermique de la batterie permettant d'en améliorer la sécurité d'utilisation.

La présente invention vise en particulier à fournir une batterie modulaire qui peut à la fois être régulée thermiquement, sans nécessiter un apport d'énergie spécifique
30 extérieur à la batterie pour cette régulation thermique, de manière à prévenir tout risque d'emballement thermique des cellules et à limiter les phénomènes de vieillissement des cellules. Ainsi, il est possible de se passer d'une gestion thermique active de la batterie

selon la présente invention, telle qu'un système de ventilation ou de refroidissement par circulation d'eau.

Dans le même temps, la présente invention vise à fournir une batterie modulaire régulée thermiquement qui soit simple et peu coûteuse dans sa conception et son industrialisation. La présente invention a en particulier pour avantage de permettre une
5 intégration directe et simple du système de régulation thermique lors du montage de la batterie modulaire, notamment lors des opérations de fixation, par exemple par soudage, des cellules dans la batterie.

La présente invention est bien adaptée à la traction de véhicules électriques, notamment des véhicules électriques dans lesquels les sollicitations des batteries sont
10 très importantes et peuvent entraîner un emballement thermique lié à un usage « abusif », allant au-delà de l'usage normal. Elle peut également être adaptée aux applications de stockage d'énergie stationnaires, telles que les systèmes de stockage d'énergie photovoltaïques intégrant des batteries modulaires pour lesquelles une régulation
15 thermique peut être souhaitable.

Ainsi, pour atteindre au moins l'un des objectifs susvisés, parmi d'autres, la présente invention propose, selon un premier aspect, une batterie électrique modulaire comportant :

20 - un ensemble de cellules électrochimiques de stockage et de restitution d'énergie électrique connectées électriquement entre elles par des moyens de connexion électriques, chaque cellule électrochimique comportant une même structure externe donnée ;

- un dispositif de régulation thermique comprenant au moins une cellule
25 thermique non électrochimique disposée à côté d'au moins une cellule électrochimique et connectée thermiquement à ladite au moins une cellule électrochimique par un desdits moyens de connexion électrique, ladite au moins une cellule thermique comportant une structure externe sensiblement identique à la structure externe des cellules électrochimiques, et une structure interne composée d'un matériau apte à collecter au
30 moins en partie la chaleur dégagée par les cellules électrochimiques ;

- un boîtier contenant au moins l'ensemble de cellules électrochimiques et le dispositif de régulation thermique.

Selon un mode de réalisation, la structure interne de la cellule thermique comprend un matériau thermiquement conducteur ayant une valeur de conductivité thermique supérieure à 2 W/(m.K) , et de préférence supérieure à 10 W/(m.K) .

Avantageusement, le matériau thermiquement conducteur est du métal, du
5 graphite, ou un matériau composite de type polymère comprenant des charges thermiquement conductrices.

Selon un mode de réalisation, la structure interne de la cellule thermique comprend un MCP.

De préférence, le MCP a une valeur de chaleur latente de fusion comprise entre
10 50 kJ/kg et 300 kJ/kg , et plus préférentiellement comprise entre 200 kJ/kg et 300 kJ/Kg .

Le MCP peut comprendre au moins l'une des substances suivantes : une paraffine, un alcool, un acide.

Avantageusement, le MCP a une température de fusion T_f comprise entre 0°C et une température maximale d'échauffement autorisé donnée pour les cellules
15 électrochimiques (100), par exemple une température de fusion T_f comprise entre 0°C et 55°C .

Selon un mode de réalisation, la structure interne de la cellule thermique comprend un matériau ayant une valeur de chaleur spécifique supérieure à 800 J/kg.K , de préférence supérieure à 1500 J/kg.K .

20 Ce matériau peut être de l'eau.

Selon un mode de réalisation, la structure interne de la cellule thermique comprend un matériau composite, ledit matériau composite comportant un premier matériau thermiquement conducteur de conductivité thermique supérieure à 2 W/(m.K) et un deuxième matériau choisi parmi un MCP et un matériau ayant une chaleur spécifique
25 supérieure à 800 J/kg.K .

De préférence, le matériau composite comprend du graphite ou un métal, ledit métal étant de préférence sous la forme d'une mousse métallique, et un MCP.

Selon un mode de réalisation, les cellules électrochimiques sont de type Li-ion.

La présente invention propose également, selon un deuxième aspect, un
30 véhicule électrique ou hybride comprenant une batterie selon invention, et, selon un troisième aspect, un système de stockage d'énergie stationnaire, de préférence photovoltaïque, comprenant une batterie selon invention.

D'autres objets et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit d'exemples de réalisation particuliers de l'invention, donnés à titre d'exemples non limitatifs, la description étant faite en référence aux figures annexées décrites ci-après.

5

Brève description des figures

La figure 1 est une vue en perspective schématique de l'intérieur d'une batterie modulaire selon un mode de réalisation de l'invention.

La figure 2 est une vue en perspective d'une cellule thermique du dispositif de
10 régulation thermique d'une batterie modulaire selon l'invention, montrant une partie de la structure interne de la cellule.

Les figures 3A, 3B et 3C sont des coupes schématiques d'une partie d'une batterie modulaire selon l'invention, illustrant 3 possibilités de connexion entre deux cellules électrochimiques et une cellule thermique au sein de la batterie.

15 Les figures 4A et 4B illustrent un exemple de batterie selon l'art antérieur sans système de régulation thermique et son comportement thermique lors de sollicitations électriques. La figure 4A est une coupe schématique de la batterie selon l'art antérieur. La figure 4B est un graphique représentant la température moyenne des cellules électrochimiques de la batterie au cours du temps lors des tests électriques.

20 Les figures 5A et 5B illustrent un exemple de batterie selon l'invention et son comportement thermique lors de sollicitations électriques. La figure 5A est une coupe schématique de la batterie selon l'invention. La figure 5B est un graphique représentant la température moyenne des cellules électrochimiques et des cellules thermiques de la batterie au cours du temps lors des tests électriques.

25

Sur les figures, les mêmes références désignent des éléments identiques ou analogues.

Description détaillée de l'invention

30 L'objet de l'invention est de proposer une batterie modulaire comportant un dispositif de régulation thermique par dissipation passive de la chaleur, permettant d'améliorer la sécurité d'utilisation de la batterie.

Par dispositif de dissipation passive de la chaleur, on entend un dispositif ne nécessitant pas, pour son fonctionnement, un système consommateur d'énergie extérieure à la batterie, notamment d'électricité, par opposition aux dispositifs de dissipation de chaleur actifs tels que des systèmes de ventilation d'air mettant en œuvre des ventilateurs ou des systèmes de circulation de fluide caloporteur avec pompe (échangeur de chaleur).

Dans la présente description, on se référera indifféremment à l'expression batterie modulaire ou batterie électrique modulaire ou pack batterie, pour désigner une batterie électrique comportant au moins un module formé d'un boîtier et intégrant une pluralité de cellules élémentaires ou éléments, connectés en série et/ou en parallèle par une connectique appropriée au passage du courant. Le terme connectique et l'expression moyens de connexion électrique ont la même signification dans la présente description. La pluralité de cellules de chaque module peut être agencée sous forme de plateaux de cellules tels que décrits ci-après. Une batterie modulaire peut être composée de plusieurs modules connectés entre eux en série et/ou en parallèle suivant l'application visée.

Dans tout le présent exposé, sauf indication expresse contraire, un singulier doit être interprété comme un pluriel et réciproquement.

La présente invention concerne les batteries électriques modulaires rechargeables, c'est-à-dire comprenant des cellules rechargeables électriquement qui sont des cellules électrochimiques unitaires contenant deux électrodes mises au contact d'un électrolyte. Ces cellules sont des accumulateurs électrochimiques d'énergie, c'est-à-dire des générateurs électrochimiques rechargeables. Une telle cellule fonctionne spontanément dans le sens générateur lorsque ses électrodes sont mises en contact par un circuit électrique extérieur, par conversion de l'énergie chimique contenue dans les matières actives qui la composent directement en énergie électrique par l'intermédiaire de réactions d'oxydo-réduction (réactions redox). Ces réactions redox étant réversibles, la cellule peut accumuler de l'électricité en charge en branchant une alimentation électrique à ses bornes créant un courant inverse au sens de la décharge.

La présente invention propose une régulation thermique d'une batterie électrique modulaire dans laquelle la chaleur développée par les cellules électrochimiques, et éventuellement par leur connectique, est collectée par des éléments spécifiques intégrés dans la batterie, d'aspect extérieur similaire à celui des cellules électrochimiques, et disposés au voisinage des cellules électrochimiques.

Ces éléments spécifiques qui collectent la chaleur, au moins partiellement, des cellules électrochimiques de la batterie, sont désignés dans la présente description par l'expression de « cellule thermique », en référence à la similitude d'aspect avec les cellules électrochimiques et à leur fonction de régulation thermique. Les cellules thermiques ne sont en aucun cas des cellules électrochimiques de stockage et de restitution d'énergie électrique.

Par « collecte » de la chaleur, on entend l'absorption de la chaleur par les cellules thermiques, qui peut être restituée au besoin, ou la dissipation de cette chaleur dans la batterie par les cellules thermiques, voire les deux. En effet, selon le matériau choisi pour former la structure interne de la cellule thermique, le chaleur peut être absorbée par le matériau, et/ou dissipée par le matériau dans la batterie.

Selon l'invention, la régulation thermique de la batterie modulaire se fait uniquement de manière passive, par absorption/restitution des calories ou dissipation de la chaleur dans la batterie par la cellule thermique. Ainsi, il est notamment possible de s'affranchir de systèmes complexes de régulation thermique, pouvant être encombrants et consommateurs d'énergie. La présente invention permet par exemple, de réduire, voire de supprimer, le recours à un système actif de régulation thermique additionnel éventuel, tel qu'un système de ventilation actif. Cela permet de réduire la consommation en énergie et de réaliser des économies sur les coûts d'installation et de maintenance afférents.

L'utilisation, pour les cellules thermiques, d'un packaging similaire à celui des cellules électrochimiques, permet de simplifier la conception de la batterie modulaire intégrant une fonction de régulation thermique, de même que sa fabrication, notamment grâce à la possibilité d'utiliser une méthode d'assemblage identique pour les électrochimiques et les cellules thermiques.

La batterie électrique modulaire selon l'invention comporte :

- un ensemble de cellules électrochimiques connectées électriquement entre elles par des moyens de connexion électriques, chaque cellule électrochimique comportant une même structure externe donnée ;

- un dispositif de régulation thermique comprenant au moins une cellule thermique non électrochimique disposée à côté d'au moins une cellule électrochimique et connectée thermiquement à la cellule électrochimique par un des moyens de connexion électrique, la cellule thermique comportant une structure externe sensiblement identique à

la structure externe des cellules électrochimiques, et une structure interne composée d'un matériau apte à collecter au moins en partie la chaleur dégagée par les cellules électrochimiques ;

- un boîtier contenant au moins l'ensemble des cellules électrochimiques et le
- 5 dispositif de régulation thermique.

Un exemple de batterie modulaire 1000 selon l'invention est illustré schématiquement à la figure 1, selon une vue en perspective. Seule une partie de la batterie est représentée.

10 La batterie modulaire 1000 comporte un module comprenant une pluralité de cellules électrochimiques de stockage et de restitution d'énergie électrique 100.

Les cellules 100 sont des cellules Li-ion cylindriques dont les bornes positive et négative sont situées de part et d'autre du cylindre pour chaque cellule. Les cellules 100 sont combinées électriquement en série et/ou parallèle, et sont arrangées de manière à

15 former un ou plusieurs plateaux. L'ensemble des cellules ainsi connectées développe une tension et une capacité adaptées à des applications pour lesquelles une cellule unique ne suffit pas, telles que des applications de traction de véhicules. Le nombre de plateau n'est pas limité et peut être établi selon les besoins en énergie de l'application visée.

Les cellules électrochimiques présentent une même structure externe. Cette

20 structure externe peut être souple ou rigide.

Afin d'emmagasiner et/ou d'évacuer les calories en cas de surchauffe ou d'emballlement thermique de la batterie, il est proposé d'inclure dans le module une ou plusieurs cellules thermiques non électrochimiques à la place d'une ou plusieurs cellules électrochimiques, à des emplacements qui auraient pu recevoir lesdites cellules

25 électrochimiques.

La figure 1 représente un exemple de batterie comprenant un plateau comportant huit cellules électrochimiques 100 entourant une cellule thermique 200. Un plateau est défini comme un arrangement sur un même plan horizontal (XY) de plusieurs cellules électrochimiques et d'au moins une cellule thermique, disposées les unes à côté des

30 autres, les cellules électrochimiques étant connectées électriquement. Les cellules sont arrangées sur le plateau parallèlement à leur axe principal de symétrie, qui passe par la ou les faces de la cellule portant les bornes, selon la direction verticale Z. Le plateau est formé d'une ou plusieurs rangées de cellules 100, chaque rangée de cellules s'étendant selon la direction transversale Y.

Sur la figure 1, sont représentées huit cellules électrochimiques 100 alignées selon la direction Y pour former trois rangées. La rangée intermédiaire comporte en son centre une cellule thermique 200.

Les cellules du plateau sont séparées d'un espace. Alternativement, les cellules
5 peuvent être en contact. Un flasque (non représenté) est éventuellement utilisé pour maintenir, au sein d'un plateau, les cellules à une distance fixe les unes des autres.

Sur le plateau, chaque cellule électrochimique 100 est connectée par l'intermédiaire d'au moins une de ses bornes à l'une des bornes d'une cellule électrochimique 100 voisine au moyen d'une connectique (110,113) appropriée au
10 passage du courant, par exemple une connectique métallique, tel qu'un clinquant de cuivre ou de nickel. Ainsi, toutes les cellules électrochimiques, sauf dans certains cas celles qui sont situées à la périphérie du plateau, par exemple supportant une connectique (111,112) qui définit une borne de la batterie modulaire, ou dans certains cas celles qui sont voisines d'une cellule thermique 200, sont connectées par l'intermédiaire
15 de leur deux bornes à deux cellules voisines par une connectique métallique (110, 113). Les figures 3A, 3B et 3C, décrites plus bas, illustrent en effet les différentes possibilités de disposition et de connexion électrique de deux cellules électrochimiques et d'une cellule thermique.

Sur la figure 1, les cellules électrochimiques du plateau sont par exemple reliées
20 en série : les connectiques 110 et 113 représentées relient une borne positive à une borne négative de deux cellules adjacentes. La cellule thermique 200 est également reliée par l'intermédiaire de connectiques (110,113) à deux cellules électrochimiques voisines, et assure la connexion électrique entre les deux cellules électrochimiques en question. Cette configuration de connexion entre cellules thermique et électrochimiques correspond
25 à celle représentée à la figure 3A.

La connectique reliant la cellule thermique à au moins une cellule électrochimique voisine, typiquement en métal, permet la transfert de chaleur entre ladite cellule électrochimique et la cellule thermique.

Un boîtier (non représenté) contient l'ensemble des cellules électrochimiques 100
30 et thermique 200. On entend par boîtier l'enveloppe délimitant l'intérieur du module de l'extérieur du module de la batterie généralement au contact avec de l'air. De préférence, ce boîtier est en matériau métallique, par exemple en aluminium, de manière à assurer un cloisonnement étanche entre l'intérieur du boîtier et l'extérieur tout en favorisant la conduction thermique. Le boîtier peut être également en matière plastique ou composite,

comprenant par exemple un ou plusieurs polymères thermoplastiques de type PLA (Acide polylactique), ABS (Acrylonitrile-butadiène-styrène), ou nylon. Le boîtier, qui peut être également monté en plusieurs parties de natures différentes, est de préférence étanche, et équipé de passages étanches pour l'entrée et la sortie des connexions électriques du module selon les besoins. Le boîtier peut comprendre des ailettes, à l'extérieur du module, permettant d'améliorer la dissipation et l'évacuation de la chaleur à l'extérieur de la batterie, par exemple au contact d'air.

La structure de la cellule thermique 200 est représentée plus en détails à la figure 2. Il s'agit de l'exemple de cellule thermique cylindrique représentée à la figure 1, qui n'est en aucun cas limitatif du type de cellules composant la batterie modulaire selon l'invention.

La cellule thermique 200 est formée d'une structure externe 210, sensiblement identique à celle des cellules électrochimiques, et d'une structure interne 220. Par sensiblement identique, on entend que la structure externe 210 présente des dimensions, un aspect, une constitution, similaires à ceux des cellules électrochimiques, afin notamment d'assurer un assemblage analogue à celui des cellules électrochimiques pour former la batterie modulaire. Des différences peuvent exister pour répondre par exemple aux besoins de propriétés de conductivité électrique de la cellule thermique, en vue d'assurer ou non une connexion électrique entre les cellules électrochimiques, comme cela est illustré aux figures 3A à 3C. À titre d'exemple, la structure externe de la cellule thermique peut avoir des dimensions et un aspect similaire à la cellule électrochimique, mais être constitué d'un matériau isolant électrique, par exemple du plastique, différent de celui de la structure externe de la cellule électrochimique.

La structure externe 210 constitue une enveloppe étanche enfermant un contenu 220. La structure externe 210 comprend de préférence un matériau identique à celui formant la structure externe des cellules électrochimiques. La structure externe 210 comprend de préférence un matériau métallique, plastique, ou un matériau composite, et est étanche, notamment aux fluides. Dans le cas représenté à la figure 2, la structure externe est un boîtier cylindrique étanche, en métal, identique à celui de cellules Li-ion cylindriques standard. La démarcation 230 représente un joint isolant électriquement une première partie d'une deuxième partie de la cellule 200.

Les parties de la structure externe 210 en contact avec les connectiques (110,113) les reliant aux cellules électrochimiques sont thermiquement conductrices. Il

peut s'agit de toute la structure externe 210. C'est par exemple le cas d'une enveloppe métallique.

La structure interne 220 est formée d'un ou plusieurs matériaux qui sont aptes à collecter la chaleur des cellules électrochimiques. Selon l'invention, il peut s'agit d'un
 5 matériau à changement de phase (MCP), d'un matériau à fort pouvoir calorifique, ou d'un matériau à forte conductivité thermique, ou encore d'un mélange de ces différents types de matériaux, tel que détaillé plus bas. Selon la nature du ou des matériaux formant la structure interne 220, la collecte de la chaleur se traduit soit par une absorption de la chaleur par le matériau, qui accumule les calories et stocke cette chaleur pendant un
 10 certain temps, ce qui est le cas d'un matériau à changement de phase ou à forte chaleur spécifique, soit par une diffusion de la chaleur au sein de la batterie par le biais du matériau si celui-ci est un très bon conducteur thermique.

Cas d'une structure interne 220 comprenant un MCP

15 Le MCP est un composé présentant une transition réversible entre deux états physiques dans une plage de température restreinte, accompagnée d'une enthalpie de changement de phase plutôt élevée. En effet, les quantités d'énergie mises en jeu dans le processus de changement de phase sont bien plus importantes que celles qui interviennent lors de transferts par chaleur sensible. Par opposition au transfert thermique
 20 par chaleur sensible (exprimée en J/kg.K), où un matériau peut céder ou stocker de l'énergie en voyant varier sa propre température, sans pour autant changer d'état, le transfert thermique dans le cas d'un MCP se fait par chaleur latente (exprimée en J/kg), c'est-à-dire que le matériau peut stocker ou céder de l'énergie par simple changement d'état, tout en conservant une température constante, celle du changement d'état.

25 Généralement, il s'agit d'une transition entre les phases solide et liquide autour d'une certaine température, accompagnée d'une enthalpie de cristallisation/fusion plutôt élevée. On fera référence dans la suite de la description aux MCP dont le changement d'état correspond à une transition liquide/solide. Le MCP est caractérisé par une température de fusion T_f et une enthalpie de fusion données. La fusion du MCP est
 30 endothermique tandis que la solidification est exothermique. Ainsi, le passage de l'état solide à l'état liquide permet d'absorber la chaleur produite par les cellules électrochimiques du module et leurs connectiques. Cette chaleur, produite par exemple durant un cycle de charge/décharge en courant par les cellules électrochimiques 100, est conduite par les connectiques 110 qui relient les cellules thermiques 200 et les cellules

électrochimiques 100, et va chauffer par conduction le MCP contenu dans l'enveloppe externe 210 jusqu'à son point de fusion. La fusion accompagnant le passage de l'état cristallin à l'état liquide étant endothermique, elle permet d'absorber et stocker réversiblement des calories. L'échauffement global de la batterie modulaire est donc ainsi

5 réduit, par exemple lors de l'application d'un cycle de charge/décharge dans la batterie.

Inversement, le passage de l'état liquide à l'état solide permet de produire une certaine quantité de chaleur qui est transférée aux cellules électrochimiques du module par conduction via les connectiques qui les relient aux cellules électrochimiques, et qui peut également être dissipée dans l'air environnant les cellules thermiques. Cette chaleur

10 résultant de la solidification du MCP peut par exemple être produite durant une phase de stockage. La solidification accompagnant le passage de l'état liquide à l'état solide étant exothermique, elle permet de maintenir la température de la batterie modulaire au-dessus de la température ambiante tout au long de la solidification. Le refroidissement de la batterie modulaire est donc ainsi limité, par exemple lors du stockage, permettant de

15 réduire les désagréments d'un démarrage à froid.

De préférence, le MCP a une valeur de chaleur latente de fusion comprise entre 50 kJ/kg et 300 kJ/kg, et encore plus préférentiellement comprise entre 200 kJ/kg et 300 kJ/Kg.

Avantageusement, la température de fusion T_f est comprise entre 0°C et une

20 température maximale d'échauffement autorisée donnée pour les cellules électrochimiques, par exemple la température maximale d'usage des cellules spécifiée par le constructeur des cellules. La température de fusion T_f est avantageusement comprise entre environ 0°C et environ 55°C, par exemple pour le cas d'utilisation de batteries Lithium-ion. La température de fusion peut également être comprise entre la

25 température ambiante et la température maximale d'usage des cellules électrochimiques spécifiée par le constructeur des cellules, soit par exemple environ 20°C et environ 55°C pour le cas d'utilisation de batteries Lithium-ion.

Le MCP peut comprendre toute substance organique ou minérale dont le point de fusion est égal à une température de fusion d'intérêt, comprise par exemple entre 0°C

30 et une température d'échauffement maximale donnée de la cellule électrochimique, par exemple précisée par le constructeur.

La structure interne de la cellule thermique peut également être formée par un mélange de MCP, ces derniers pouvant présenter des points de fusion identiques ou différents.

Le MCP peut comprendre au moins l'une des substances suivantes : une paraffine, un alcool, un acide.

Le MCP peut comprendre un mélange de différentes coupes paraffiniques.

Le MCP peut comprendre des additifs permettant d'améliorer la conduction
 5 thermique, tels que des charges céramiques ou métalliques ou des oxydes métalliques, et/ou des additifs permettant d'améliorer la résistance au feu connus sous le nom d'agents retardateurs de flammes.

Le MCP est contenu dans la structure externe 210 étanche. Il peut éventuellement être également pré-conditionné, c'est-à-dire qu'il peut avoir été mis sous
 10 une forme permettant d'éviter tout écoulement dans la cellule thermique, réduisant ainsi le risque de fuite lorsque celui-ci est dans un état fondu, si la structure externe n'était pas parfaitement étanche. Ce conditionnement préalable à la mise en œuvre du MCP dans la batterie peut être réalisé suivant les techniques connues par l'homme de l'art, par exemple par formulation dans un gel, ou par insertion dans un ou plusieurs conteneurs,
 15 ou par infiltration dans une matrice poreuse. Plusieurs de ces techniques peuvent être combinées, par exemple en utilisant un MCP sous forme de gel placé dans un ou plusieurs conteneurs. On parle aussi de MCP encapsulés pour désigner les MCP conditionnés dans des conteneurs.

Le MCP peut ainsi être un gel chimique ou physique, réalisé à base de différents
 20 polymères, thermoplastiques ou thermodurcissables, par exemple à partir de polystyrène-b-poly(éthylène-butylène)-b-polystyrène (SEBS) ou de silicones. Des exemples de tels gels sont par exemple décrits dans les brevets FR2957348, FR2840314 et FR2820752.

Cas d'une structure interne 220 comprenant un matériau à forte chaleur
 25 *spécifique*

La structure interne 220 peut comprendre un matériau ayant une forte chaleur spécifique, de préférence ayant une valeur de chaleur spécifique supérieure à 800 J/kg.K, et plus préférentiellement supérieure à 1500 J/kg.K. Dans ce cas, c'est l'accumulation des calories au sein de la cellule thermique qui prédomine dans le fonctionnement du
 30 dispositif de régulation thermique selon l'invention, et qui permet de ralentir l'échauffement des cellules électrochimiques. La chaleur est conduite par les connectiques 110 qui relient les cellules thermiques 200 et les cellules électrochimiques 100, et chauffe le matériau contenu dans l'enveloppe externe 210. De par sa forte capacité calorifique, ce matériau peut emmagasiner une quantité de chaleur importante

par élévation de sa température. L'échauffement global de la batterie modulaire est donc ainsi réduit, par exemple lors de l'application d'un cycle de charge/décharge dans la batterie. Le matériau peut également restituer cette chaleur en refroidissant progressivement, et permettre ainsi de réguler la température de la batterie lorsque par exemple celle-ci est refroidie par la température extérieure.

Un tel matériau à forte chaleur spécifique peut être solide ou liquide, et peut être de préférence liquide notamment pour des raisons de densité. On peut citer, à titre d'exemple non limitatif, des liquides tels que l'eau, des liquides organiques de type alcools, des huiles. L'eau constitue un choix préféré parmi ces matériaux car sa chaleur spécifique est très élevée. L'utilisation de matériaux liquides à forte chaleur spécifique permet de fournir une batterie modulaire plus légère et une régulation thermique plus performante que dans le cas de l'usage de matériaux solides à forte chaleur spécifique.

Cas d'une structure interne 220 comprenant un matériau à forte conductivité thermique

La structure interne 220 peut comprendre un matériau très bon conducteur thermique, pour dissiper au moins en partie la chaleur dégagée par les cellules électrochimiques à l'intérieur du boîtier de la batterie modulaire. Un tel matériau a une conductivité thermique supérieure à 2 W/(m.K) , de préférence supérieure à 10 W/(m.K) , et plus préférentiellement supérieure à 100 W/(m.K) .

On peut citer à titre d'exemple le métal, tel que l'aluminium ou le cuivre, le graphite, sous différentes formes, et un matériau composite de type polymère comprenant des charges thermiquement conductrices, telles que du carbure de silicium, des céramiques, des métaux, du graphite, par exemple sous formes de poudres.

Lors de l'échauffement des cellules électrochimiques, la chaleur dégagée par les cellules électrochimiques est conduite via les connectiques aux cellules thermiques, dont la structure interne fortement conductrice de la chaleur permet de dissiper la chaleur dans le module, ce qui ralentit l'échauffement des cellules électrochimiques et permet de réguler la température de la batterie

30 .

Cas d'une structure interne 220 comprenant un matériau composite

La structure interne 220 peut également être formée de plusieurs des matériaux précités. On pourra également parler de matériau composite pour désigner un matériau formé de plusieurs des matériaux précités.

Ainsi, structure interne 220 peut être formée d'un matériau composite, comportant un premier matériau thermiquement conducteur, de conductivité thermique supérieure à 2 W/(m.K) , par exemple du graphite ou un métal, et un deuxième matériau choisi parmi un MCP et un matériau ayant une chaleur spécifique supérieure à 800 J/kg.K .

Par exemple la structure interne 220 peut être formée par une matrice poreuse infiltrée de MCP. La matrice poreuse peut être typiquement une structure de graphite expansé infiltrée de MCP, ce qui confère à la fois des propriétés mécaniques pour le confinement du MCP tout préservant une conductivité thermique élevée. Elle peut également être une mousse métallique renfermant un MCP.

Une matrice poreuse comprenant un matériau à forte chaleur spécifique liquide peut également être mis en œuvre. Par exemple une mousse métallique imprégnée d'eau peut former la structure interne contenue dans une enveloppe externe étanche.

Dans la batterie modulaire selon l'invention, la position de la cellule ou des cellules thermiques est déterminée, au moment de la conception de la batterie, de manière à optimiser l'évacuation et/ou l'accumulation de la chaleur. Il en est de même pour leur nombre.

La position et le nombre de cellules thermiques peuvent par exemple être déterminés de manière à obtenir une répartition homogène de la chaleur dans la batterie, mais également prendre en compte la position des principales sources de chaleur, c'est-à-dire les cellules électrochimiques, éventuellement d'autres composants électroniques pouvant être présents dans la batterie et/ou les connectiques.

Par exemple, la présence d'une cellule thermique au centre de la batterie modulaire permet d'absorber et/ou dissiper la chaleur qui peut avoir tendance à s'accumuler plus facilement au cœur du dispositif.

L'intégration de cellules thermiques dans la batterie modulaire jusqu'à une cellule thermique pour chaque cellule électrochimique peut également être envisagé, les principales limites relevant alors plus des spécifications relatives au poids et à l'encombrement de la batterie pour des capacités électriques données.

La présente invention permet de fournir une batterie de conception et de fabrication simple et économique. L'intégration du système de régulation thermique est en effet simple et directe lors du montage de la batterie modulaire.

Les cellules thermiques 200 peuvent être fixées de la même manière que les cellules électrochimiques 100 dans la batterie, par exemple soudées ou vissées à la connectique reliant les cellules les unes aux autres.

5 Le dispositif de régulation thermique selon l'invention fonctionne de manière passive. Lorsque la température du module augmente, par exemple lors d'un cycle de charge/décharge de la batterie, les cellules thermiques 200 qui collectent la chaleur dégagée par les cellules électrochimiques 100, permettent de retarder l'atteinte d'une température critique non souhaitée pour la batterie, pour des raisons de risque
10 d'emballement thermique ou d'altération et de vieillissement des cellules électrochimiques. L'échauffement des cellules électrochimiques étant ainsi ralenti, la température de la batterie est mieux régulée.

En pratique, la batterie modulaire peut alors fonctionner plus longtemps avant d'atteindre une température critique donnée.

15 Par ailleurs, le matériau composant la structure interne des cellules thermiques peut également absorber la chaleur produite lors d'un court-circuit au niveau des connectiques. On limite ainsi le développement de points chauds propices à l'emballement thermique de la batterie. On limite également le développement de gradients thermiques dans les cellules propices au vieillissement de celles-ci.

20 Il peut être prévu un système BMS, en complément du dispositif de régulation thermique selon l'invention, qui peut provoquer l'arrêt de la batterie en cas d'approche ou de dépassement d'une température critique donnée.

Le dispositif de régulation thermique selon l'invention permet ainsi de maintenir la batterie modulaire dans une plage de température idéale de fonctionnement.

25 Il est également possible, dans le cas où les cellules thermiques peuvent absorber et restituer la chaleur provenant de l'échauffement des cellules électrochimiques, comme c'est le cas avec une structure interne comprenant un MCP et/ou un matériau à forte chaleur spécifique, de maintenir avantageusement la batterie pendant plusieurs heures dans des conditions thermiques ambiantes favorables à son
30 utilisation, notamment lors du stockage de la batterie, et par exemple maintenir la batterie dans des conditions thermiques favorables au démarrage d'un véhicule électrique ou hybride, i.e. au-dessus de 0°C. Cela peut donc être avantageux pour éviter les baisses de performance, par exemple associées à un démarrage à froid dans le cas d'une application

aux véhicules, tout comme cela limite le vieillissement de la batterie associé à un usage à froid. La durée de vie de batterie s'en trouve prolongée.

La présente invention permet par exemple, de réduire, voire de supprimer, le recours à un système actif de régulation thermique additionnel, tel qu'un système de ventilation actif. Cela permet de réduire la consommation en énergie et de réaliser des économies sur les coûts d'installation et de maintenance afférents.

Les sources de production de la chaleur qui est collectée par les cellules thermiques sont les cellules électrochimiques elles-mêmes, voir les connectiques qui relient ces cellules, comme cela est expliqué ci-après. Cette chaleur est conduite et dissipée aux extrémités des cellules électrochimiques.

C'est essentiellement par les connectiques que la chaleur est véhiculée jusqu'aux cellules thermiques. La régulation thermique de la batterie selon l'invention est ainsi optimale en ce qu'il est plus efficace de récupérer la chaleur aux extrémités des cellules électrochimiques qu'en tout autre point, et qu'il peut également être possible de récupérer la chaleur développée par les connectiques elles-mêmes.

La température d'une cellule électrochimique peut être calculée à partir d'un bilan d'énergie faisant intervenir :

- le flux de chaleur interne φ_{gen} généré par l'activité de la cellule électrochimique, associé aux pertes réversibles et irréversibles pour chaque réaction électrochimique,
- le flux φ_{tra} transféré vers le milieu ambiant à température T_a .

Le flux thermique net à travers un accumulateur, φ , peut être facilement calculé comme le bilan entre les flux internes et externes, i.e. $\varphi = \varphi_{\text{gen}} - \varphi_{\text{tra}}$. La quantité de chaleur stockée dans la cellule électrochimique, obtenue par intégration du flux de chaleur dans le temps, permet alors de calculer la température de la cellule électrochimique connaissant la relation (1) suivante:

$$M_{\text{cell}} C_p \frac{dT(t)}{dt} = \varphi_{\text{gen}}(t) - \varphi_{\text{tra}}(t) \quad (1)$$

où C_p est la capacité thermique spécifique moyenne de la cellule électrochimique et M_{cell} sa masse. Le flux de chaleur généré par la partie active des cellules électrochimiques, noté φ_{gen} s'écrit selon l'équation (2) suivante :

$$\varphi_{gen} = RI^2 + I \left(\frac{\partial OCV}{\partial T} \right)_{SoC} T \quad (2)$$

Avec :

R, la résistance de la cellule électrochimique [Ω],

OCV, open circuit voltage (la tension à vide de la batterie) [V],

5 I, l'intensité du courant circulant dans la cellule électrochimique [A],

T, la température de la cellule électrochimique [K],

On distingue dans l'équation (2):

une contribution ohmique reliée aux pertes par effet Joule $\varphi_{Joules} = RI^2$,

10

une contribution dite entropique :

$$\varphi_{entropic} = I \left(\frac{\partial OCV}{\partial T} \right)_{SoC} T .$$

15 La valeur de l'OCV et de dU / dT dépend de l'état de charge (SoC) qui est lui-même calculé en fonction de l'intensité.

La valeur de R dépend de l'état de charge et de la température.

20 La dissipation thermique des cellules électrochimiques est anisotrope compte tenu des caractéristiques électriques et thermiques des cellules électrochimiques de batterie. En général, la composition interne des cellules électrochimiques induit des caractéristiques de conduction électrique et thermique de cellule significativement plus importantes dans le sens axial (défini par l'axe de symétrie principal supportant les connexions) que dans le sens radial (plan perpendiculaire au sens axial défini précédemment). On pourra citer à titre d'exemple les mesures réalisées par Drake et al.,
25 2014 sur des cellules cylindriques Li-ion (S.J. Drake et al, Measurement of anisotropic thermophysical properties of cylindrical Li-ion cells, Journal of Power Sources, 252 (2014) 298-304). En conséquence, le flux de chaleur produit par les cellules électrochimiques est sensiblement plus important dans le sens axial des cellules.

Indépendamment de la dissipation thermique associée à la partie active des cellules électrochimiques, les connectiques en métal assurant la liaison électrique entre les cellules électrochimiques sont également le siège d'une dissipation thermique irréversible par effet Joules, selon l'équation (3) :

$$\varphi_{connectique} = RI^2 \quad (3)$$

5 Avec R étant la résistance de la connectique [Ω], et I étant l'intensité du courant circulant dans la connectique [A].

En conséquence, l'échauffement des cellules électrochimiques en usage nominal correspond à la somme des effets donnés dans les équations (1) et (3).

10 Bien que la batterie décrite en relation avec la figure 1 comporte des cellules cylindriques, ayant une borne positive à une extrémité et une borne négative à l'autre extrémité du cylindre, comme cela est classiquement le cas des batteries cylindriques de type Li-ion, la présente invention ne se limite pas à cet exemple de cellule électrochimique. Une variante avec des cellules électrochimiques d'une autre forme, par
15 exemple des cellules électrochimiques prismatiques, ayant une forme parallélépipédique, comportant leurs bornes positive et négative sur une même face, ou encore des cellule électrochimiques d'une autre forme avec également leurs deux bornes sur un même face, peuvent être envisagées selon la présente invention.

20 Diverses configurations de connexion électrique, en série et/ou en parallèle, entre les cellules électrochimiques 100 d'un même plateau sont possibles dans la batterie selon l'invention.

L'arrangement des cellules électrochimiques et des cellules thermiques est réalisé de manière à permettre ces diverses configurations de connexion électrique. Les
25 figures 3A, 3B et 3C illustre ainsi trois principaux types de disposition entre deux cellules électrochimiques 100 et une cellule thermique 200. Dans les trois figures, la cellule thermique est disposée entre les deux cellules électrochimiques 100a et 100b.

Sur la figure 3A, la cellule électrochimique 100a est reliée par sa borne positive à la cellule thermique 200a par une connectique 110, et la cellule électrochimique 100b est
30 reliée par sa borne négative à la cellule thermique 200 par une connectique 113. Les

cellules électrochimiques 100a et 100b sont connectés électriquement en série, la cellule thermique 200 constituant alors un élément conducteur du courant.

Sur la figure 3B, les cellules électrochimiques 100a et 100b sont reliées chacune par leur borne positive à la cellule thermique 200b par une même connectique 114, et par leur borne négative à la cellule thermique 200b par une même connectique 115. Les cellules électrochimiques 100a et 100b sont connectés électriquement en parallèle, la cellule thermique 200 constituant alors un élément isolant électrique entre les bornes positives et négatives des cellules électrochimiques. Pour ce faire, la cellule thermique peut par exemple comprendre une structure externe similaire à celle d'une cellule Li-ion classique dans laquelle les extrémités de la cellule (bornes positives et négatives) sont électriquement isolés par un joint. Une alternative peut-être que la cellule thermique comporte une structure externe en matériau isolant électrique, tel un plastique.

Sur la figure 3C, la cellule électrochimique 100a est reliée par sa borne positive à la cellule thermique 200a par une connectique 110, et la cellule électrochimique 100b est reliée par sa borne négative à la cellule thermique 200 par une connectique 113. Les cellules électrochimiques 100a et 100b ne sont pas connectés électriquement. La cellule thermique 200 est alors un élément isolant électrique te que décrit pour la figure 3B.

L'usage de capteurs pour instrumenter l'intérieur du module, l'ajout d'éléments ou circuits dissipatifs à l'intérieur ou à l'extérieur du module, ou encore l'insertion de composants électroniques à l'intérieur du module de batterie selon l'invention peut être envisagé, sans sortir du cadre de la présente invention.

La batterie modulaire selon l'invention peut être utilisée pour de nombreuses applications.

Avantageusement, la batterie modulaire selon l'invention peut être intégrée dans un véhicule électrique ou hybride, et utilisée pour la traction d'un tel véhicule, apportant plus de sécurité lors du fonctionnement du véhicule grâce à une régulation thermique optimisée.

La batterie modulaire selon l'invention peut également être utilisée dans le cadre d'applications stationnaires, et être par exemple intégrée dans un système de stockage d'énergie stationnaire, en particulier de type photovoltaïque. En effet, dans le cadre d'une application de type photovoltaïque, le dispositif de cellules thermiques intégré dans la batterie peut avantageusement servir de régulateur de température, empêchant la batterie

de dépasser les limites maximales de température durant la journée, et les limites minimales de température durant la nuit.

Exemples

5 Les exemples 1 et 2 suivants permettent d'illustrer la régulation thermique d'un exemple de batterie selon l'invention en s'appuyant sur une simulation numérique, et de comparer la chaleur développée dans une batterie selon l'invention (exemple 2) et dans une batterie sans dispositif de régulation thermique selon l'invention (exemple 1).

10 Conditions d'usage appliquées

Les deux exemples mettent en œuvre une gestion thermique passive en convection naturelle d'air.

Les deux batteries sont testées par simulation et soumises à un cyclage électrique selon les conditions ci-dessous.

15 L'ensemble du module a une température initiale de 20 °C.

Chaque module est sollicité électriquement suivant un cycle de charge et décharge, à savoir une recharge de 5 A pendant 10 minutes suivie d'une décharge de 5 A pendant 10 minutes. Le module subit 6 fois ce type de cycle correspondant à une durée de 2 heures au total.

20 Si un des éléments atteint 55 °C, le test est arrêté automatiquement.

Exemple 1 : batterie modulaire selon l'art antérieur

Cet exemple porte sur une batterie de référence selon l'état de l'art, qui comporte un module comprenant un simple boîtier étanche, et un plateau de 4 cellules Li-ion LFP/C
25 cylindriques de format 26650 et de capacité 3 Ah connectées en série/parallèle par des connectiques métalliques.

La figure 4A est une coupe schématique d'une telle batterie 4000. Sur la figure sont visibles deux des quatre cellules électrochimiques 100 reliées en série par une connectique 113, ainsi que le boîtier 400 et les bornes de la batteries 112 et 111. Le
30 plateau comprend 2 rangées de chacune deux cellules.

La température maximum des cellules électrochimiques spécifiée par le fabricant est de 55 °C.

La distance entre les cellules de la même rangée au sein d'un plateau est fixée à 2 mm. La distance entre les rangées est de 9 mm. L'ensemble est maintenu par des flasques. Dans la partie supérieure, un espace de 1 cm environ est ménagé dans ce cas afin de notamment pouvoir positionner les cartes électroniques (non représenté sur la figure 4A)

La figure 4B est un graphique représentant la température moyenne des cellules électrochimiques de la batterie selon l'art antérieur testé au cours du temps. La température (en °C) figure en ordonnée, et le temps (en secondes), est donné en abscisse.

On constate que la température des cellules moyenne des cellules électrochimiques T_{Ce} augmente jusqu'à 55 °C après 4000 secondes de test. Le test, initialement prévu pour durer 2 heures, est arrêté à 4000 secondes. Celui-ci n'a pu être. Cette température correspond à la température maximum spécifiée pour les cellules Li-ion de ces exemples. Ainsi, les batteries selon l'art antérieur telles que décrites ne peuvent pas assurer les deux heures d'usage prévues en toute sécurité.

Exemple 2 : batterie modulaire selon l'invention

Cet exemple 2 porte sur une batterie selon l'invention, comportant un dispositif de régulation thermique comprenant une cellule thermique. La cellule thermique contient de l'eau.

La batterie comporte un module comprenant un simple boîtier étanche, et un plateau comprenant 4 cellules Li-ion LFP/C cylindriques de format 26650 et de capacité 3 Ah connectées en série/parallèle par des connectiques métalliques, et 2 cellules thermiques non électrochimiques. Le plateau est formé par deux rangées de cellules, chaque rangée comportant 3 cellules alignées : 2 cellules électrochimiques de part et d'autre d'une cellule thermique.

La figure 5A est une coupe schématique d'une telle batterie 5000. Sur la figure sont visibles trois des six cellules du plateau : 2 cellules électrochimiques 100 reliées en série par des connectique 110 et 113 via une cellule thermique centrale 200a. Sont également représentés un boîtier 400 enfermant l'ensemble des cellules, et les bornes de la batteries 112 et 111.

La température maximum des cellules électrochimiques spécifiée par le fabricant est de 55°C.

La distance entre les cellules de la même rangée au sein d'un plateau est fixée à 2 mm. La distance entre les rangées est de 9 mm. L'ensemble est maintenu par des flasques. Dans la partie supérieure, un espace de 1 cm environ est ménagé dans ce cas afin de notamment pouvoir positionner les cartes électroniques (non représenté sur la figure 4A)

La figure 5B est un graphique représentant la température moyenne des cellules électrochimiques T_{Ce} et celle des cellules thermiques T_{Ct} de la batterie selon l'invention testé au cours du temps. La température (en °C) figure en ordonnée, et le temps (en secondes), est donné en abscisse.

On constate que la température moyenne des cellules électrochimiques T_{Ce} augmente jusqu'à 55 °C seulement après 7200 secondes de test. Le cycle de charge et décharge, prévu pour 2 heures, est donc réalisé en toute sécurité. On peut voir que la température moyenne des cellules thermiques T_{Ct} évolue parallèlement à celle des cellules électrochimiques lors du test, et montre qu'une partie de la chaleur générée par les cellules électrochimiques est absorbée par l'eau des cellules thermiques dont la température s'élève jusqu'à près de 50 °C au bout des 7200 secondes.

Ainsi, la batterie selon l'invention permet un échauffement global moindre comparativement à une batterie selon l'art antérieur tel qu'exemplifié, ce qui permet par exemple d'accroître la durée de cycle tout en restant en dessous d'une consigne de température maximale.

REVENDICATIONS

1. Batterie électrique modulaire (1000) comportant :

- un ensemble de cellules électrochimiques de stockage et de restitution d'énergie électrique (100) connectées électriquement entre elles par des moyens de connexion électriques (110, 113) , chaque cellule électrochimique (100) comportant une même structure externe donnée ;
- un dispositif de régulation thermique comprenant au moins une cellule thermique (200) non électrochimique disposée à côté d'au moins une cellule électrochimique (100) et connectée thermiquement à ladite au moins une cellule électrochimique par un desdits moyens de connexion électrique, ladite au moins une cellule thermique (200) comportant une structure externe (210) sensiblement identique à la structure externe des cellules électrochimiques, et une structure interne (220) consistant en un matériau apte à collecter au moins en partie la chaleur dégagée par les cellules électrochimiques ;
- un boîtier contenant au moins ledit ensemble de cellules électrochimiques (100) et ledit dispositif de régulation thermique.

2. Batterie selon la revendication 1, dans laquelle la structure interne (220) de la cellule thermique (200) consiste en un matériau thermiquement conducteur ayant une valeur de conductivité thermique supérieure à 2 W/(m.K), et de préférence supérieure à 10 W/(m.K).

3. Batterie selon la revendication 2, dans laquelle le matériau thermiquement conducteur est du métal, du graphite, ou un matériau composite de type polymère comprenant des charges thermiquement conductrices.

4. Batterie selon la revendication 1, dans laquelle la structure interne (220) de la cellule thermique consiste en un matériau à changement de phase.

5. Batterie selon la revendication 4, dans laquelle ledit matériau à changement de phase a une valeur de chaleur latente de fusion comprise entre 50 kJ/kg et 300 kJ/kg.

6. Batterie selon la revendication 5, dans laquelle ledit matériau à changement de phase a une valeur de chaleur latente de fusion comprise entre 200 kJ/kg et 300 kJ/Kg.

7. Batterie selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans laquelle ledit matériau à changement de phase comprend au moins l'une des substances suivantes : une paraffine, un alcool, un acide.
- 5 8. Batterie selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, dans laquelle ledit matériau à changement de phase a une température de fusion T_f comprise entre 0°C et une température maximale d'échauffement autorisé donnée pour les cellules électrochimiques (100), par exemple une température de fusion T_f comprise entre 0°C et 55°C.
- 10 9. Batterie selon la revendication 1, dans laquelle la structure interne (220) de la cellule thermique consiste en un matériau ayant une valeur de chaleur spécifique supérieure à 800 J/kg.K, de préférence supérieure à 1500 J/kg.K.
- 10 Batterie selon la revendication 9, dans laquelle le matériau est de l'eau.
- 15 11. Batterie selon la revendication 1, dans laquelle la structure interne (220) de la cellule thermique (200) consiste en un matériau composite, ledit matériau composite consistant en un premier matériau thermiquement conducteur de conductivité thermique supérieure à 2 W/(m.K) et un deuxième matériau choisi parmi un matériau à changement de phase et
 - 20 un matériau ayant une chaleur spécifique supérieure à 800 J/kg.K.
 12. Batterie selon la revendication 11, dans laquelle le matériau composite consiste en du graphite ou un métal, ledit métal étant de préférence sous la forme d'une mousse métallique, et un matériau à changement de phase.
 - 25 13. Batterie selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle les cellules électrochimiques (100) sont de type Li-ion.
 14. Véhicule électrique ou hybride comprenant une batterie selon l'une des
 - 30 revendications précédentes.
 15. Système de stockage d'énergie stationnaire, de préférence photovoltaïque, comprenant une batterie selon l'une des revendications 1 à 13.

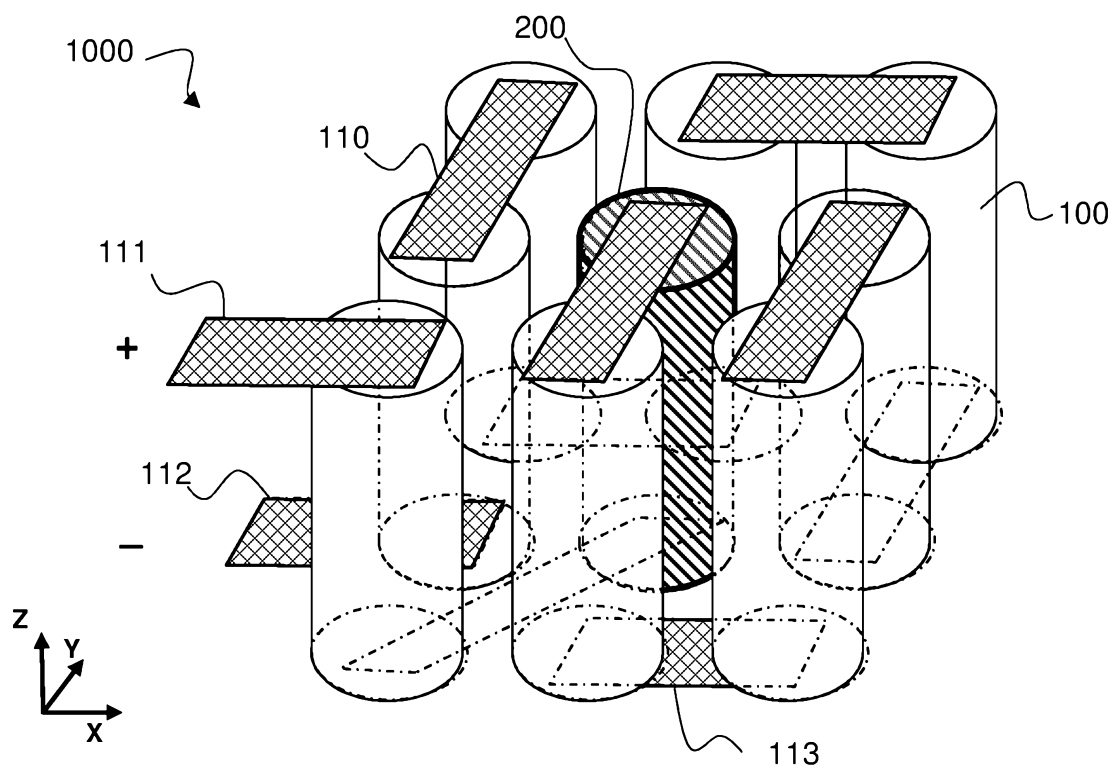


FIG. 1

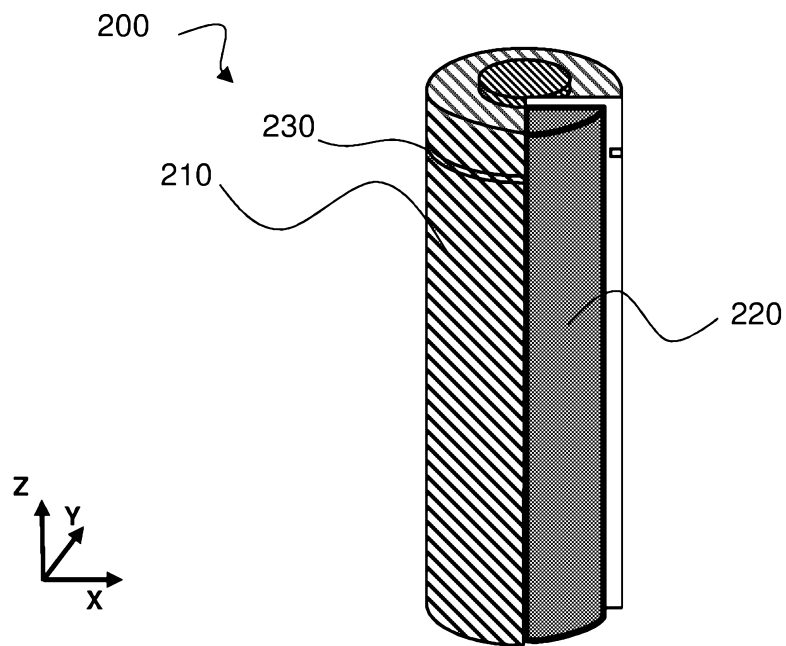


FIG. 2

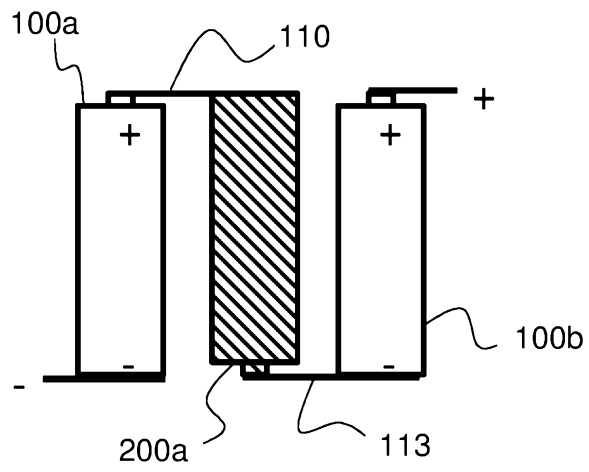


FIG. 3A

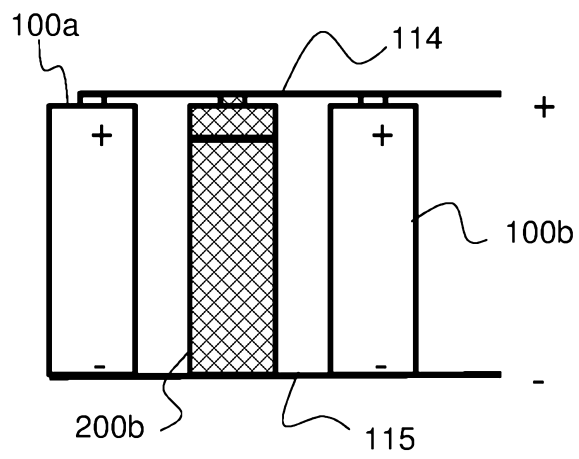


FIG. 3B

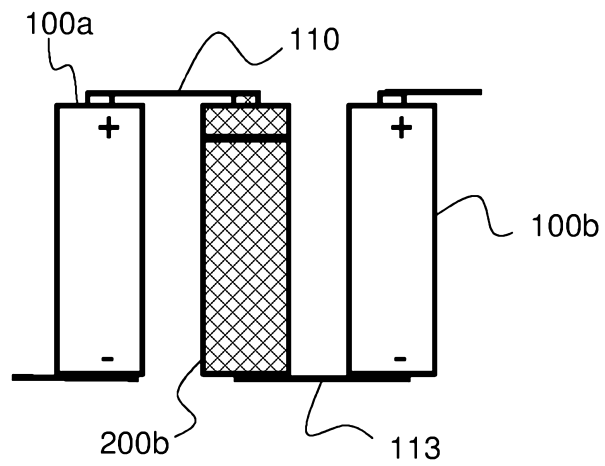


FIG. 3C

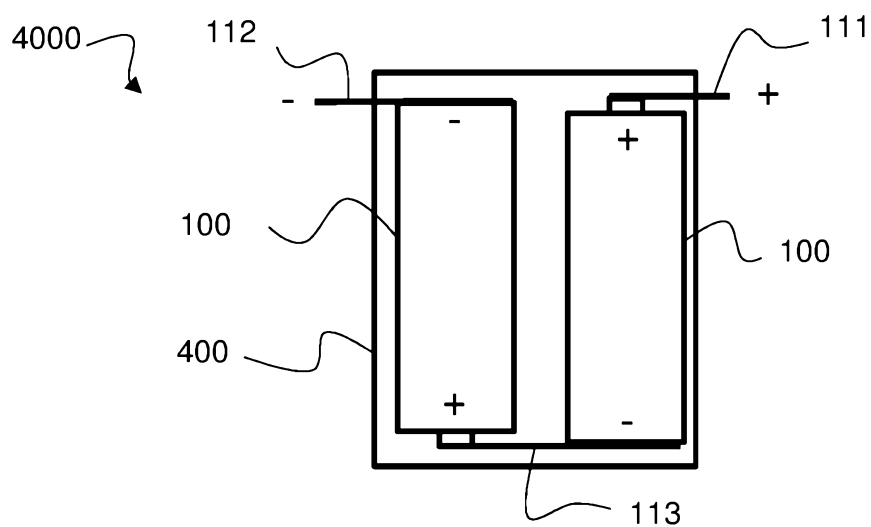


FIG. 4A - ART ANTERIEUR

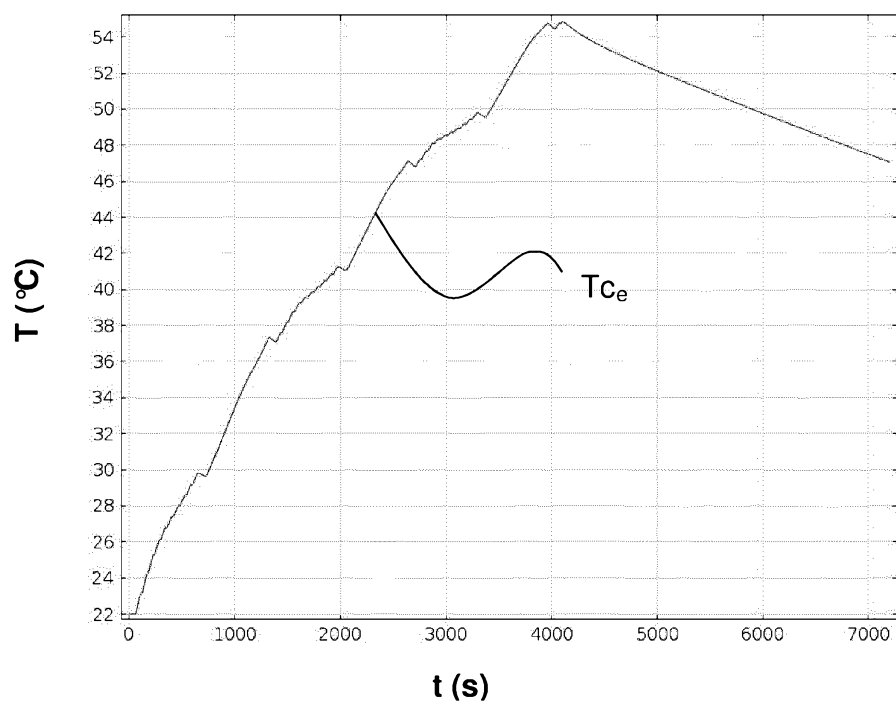


FIG. 4B - ART ANTERIEUR

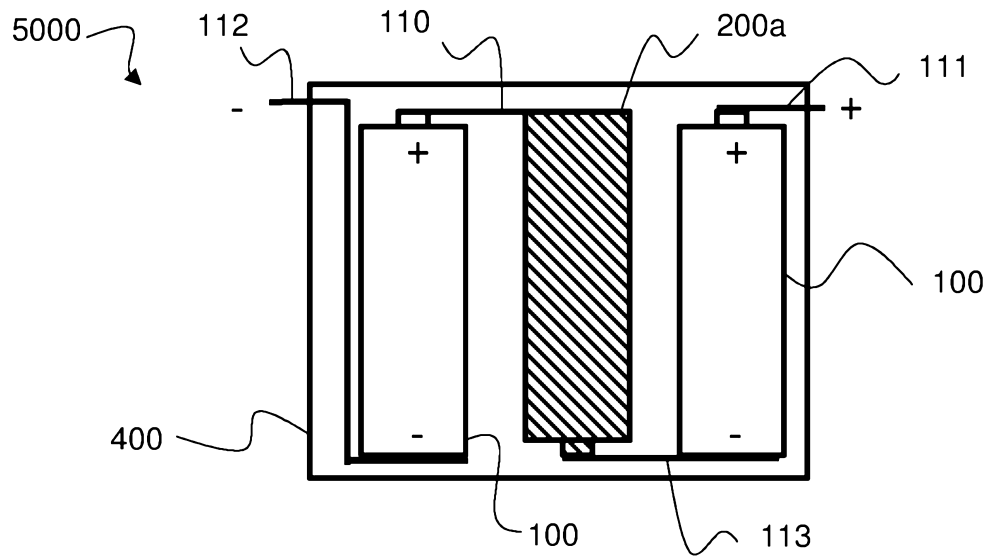


FIG. 5A

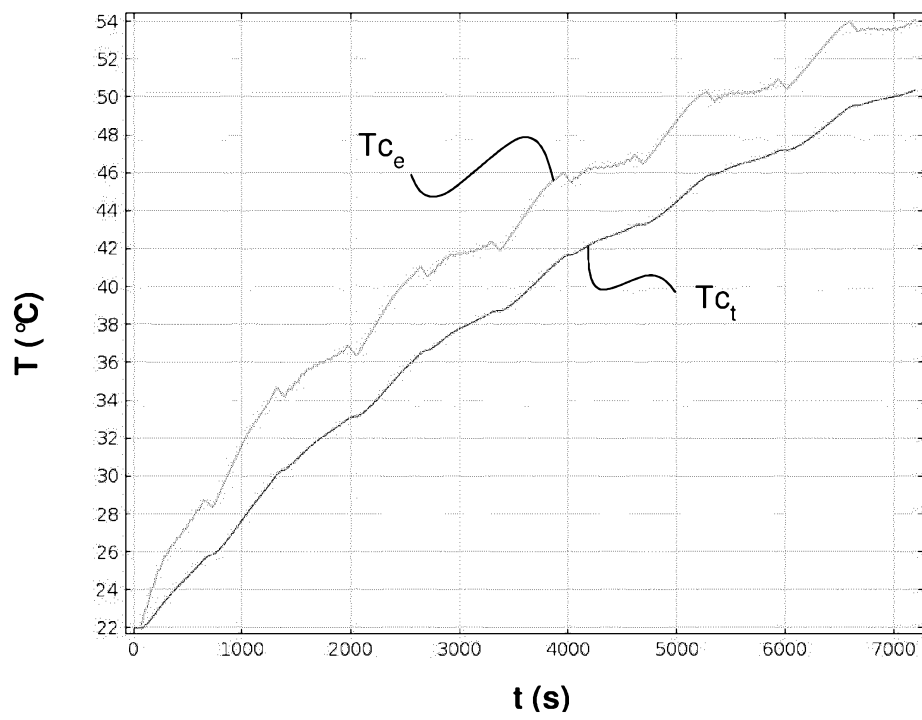


FIG. 5B

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

US 5 718 987 A (MISRA SUDHAN [US] ET AL) 17 février 1998 (1998-02-17)

DE 10 2010 028862 A1 (SB LIMOTIVE CO LTD [KR]; SB LIMOTIVE GERMANY GMBH [DE]) 17 novembre 2011 (2011-11-17)

DE 10 2013 007984 A1 (AUDI AG [DE]) 13 novembre 2014 (2014-11-13)

US 2012/258337 A1 (WANG XIAOHUI JASMINE [CA]) 11 octobre 2012 (2012-10-11)

US 2010/028758 A1 (EAVES STEPHEN S [US] ET AL) 4 février 2010 (2010-02-04)

US 2007/292751 A1 (CHERNG JING-YIH [TW] ET AL) 20 décembre 2007 (2007-12-20)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

NEANT

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT