



(51) Classification internationale des brevets :

H01G 11/04 (2013.01) *H01G 11/74* (2013.01)
H01G 11/08 (2013.01) *H01M 12/00* (2006.01)
H01G 11/14 (2013.01) *H01G 11/82* (2013.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2018/050928

(22) Date de dépôt international :

12 avril 2018 (12.04.2018)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

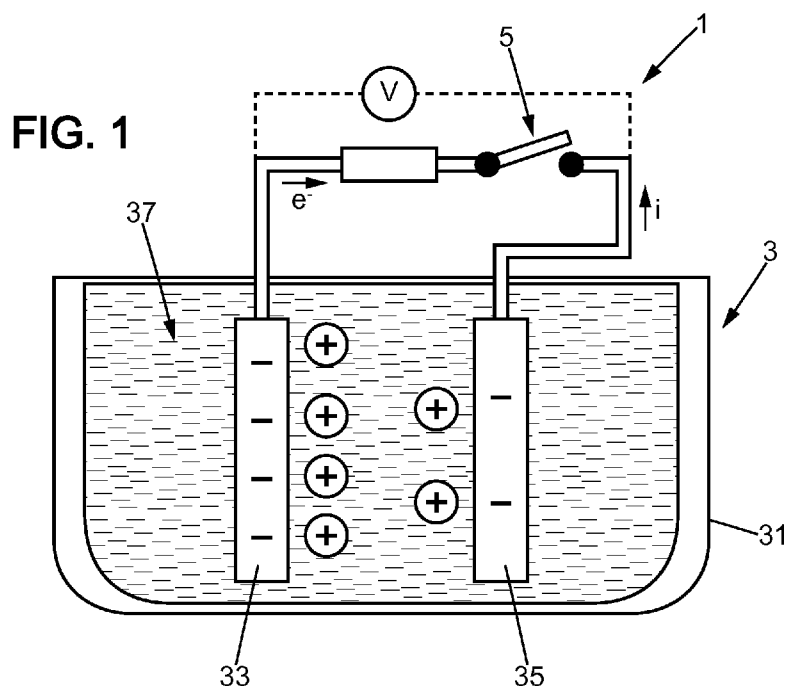
17 53184 12 avril 2017 (12.04.2017) FR

(71) Déposants : PARIS SCIENCES ET LETTRES - QUARTIER LATIN [FR/FR] ; 60 rue Mazarine, 75006 Paris (FR). CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS - [FR/FR] ; 3, rue Michel Ange, 75016 Paris (FR). ECOLE SUPÉRIEURE DE LA VILLE DE PARIS [FR/FR] ; 10, rue Vauquelin, 75005 Paris (FR). UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE (PARIS 6) [FR/FR] ; 4, Place Jussieu, 75005 Paris (FR).

(72) Inventeurs : PRUVOST, Mickael ; 103 rue Hoche, 94200 Ivry sur Seine (FR). COLIN, Annie ; 107 rue Deveau, 33200 Bordeaux (FR). POULIN, Philippe ; 75 avenue du Maréchal Leclerc, 33400 Talence (FR). MONTEUX, Cécile ; C/O ESPCI 10 rue Vauquelin, 75005 Paris (FR).

(54) Title: ENERGY CONVERTER COMPRISING AN ELECTROCHEMICAL CELL

(54) Titre : CONVERTISSEUR D'ENERGIE COMPRENANT UNE CELLULE ÉLECTROCHIMIQUE



(57) **Abstract:** An energy converter (1) comprising at least one electrochemical cell (3) and a member (5) forming a switch. The electrochemical cell comprises a chamber (31), two electrodes (33; 35), each being arranged at least in part in the chamber, and an electrolyte (37) contained in the chamber between the two electrodes. The composition and the structure of each of the two electrodes and of the electrolyte are selected conjointly in such a way that: - each of the electrodes is chemically inert in the electrolyte, and - in the absence of external polarisation, the electrodes have a non-zero difference in potential with respect to each other. The member forming a switch is electrically connected between the two electrodes. The member is arranged to switch alternately between an open state and a closed state by means of an external energy.

(57) **Abrégé :** Un convertisseur d'énergie (1) comprenant au moins une cellule électrochimique (3) et un organe (5) formant interrupteur.

(74) **Mandataire : CABINET PLASSERAUD** ; 66 rue de la
Chaussée d'Antin, 75440 Paris Cedex 09 (FR).

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

La cellule électrochimique comprend une enceinte (31), deux électrodes (33; 35), chacune étant disposée au moins en partie dans l'enceinte, et un électrolyte (37) contenu dans l'enceinte entre les deux électrodes. La composition et la structure de chacune des deux électrodes et de l'électrolyte sont conjointement sélectionnées de sorte que : - chacune des électrodes est chimiquement inerte dans l'électrolyte, et - en l'absence de polarisation externe, les électrodes présentent l'une par rapport à l'autre une différence de potentiel non nulle. L'organe formant interrupteur est relié électriquement entre les deux électrodes. Ledit organe est agencé de manière à passer alternativement entre un état ouvert et un état fermé sous l'effet d'une énergie externe.

CONVERTISSEUR D'ENERGIE COMPRENANT UNE CELLULE ÉLECTROCHIMIQUE

L'invention relève du domaine de la conversion d'énergie. En particulier, l'invention appartient au domaine de la gestion d'énergie de faible puissance.

5

Classiquement, les accumulateurs, ou batteries, convertissent une énergie stockée sous forme chimique en une énergie électrique. La plupart des accumulateurs forment un système dit faradique. Des réactions d'oxydo-réduction s'effectuent et incluent des échanges de charges entre des électrodes et un électrolyte. Certains de ces accumulateurs peuvent être rechargés par une source externe d'énergie électrique, par exemple par un branchement au secteur via un transformateur, ou bien au moyen d'une source d'énergie mécanique convertie par un alternateur, par exemple activé manuellement. La fourniture d'un courant d'origine externe inverse les réactions chimiques d'oxydo-réduction.

10

15 Il existe également des supercondensateurs formés de deux électrodes généralement identiques et séparées par un électrolyte. Les supercondensateurs forment des systèmes dits capacitifs : par application d'une différence de potentiel entre les deux électrodes (lors de la recharge), les anions et les cations de l'électrolyte s'agglutinent respectivement à l'une et l'autre des deux électrodes. Lorsque l'énergie capacitive est libérée (lors de l'utilisation), un courant peut être obtenu en se branchant entre les deux électrodes. Une fois l'énergie capacitive consommée et jusqu'à l'application à nouveau d'une tension de recharge entre les deux électrodes, le supercondensateur devient inactif et inutilisable.

20

Les accumulateurs et les supercondensateurs nécessitent une fourniture d'énergie électrique externe entre chaque utilisation complète de l'énergie préalablement stockée. Les dispositifs ainsi équipés peuvent être considérés autonomes seulement sur des durées limitées.

25

Des dispositifs permettent, dans des conditions de laboratoire, de créer une tension entre deux électrodes mobiles l'une par rapport à l'autre et entre lesquelles une goutte d'eau est piégée. Un tel montage est par exemple décrit dans l'article suivant : Pak and Al, "*Electrical power generation by mechanically modulating electrical double layers*", Nature Communication, 2013. Un tel dispositif est difficile à mettre en œuvre de manière fiable hors des conditions d'un laboratoire.

30

Des dispositifs de récupération d'énergie fonctionnant à base d'une déformation de matériau piézoélectrique sont également développés. L'article suivant donne quelques exemples : "*A piezoelectric vibration based generator for wireless electronics*" ; S. Roundy and P. K. Wright ; INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING ; 1131–1142 (2004). La fiabilité dans le temps de
5 tels dispositifs n'est pas entièrement satisfaisante.

L'invention vient améliorer la situation.

La demanderesse propose un convertisseur d'énergie comprenant au moins une cellule
10 électrochimique et un organe formant interrupteur. La cellule électrochimique comprend une enceinte, au moins deux électrodes, chacune des électrodes étant disposée au moins en partie dans l'enceinte, et un électrolyte contenu dans l'enceinte entre les deux électrodes. La composition et la structure de chacune des deux électrodes et de l'électrolyte est conjointement sélectionnées de sorte que :

- 15 - chacune des électrodes est chimiquement inerte dans l'électrolyte, et
- en l'absence de polarisation externe, les électrodes présentent l'une par rapport à l'autre une différence de potentiel non nulle.

L'organe formant interrupteur étant relié électriquement entre les deux électrodes de la cellule électrochimique, ledit organe étant agencé de manière à passer alternativement entre un état
20 ouvert et un état fermé sous l'effet d'une énergie externe.

Un tel convertisseur permet de convertir une énergie externe en une énergie électrique par l'intermédiaire d'une énergie capacitive et de manière sensiblement continue. Le convertisseur ne nécessite pas une alimentation préalable par une source d'énergie électrique externe.
25 L'énergie électrique peut être consommée immédiatement ou stockée pour une utilisation ultérieure.

En outre, un tel convertisseur peut présenter des formes et dimension variées, ce qui permet de s'adapter à de nombreux usages et conditions, notamment en termes de compacité, fiabilité,
30 type et intensité de l'énergie externe disponible en entrée, et quantité d'énergie à fournir en sortie. Dans des applications relatives aux objets portables, parfois appelés « *wearables* », le convertisseur peut être agencé pour s'intégrer dans un environnement pour lequel la taille et/ou la masse doivent être particulièrement faibles. L'interrupteur soumis à l'énergie externe peut être déporté et/ou détachable de la cellule électrochimique. La cellule peut présenter une forme
35 sensiblement plate. Plusieurs cellules peuvent être combinées, par exemple en un empilement

dans lequel une électrode peut être commune à deux cellules superposées. Aucun mouvement des électrodes l'une par rapport à l'autre n'est nécessaire au fonctionnement, ce qui participe à la fiabilité de la cellule électrochimique. L'absence de réaction chimique volontaire dans l'enceinte permet de conférer à la cellule électrochimique une durée de vie théorique infinie. Ni les électrodes, ni l'électrolyte ne sont consommés. En outre, et par comparaison aux dispositifs de stockage d'énergie connus et de dimensions comparables, l'énergie capacitive stockée dans la cellule électrochimique est faible en quantité et de courte durée : les successions d'ouvertures et de fermetures de l'interrupteur permettent de fournir de manière cumulée une quantité d'énergie d'origine externe substantielle. Ce mode de fonctionnement permet de qualifier l'ensemble du dispositif de convertisseur d'énergie en énergie électrique plutôt que de dispositif de stockage d'énergie. L'énergie entrante prélevée localement active l'organe formant interrupteur. L'organe formant interrupteur est ouvert/fermé de façon répétée. Le convertisseur peut être couplé à un dispositif de stockage d'énergie, par exemple connu en soit, pour consommer l'énergie externe lorsqu'elle est disponible et restituer l'énergie électrique lorsqu'elle est nécessaire.

Selon un second aspect, la demanderesse propose un kit comprenant les éléments suivants :

- une cellule électrochimique comprenant une enceinte, au moins deux électrodes, chacune des électrodes étant disposée au moins en partie dans l'enceinte, et un électrolyte contenu dans l'enceinte entre les deux électrodes, et
- un organe formant interrupteur apte à être relié électriquement entre deux électrodes d'une cellule électrochimique. Ledit organe est agencé de manière à passer alternativement entre un état ouvert et un état fermé sous l'effet d'une énergie externe.

La composition et la structure de chacune des deux électrodes et de l'électrolyte est conjointement sélectionnées de sorte que :

- chacune des électrodes est chimiquement inerte dans l'électrolyte,
- en l'absence de polarisation externe, les électrodes présentent l'une par rapport à l'autre une différence de potentiel non nulle.

L'organe formant interrupteur étant apte à être relié électriquement entre les deux électrodes de la cellule électrochimique.

Le kit peut en outre comprendre un circuit de commande apte à être relié électriquement aux deux électrodes de la cellule électrochimique, le circuit de commande étant agencé de sorte que, une fois relié à la cellule électrochimique, l'énergie capacitive de la cellule électrochimique est

convertie en énergie électrique apte à alimenter un dispositif de stockage d'énergie lorsque l'organe formant interrupteur passe à un état fermé.

Selon un autre aspect, la demanderesse propose un capteur comprenant un convertisseur d'énergie tel que défini dans les présentes. Un tel capteur peut être au moins en partie autonome, c'est-à-dire rendu indépendant d'une alimentation électrique externe. L'énergie nécessaire au fonctionnement du capteur peut être entièrement prélevée de son environnement immédiat sous une forme autre qu'électrique et convertie en énergie électrique par l'intermédiaire du convertisseur. La mise en œuvre d'un convertisseur tel que défini dans les présentes est particulièrement avantageux dans le contexte de capteurs, notamment de petite dimension. De tels capteurs peuvent être disposés aisément dans des emplacements difficiles d'accès. L'installation d'un câblage pour une alimentation électrique du capteur et/ou l'accès en maintenance pour échanger une batterie sont rendus superflus. Dans le cas de capteurs aptes à communiquer des données sans fil (capteurs dits « *communicants* »), les capteurs peuvent être dépourvus de toute connexion physique externe.

Les caractéristiques suivantes peuvent, optionnellement, être mises en œuvre. Elles peuvent être mises en œuvre indépendamment les unes des autres ou en combinaison les unes avec les autres :

- 20 - La composition et la structure de chacune des deux électrodes et la composition de l'électrolyte sont conjointement sélectionnées de sorte que les ions accumulés à proximité de chacune des deux électrodes sont de signes opposés. Ceci facilite la répartition des anions/cations dans l'électrolyte.
- 25 - L'une au moins des électrodes comprend du métal. Les électrodes en métal sont fiables dans le temps, peuvent subir des déformations tout en restant fonctionnelles et sont peu coûteuses.
- L'une au moins des électrodes comprend du métal. La composition du métal et le pH de l'électrolyte sont conjointement sélectionnés de sorte que ladite au moins une électrode présente une couche externe de passivation. La passivation permet de protéger les électrodes des réactions chimiques non souhaitées, notamment par oxydo-réduction.
- 30 - L'une au moins des électrodes comprend du carbone poreux. Le carbone poreux présente une bonne stabilité chimique et peut être combiné avec diverses autres électrodes et divers électrolytes.
- 35

- La première électrode comprend du carbone poreux. La seconde électrode comprend du zinc, du magnésium ou de l'aluminium. L'électrolyte comprend une solution saline sous forme liquide ou de gel. Les différentes combinaisons testées par la demanderesse ont montré de
5 bonnes performances.

- La composition et la structure de chacune des deux électrodes et de l'électrolyte, et l'agencement mutuel des électrodes dans l'enceinte, sont conjointement sélectionnés de sorte que, en l'absence de polarisation externe, la charge capacitive entre les deux électrodes dans un
10 régime stable est comprise entre 0,01 et 10 F.cm⁻². De telles charges peuvent être atteintes avec des structures particulièrement compactes tout en étant suffisantes pour alimenter les objets les moins énergivores.

- Le convertisseur d'énergie comprend en outre :
15 - un circuit de commande relié électriquement aux deux électrodes de la cellule électrochimique et incluant l'organe formant interrupteur, et
 - un dispositif de stockage d'énergie relié électriquement aux deux électrodes par l'intermédiaire du circuit de commande.

Le circuit de commande est agencé de sorte que l'énergie capacitive de la cellule
20 électrochimique est convertie en énergie électrique alimentant le dispositif de stockage d'énergie lorsque l'organe formant interrupteur est à l'état fermé. Un tel convertisseur peut ainsi équiper un appareil en le rendant autonome. Il devient inutile de recharger ou de remplacer la batterie.

25 - L'organe formant interrupteur comprend au moins un transistor. Ceci permet d'améliorer la fiabilité en remplaçant au moins en partie des composants mécaniques.

D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée ci-après, et à l'analyse des dessins annexés, sur lesquels :

30 - la figure 1 montre un schéma d'un convertisseur selon l'invention,
- les figures 2 et 3 montrent chacune un schéma équivalent à un état de fonctionnement d'un convertisseur selon l'invention,
- la figure 4 montre une mesure d'une tension aux bornes d'une résistance de mesure disposée entre les électrodes à la fermeture d'un interrupteur d'un convertisseur selon l'invention,

- la figure 5 montre une mesure d'une tension aux bornes d'une résistance de mesure disposée entre les électrodes d'un convertisseur selon l'invention,
- la figure 6 montre des résultats expérimentaux d'une mesure de tension en fonction du temps,
- la figure 7 est une représentation schématique d'un montage expérimental,
- 5 - la figure 8 montre deux courbes superposées d'une tension mesurée et d'une valeur de résistance d'un interrupteur au cours du temps, et
- les figures 9 et 10 sont deux clichés d'une électrode de zinc expérimentale.

Les dessins et la description ci-après contiennent, pour l'essentiel, des éléments de caractère certain. Ils pourront donc non seulement servir à mieux faire comprendre la présente invention, 10 mais aussi contribuer à sa définition, le cas échéant.

Dans la suite, les termes d' « échanges volontaires » sont employés à propos d'ions. Par échange volontaire, on entend ici se distinguer de dispositifs connus pour lesquels les 15 phénomènes d'oxydo-réduction et d'électrolyse sont nécessaires, et donc volontaires, pour fournir un courant. Dans le présent contexte, de tels échanges sont en théorie inexistantes. En pratique, des défauts ou impuretés peuvent conduire à des échanges involontaires d'ions entre les électrodes et l'électrolyte. De tels échanges sont considérés comme négligeables.

20 La figure 1 montre un convertisseur 1. Le convertisseur 1 comprend au moins une cellule électrochimique 3 et un organe 5 formant interrupteur.

La cellule 3 comprend une enceinte 31, ou enveloppe, une première électrode 33, une deuxième électrode 35 et un électrolyte 37.

25 Chacune des électrodes 33, 35 est disposée au moins en partie dans l'enceinte 31. Dans l'exemple décrit ici, chacune des électrodes 33, 35 est entièrement contenue dans l'enceinte 31. Chacune des électrodes 33, 35 est électriquement reliée à un élément conducteur faisant saillie de l'enceinte 31. Ainsi, les parties faisant saillie de l'enceinte 31 forment des connecteurs, ou 30 bornes, de la cellule 3 par l'intermédiaire desquelles chacune des électrodes 33, 35 peut être électriquement reliée à des éléments externes à la cellule 3. En variante, l'une au moins des électrodes 33, 35 fait saillie de la cellule 3 au travers de l'enceinte 31. Une telle électrode 33, 35 peut être directement reliée à des éléments externes à la cellule 3. L'enceinte 31 présente des propriétés d'étanchéité compatibles avec l'électrolyte 37 et aptes à empêcher sa fuite vers 35 l'extérieur de l'enceinte 3. L'enceinte 31 protège en outre le contenu de la cellule 3 contre

l'environnement extérieur de manière à limiter les risques de contamination qui pourrait conduire à des réactions chimiques non souhaitées, en particulier des phénomènes d'oxydation.

Dans l'exemple de fonctionnement décrit ensuite, et conformément à ce qui est représenté sur les figures, la première électrode 33 forme une anode 33 tandis que la deuxième électrode 35 forme une cathode 35. En fonctionnement, la cellule 3 est dépourvue d'échange volontaire d'ions entre les électrodes 33, 35 et l'électrolyte 37. Il est précisé que l'emploi des termes « anode » et « cathode » est habituellement réservé aux systèmes faradiques, par exemple dans lesquels l'anode est apte à céder des électrons par réaction chimique avec un substrat tandis la cathode capte des électrons par réaction chimique avec un substrat. Dans le présent contexte, en l'absence de réaction chimique volontaire, les termes « anode » et « cathode » sont utilisés par analogie pour faciliter la distinction entre les deux électrodes 33, 35. Conformément à la figure 1, l'anode 33 libère des électrons dans le circuit tandis que la cathode 35 capte les électrons du circuit.

L'électrolyte 37 est contenu dans l'enceinte 31. L'électrolyte 37 est contenu au moins entre les deux électrodes 33, 35 et au contact de chacune des deux électrodes 33, 35. Dans l'exemple décrit ici, les électrodes 33, 35 baignent dans l'électrolyte 37. En variante, les électrodes 33, 35 peuvent former partie au moins de l'enceinte 31. En variante, une enceinte peut contenir une pluralité de couples d'électrodes. Par exemple, les électrodes peuvent former des parois compartimentant l'intérieur de l'enceinte 31. L'enceinte loge alors une alternance d'anode et de cathode, une électrode pouvant être appariée avec deux électrodes distinctes.

La composition et la structure de chacune des deux électrodes 33, 35 et de l'électrolyte 37 sont conjointement sélectionnées de sorte que :

- chacune des électrodes 33, 35 est chimiquement inerte dans l'électrolyte 37,
- en l'absence de polarisation externe, les électrodes 33, 35 présentent chacune une différence de potentiel non nulle avec l'électrolyte 37, de sorte qu'une accumulation d'ions de l'électrolyte 37 est générée à proximité de chacune des deux électrodes 33, 35, et
- en l'absence de polarisation externe, les électrodes 33, 35 présentent une différence de potentiel non nulle entre elles, de sorte que l'accumulation d'ions à proximité de chacune des deux électrodes 33, 35 est dissymétrique l'une par rapport à l'autre.

Les électrodes 33, 35 peuvent présenter chacune un potentiel standard apparent, les deux potentiels standards étant différents l'un de l'autre. Ceci correspond notamment à un exemple à

deux électrodes métalliques différentes. Les termes de « potentiel standard apparent » sont utilisés par analogie avec les systèmes d'oxydo-réduction. Néanmoins, les réactions d'oxydo-réduction sont empêchées dans le convertisseur 1. Les électrodes peuvent présenter, notamment en surface, des sites excédentaires ou déficitaires en charges. Ceci correspond notamment au cas
5 d'une électrode en carbone poreux décrit ci-après.

De telles différences de potentiels sont permises par la sélection de la nature (structure et composition) des électrodes et de l'électrolyte.

- 10 Les différences de potentiel des électrodes 33, 35 et de l'électrolyte 37 et l'accumulation des ions (anions ou cations) aux interfaces électrode-électrolyte qui en résulte (phénomènes d'adsorption) permet de former une double couche électrique à la surface de chaque électrode 33, 35 en contact avec l'électrolyte 37. Les ions forment un écran à la surface de l'électrode. Chacune de ces interfaces stocke alors une énergie capacitive. L'asymétrie de l'accumulation
15 entre l'anode 33 et la cathode 35 entraîne un déséquilibre de charge entre les deux électrodes 33, 35. L'électrolyte 37 permet le transport des ions mais pas des électrons. Dans un état ouvert de l'organe formant interrupteur 5, la circulation des charges (les électrons) de l'une à l'autre des électrodes 33, 35 est donc empêchée. Un déséquilibre électrique est volontairement créé.
- 20 Dans l'exemple décrit ici, une première des électrodes, ici l'anode 33, comprend un matériau poreux. La porosité permet d'atteindre une grande interface d'adsorption avec l'électrolyte 37 pour un faible volume occupé de l'électrode. Lorsque l'une seulement des deux électrodes est poreuse, une différence de superficie d'interface est créée entre deux électrodes aux formes et dimensions similaires par ailleurs. Ceci participe à l'asymétrie des charges entre les deux pôles
25 de la cellule 3. L'électrode présente par exemple une porosité libre supérieure à 60% en volume. La porosité est mesurée, par exemple, par porosimètre au mercure. La porosité permet en outre de réduire la masse de l'électrode. Dans l'exemple décrit ici, du carbone poreux est utilisé. L'électrode est rendue électriquement conductrice par l'ajout de noir de carbone. Une telle électrode est inerte avec certains au moins des électrolytes utilisés dans les exemples décrits ci-
30 après, facile à mettre en œuvre et peu coûteuse. Des méthodes de fabrication de telles électrodes sont connues et par exemple décrites dans l'article suivant : Salitra, G., Soffer, A., Eliad, L., Cohen, Y. & Aurbach, D. Carbon electrodes for double-layer capacitors. I. "*Relations between ion and pore dimensions*". J. Electrochem. Soc. 147, 2486–2493 (2000).

Dans l'exemple décrit ici, la seconde des électrodes, ici la cathode 35, comprend un métal. La cathode 35 comprend du zinc (Zn). La nature du métal et le pH de l'électrolyte 37 sont conjointement choisis ou ajustés de manière à favoriser la création et/ou la préservation d'une couche externe d'oxyde sur l'électrode. La couche d'oxyde protège l'électrode de l'oxydation, notamment par de l'oxygène. La couche d'oxyde rend et/ou maintient l'électrode chimiquement inerte et insensible aux réactions d'oxydo-réduction dans l'électrolyte (passivation). Dans l'exemple d'une électrode en zinc, le pH de l'électrolyte 37 est choisi de préférence compris entre 9 et 11,25, par exemple environ 10, 7, afin de favoriser l'existence d'une couche d'hydroxyde $\text{Zn(OH)}_{2(s)}$ protectrice.

Le Zinc présente une faible masse, une bonne flexibilité, et est peu coûteux par comparaison avec d'autres métaux. En variante, d'autres métaux peuvent être utilisés, par exemple de l'aluminium (Al) ou du gallium (Ga). Dans ces cas, la composition de l'électrolyte 37, et en particulier son pH, sont adaptés afin de rendre l'électrode chimiquement inerte.

La composition de l'électrolyte 37 est choisie de manière à permettre la mobilité des ions tout en étant électriquement isolant. Par isolant électrique, on entend ici que la composition de l'électrolyte, la distance inter-électrodes et les tensions de fonctionnement prévues sont compatibles pour éviter l'apparition d'arc électrique entre les deux électrodes (claquage).

L'électrolyte 37 peut comprendre un liquide ionique tel qu'une solution aqueuse ou un solvant organique, un gaz ionisé ou tout autre fluide contenant des ions mobiles. Dans les exemples décrits ici, les électrolytes 37 comprennent des solutions de sels ioniques. Tels que NaCl, KCl, KNO_3 , MgCl_2 . Le pH de la solution peut être ajusté par l'ajout d'un acide ou d'une base. Dans l'exemple d'une anode 33 en carbone poreux et d'une cathode 35 en zinc, un électrolyte 37 comprenant une solution aqueuse avec un sel tel que du chlorure de sodium NaCl et de l'hydroxyde de sodium NaOH peut par exemple être utilisée.

L'électrolyte 37 prend ici une forme liquide. En variante, l'électrolyte peut prendre la forme d'un solide, d'un gel, d'un gaz ou même d'un plasma. Une forme solide ou de gel permet de réduire les risques de fuite en cas de défaut d'étanchéité de l'enceinte 31.

Le tableau suivant présente quelques exemples de combinaisons possibles.

Exemple	Anode	Cathode	Électrolyte	pH
1	Carbone poreux	Zinc	NaCl	9 - 11.25

2	Carbone poreux	Magnésium	NaCl	> 13
3	Carbone poreux	Aluminium	NaCl	5 – 7
4	Carbone poreux	Zinc	Gel aqueux + NaCl	9 – 11,25

L'organe 5 formant interrupteur est relié électriquement entre les deux électrodes 33, 35 de la cellule 3. Ledit organe 5 présente un état ouvert, c'est-à-dire isolant électriquement les électrodes 33, 35 l'une de l'autre, et un état fermé, c'est-à-dire permettant la circulation des charges (les électrons) d'une électrode à l'autre.

Dans un exemple expérimental, l'organe 5 formant interrupteur est commandé par un actionneur piézoélectrique. Ainsi, une fréquence d'ouverture/fermeture peut être choisie avec précision. Par exemple des fréquences comprises entre 0,1 et 10 hertz peuvent être appliquées. L'organe 5 peut comprendre, par exemple, un interrupteur à lame souple (« *Reed switch* »). Un tel interrupteur peut être activé à distance par l'intermédiaire de champs magnétiques. En variante, l'organe 5 peut comprendre un interrupteur bimétal, pouvant être activé par des variations de température. L'organe 5 peut aussi comprendre un transistor. La fonction d'interrupteur peut, par exemple, être assurée par un transistor plutôt que par un interrupteur mécanique. Le transistor passe alternativement d'un état passant à un état bloquant et *vice versa* sous l'effet d'une stimulation externe. L'organe 5 est adapté en fonction du type d'énergie fournie en entrée du convertisseur 1 et des fréquences de fonctionnement prévues.

À l'état ouvert de l'organe 5, le déséquilibre de charges entre les deux électrodes 33, 35 décrit ci-avant est maintenu. De l'énergie capacitive est stockée à l'interface de l'anode 33 avec l'électrolyte 37 et à l'interface de la cathode 35 avec l'électrolyte 37. Le courant circulant dans le circuit est nul. Cet état est équivalent au schéma électrique représenté en figure 2 et à une capacité chargée. Une différence de potentiel peut être mesurée entre les deux électrodes 33, 35, par exemple au moyen d'un voltmètre V. Cette différence de potentiel résulte de la différence de potentiel entre les deux électrodes. La valeur de la différence de potentiel peut être choisie en jouant sur la combinaison de la nature (par exemple la composition) des deux électrodes 33, 35, leur structure (par exemple poreuse ou non), leurs dimensions, leurs positions et orientations mutuelles.

À la fermeture de l'organe 5 formant interrupteur, les électrodes sont mises en court-circuit. Les doubles couches ioniques aux deux interfaces électrodes-électrolyte se restructurent. Une telle réorganisation ionique est concomitante de la circulation des charges (les électrons) dans le

circuit. Par l'effet du rééquilibrage électrique, des électrons se déplacent de l'anode 33 vers la cathode 35. Le courant est non nul. Cet état est équivalent au schéma électrique représenté en figure 3 et à une capacité qui se décharge dans un circuit. La circulation du courant peut être mesurée au moyen d'un voltmètre V et par l'interposition d'une résistance R entre les deux électrodes 33, 35 (loi d'Ohm).

Le graphique de la figure 4 représente la tension (en Volts) aux bornes d'une résistance de 100 Ohms branchées entre les deux électrodes 33, 35 en fonction du temps (en secondes). Le passage de l'état ouvert à l'état fermé de l'organe 5 formant interrupteur est provoqué une seule fois à l'instant $t = 15$ secondes. À $T = 6\,000$ secondes, la tension est sensiblement stable à environ 20 mV.

Le graphique de la figure 5 représente la tension (en Volts) aux bornes d'une résistance de 100 Ohms branchées entre les deux électrodes 33, 35 en fonction du temps (en secondes). L'organe 5 formant interrupteur passe de l'état ouvert à l'état fermé à une fréquence de 6 hertz, et de l'état fermé à l'état ouvert à une fréquence de 6 hertz (soit un changement d'état dans un sens ou dans l'autre à une fréquence moyenne de 12 hertz). Le cadre référencé 71 correspond à un état ouvert, c'est-à-dire qu'aucun courant ne circule dans le circuit et la différence de potentiel entre les deux électrodes 33, 35 augmente progressivement sous l'effet de la réorganisation des interfaces ioniques, tandis que le cadre référencé 73 correspond à un état fermé, c'est-à-dire qu'un courant circule dans le circuit externe à la cellule 3 et la différence de potentiel entre les deux électrodes 33, 35 diminue progressivement sous l'effet de la réorganisation des interfaces ioniques.

Le passage de l'état ouvert à l'état fermé de l'organe formant interrupteur 5 génère la création d'un courant. Ainsi, l'énergie externe fournie au convertisseur 1 via l'organe formant interrupteur 5 est convertie en une énergie électrique. L'énergie électrique fournie aux bornes du convertisseur 1, soit aux deux électrodes 33, 35, peut être consommée immédiatement par des éléments électriques adaptés. Cette énergie peut aussi être emmagasinée par un dispositif de stockage tel qu'une batterie ou un supercondensateur. Dans le cas d'un couplage de la cellule avec un dispositif de stockage, le dispositif de stockage est relié aux bornes de la cellule 3 par l'intermédiaire d'un circuit de commande. Le circuit de commande est agencé pour :

- permettre la transmission du courant au dispositif de stockage lors des périodes où l'organe 5 formant interrupteur est fermé, et

- interdire le déchargement du dispositif de stockage vers la cellule 3 lorsque l'organe 5 formant interrupteur est ouvert. Le circuit de commande comprend par exemple un montage à diodes. Le circuit peut en outre comprendre un circuit d'optimisation de la tension.

- 5 Un tel convertisseur permet de rendre autonome certains dispositifs consommateurs d'énergie électrique en captant une énergie disponible dans l'environnement immédiat. Une telle énergie externe captée peut être disponible sous la forme de vibrations, de chaleur, de variations de température, de mouvements, de champs magnétiques, des pressions, d'écoulements ou encore de lumière. Le convertisseur fournit en sortie une énergie capacitive plutôt que faradique. Par
- 10 cet aspect, le convertisseur se différencie des batteries usuelles et peut rappeler les supercondensateurs. Le convertisseur capte l'énergie externe et la transforme en énergie électrique de manière sensiblement continue. Contrairement à un supercondensateur, il n'a pas besoin d'être mis préalablement sous tension pour fonctionner (ni initialement, ni pour être rechargé). Ceci n'aurait d'ailleurs pas de sens car, dans certains modes de réalisation, le
- 15 convertisseur ne stocke pas d'énergie au sens usuel du terme (cellule électrochimique et organe interrupteur associé, dépourvue de dispositif de stockage) : l'énergie capacitive est accumulée dans les électrodes seulement de manière transitoire, durant une période d'ouverture de l'interrupteur, c'est-à-dire une durée inversement proportionnelle à la fréquence de changement d'état de l'interrupteur. Le fonctionnement et la structure de tels convertisseurs les rendent plus
- 20 fiables à l'usage que des dispositifs du domaine piézo-électrique.

La puissance fournie par un tel convertisseur peut être estimée en fonction de l'intensité fournie. La puissance correspond à l'aire sous la courbe de tension lors des phases durant lesquelles l'organe 5 formant interrupteur est dans un état fermé (cadre 73 de la figure 5). La puissance en

25 sortie dépend notamment des dimensions de la cellule et en particulier des surfaces utiles des électrodes et de l'énergie qu'il est possible de capter dans l'environnement. La demanderesse a calculé la puissance fournie par des prototypes et estime que la puissance en fonction de la surface utile est comprise entre 0,01 et 10 mW.cm⁻², de préférence entre 0,1 et 1 mW.cm⁻², par exemple environ 0,3 mW.cm⁻². L'homme du métier comprend notamment que de telles gammes

30 de puissance sont adaptées à l'alimentation de dispositifs électroniques peu énergivores, notamment dans le domaine des objets connectés. Dans de tels cas, et en particulier lorsque de tels dispositifs sont portés par un utilisateur, la chaleur du corps, les vibrations et/ou les mouvements peuvent faire office d'énergie externe pour le convertisseur. L'organe formant interrupteur est adapté en fonction de l'énergie à capter.

La nature des électrodes et de l'électrolyte peut être choisie en fonction du type et des propriétés de l'énergie d'origine externe qui peut être captée dans l'environnement du convertisseur. Par exemple, la densité de la charge capacitive maximum de la cellule 3 peut être volontairement bridée de sorte que la quantité d'énergie nécessaire à l'ouverture de l'organe 5 formant interrupteur soit inférieure à la quantité d'énergie reçue par l'organe 5 formant interrupteur.

Un tel convertisseur peut être fourni en pièces détachées, par exemple sous forme de kit. De préférence, un tel kit comprend au moins la cellule électrochimique 3 et l'organe formant interrupteur 5 aptes à être connectés l'un avec l'autre. Le kit peut en outre comprendre, par exemple, un dispositif de stockage d'énergie et un circuit de commande compatible. Chacun des éléments du kit est apte à être connecté de manière opérationnelle avec les autres éléments.

Un tel convertisseur trouve des applications particulièrement avantageuses dans les domaines de l'électronique portable, des objets connectés (ou IoT pour « *Internet of Things* »), des capteurs et notamment des réseaux de capteurs autonomes. Un tel convertisseur répond particulièrement bien aux contraintes de miniaturisation, de mobilité et de faibles consommations d'énergie. Le convertisseur peut être combiné avec des moyens de stockage pour une utilisation de l'énergie non synchronisée avec la disponibilité de la source d'énergie locale prélevée dans l'environnement. Dans d'autres cas, les moyens de stockage sont absents : l'énergie prélevée dans l'environnement et convertie est immédiatement consommée. Par exemple dans le cas de capteurs, l'énergie environnementale et le phénomène physique à détecter peuvent avoir une source commune. Un capteur de vibration peut à la fois détecter/mesurer des vibrations tout en se servant de l'énergie mécanique desdites vibrations pour alimenter le capteur via le convertisseur. Des capteurs de présence, de variations de températures, d'humidité ou encore de pression (interfaces tactiles) peuvent par exemple être équipés d'un convertisseur tel que défini dans les présentes.

La présente description s'appuie sur des essais expérimentaux mis en œuvre par les demanderesses et illustrés par les figures 6 à 10. Au cours des essais, les deux électrodes (l'une de platine, l'autre de carbone) sont immergées dans une solution aqueuse ionique de NaCl 6,1 M, dont le pH est ajusté à 10 avec NaOH. Un interrupteur est associé à ces deux électrodes (électriquement interposé entre les deux électrodes). L'interrupteur permet la connexion ou déconnexion des électrodes. Une résistance de charge, référencée R_{load} en figure 7, de 100 Ω est intégrée dans le circuit pour mesurer le courant en utilisant la loi d'Ohm. La figure 6 affiche un extrait du signal mesuré dans la résistance de charge R_{load} en ouvrant et fermant l'interrupteur à

une fréquence de 1 Hertz. Le signal a été enregistré pendant dix jours sans modification du montage ni variation notable du signal. La puissance enregistrée pendant ces 10 jours est constante et égale à $1\mu\text{W}$. La résistance utilisée est de $100\ \Omega$. L'intensité du courant moyen est de $0,1\ \text{mA}$.

5

Dans l'hypothèse (fausse) où des phénomènes usuels d'oxydo-réduction étaient en jeu, le résultat des mesures correspondrait à une consommation de 10^{-3} moles d'électrons ou de composant redox. Or, aucun des composants présents dans le système (platine, eau, sel, oxygène, carbone) ne peut jouer le rôle d'agent réducteur dans la plage du potentiel mesuré.

10

Après avoir subi le traitement ci-avant, une analyse minutieuse par microscope électronique en transmission (MET) de l'électrode de platine a été menée. Aucune dégradation de l'électrode de platine n'a été détectée. Il peut en être déduit qu'aucune consommation de l'électrode de platine n'est détectable. Le potentiel de l'électrode de platine est égal à $0,3\ \text{V} / \text{ESH}$ (ESH pour « Électrode Standard d'Hydrogène »). Le potentiel de l'électrode de carbone est égal à $0,46\ \text{V} / \text{ESH}$. Le pH est égal à 10.

15

Dans l'hypothèse (fausse) où les phénomènes en jeu seraient faradiques, ils ne pourraient donc résulter que d'impuretés (matières autre que le platine, l'eau, le sel, l'oxygène, et le carbone).

20

Or, le volume de l'échantillon est de $100\ \text{ml}$, ce qui impliquerait que l'espèce inconnue (impureté) présente une concentration au moins égale à 10^{-2} moles / L. Les échantillons ont été préparés avec les précautions d'usage et les surfaces des électrodes ont été nettoyées. Il est donc hautement improbable qu'une impureté soit présente en si grande concentration. En outre, une telle impureté aurait manifestement été détectée. Par conséquent, l'hypothèse de phénomènes

25

faradiques n'est pas vraisemblable.

La puissance récoltée dans les conditions précitées des expérimentations est faible et égale à environ $1\mu\text{W}$ par cm^2 . Pour augmenter la valeur de la puissance, des expérimentations supplémentaires ont été menées dans lesquelles l'électrode de platine est remplacée par une

électrode en zinc (dont les caractéristiques sont par ailleurs analogues à celle de platine). Les deux électrodes (électrodes de zinc et de carbone) sont immergées dans une solution ionique aqueuse ($\text{NaCl}\ 6,1\ \text{M}$, $\text{pH} = 10$ ajusté avec du NaOH). Un interrupteur est associé à ces deux électrodes permettant leur connexion ou déconnexion. Une résistance de charge R_{load} de $10\ \Omega$ est intégrée dans le circuit pour mesurer le courant en utilisant la loi d'Ohm. La figure 8 affiche

35

le signal mesuré dans la résistance de charge R_{load} en ouvrant et fermant l'interrupteur à une

fréquence de 1 Hertz. La puissance enregistrée est sensiblement égale à 1 mW, ce qui correspond à une densité de puissance de 0,4 mW / cm² ou 10 mW / cm³. Une telle valeur est supérieure de trois ordres de grandeur à celle enregistrée par les matériaux dits « électrostrictifs » et supérieure d'un ordre de grandeur aux meilleurs systèmes piézoélectriques connus des inventeurs. Les matériaux « électrostrictifs » sont des matériaux présentant des propriétés particulières d'électrostriction, c'est-à-dire présentant des modifications de forme importantes sous l'effet d'un champ électrique.

Comme pour les systèmes précités (à électrode de platine), il a été vérifié que l'intensité mesurée ne provenait pas de phénomènes faradiques. Ces derniers peuvent théoriquement se produire au niveau d'électrodes de zinc, le zinc pouvant être oxydé en Zn²⁺. Cependant, à pH égal à 10, le zinc est protégé des phénomènes d'oxydo-réduction par une couche d'oxyde peu perméable aux échanges chimiques. De tels phénomènes peuvent être lents. Pour vérifier l'absence de phénomènes faradiques, même lents, des expériences sur 30 heures ont été menées durant lesquelles la puissance est enregistrée. Pour ce faire une feuille de zinc de 0,7 grammes a été utilisée. Il a été mesuré et enregistré, dans une résistance de 100 Ω, une puissance constante de 1mW ce qui correspond à une charge de 300C sur 30h. Dans l'hypothèse (fausse) où des phénomènes d'oxydo-réduction au niveau du zinc seraient responsables de cette charge, cela impliquerait une consommation de zinc égale à 0.1g. Or, après 30h, la masse de la feuille de zinc est inchangée (avec une précision de mesure strictement inférieure au dixième de gramme). Après séchage de la feuille de zinc, la masse de 0,7 gramme est restée inchangée.

L'électrode de zinc a ensuite été découpée. Une analyse minutieuse par microscope électronique en transmission (MET) de l'électrode de zinc a, à son tour, été menée. Une couche protectrice de zinc en surface est clairement visible. Aucune trace d'oxydation n'a été détectée (zones qui seraient apparues en noir) dans le corps de l'électrode. Aucune dégradation n'a été détectée. Les figures 9 et 10 sont des clichés réalisés à cette occasion. Le zinc n'est donc pas, non plus, attaqué par des phénomènes faradiques.

D'après les inventeurs, la seule interprétation raisonnable est que l'énergie constatée ne vient pas des processus faradiques mais des processus capacitifs. Lorsque les deux électrodes ne sont pas connectées, elles présentent un potentiel mixte, soit deux potentiels différents l'un de l'autre. Ces potentiels dépendent de la nature du solvant et des électrodes. Lorsque elles sont électriquement connectées l'une à l'autre (via l'interrupteur en position fermée), certains électrons circulent du faible potentiel électrique au plus élevé, c'est-à-dire depuis le platine vers

le carbone ou depuis le zinc vers le carbone pour les deux exemples précités. Cela induit une désorption des contre-ions à la surface des électrodes. Lorsque les deux électrodes sont à nouveau déconnectées l'une de l'autre (par l'ouverture de l'interrupteur), les contre-ions retrouvent leur position précédente. L'ouverture de l'interrupteur consomme de l'énergie
5 (mécanique). La relaxation de la tension est liée à la reconstruction de la double couche d'électrons et pourrait être lente. L'énergie récupérée provient vraisemblablement du travail fourni en ouvrant l'interrupteur et de la chaleur liée au processus d'adsorption-désorption des contre-ions sur les électrodes. L'énergie mesurée n'est donc pas issues de phénomènes faradiques.

10

L'invention ne se limite pas aux exemples de convertisseurs, de kits et de capteurs décrits ci-avant, seulement à titre d'exemple, mais elle englobe toutes les variantes que pourra envisager l'homme de l'art dans le cadre de la protection recherchée.

Revendications

1. Convertisseur d'énergie (1) comprenant au moins une cellule électrochimique (3) et un organe (5) formant interrupteur, la cellule électrochimique (3) comprenant une enceinte (31), au moins deux électrodes (33 ; 35), chacune des électrodes (33 ; 35) étant disposée au moins en partie dans l'enceinte (31), et un électrolyte (37) contenu dans l'enceinte (31) entre les deux électrodes (33 ; 35), la composition et la structure de chacune des deux électrodes (33 ; 35) et de l'électrolyte (37) étant conjointement sélectionnées de sorte que :
- chacune des électrodes (33 ; 35) est chimiquement inerte dans l'électrolyte (37), et
 - en l'absence de polarisation externe, les électrodes (33 ; 35) présentent l'une par rapport à l'autre une différence de potentiel non nulle,
- l'organe (5) formant interrupteur étant relié électriquement entre les deux électrodes (33 ; 35) de la cellule électrochimique (3), ledit organe (5) étant agencé de manière à passer alternativement entre un état ouvert et un état fermé sous l'effet d'une énergie externe.
2. Convertisseur d'énergie (1) selon la revendication 1, dans lequel la composition et la structure de chacune des deux électrodes (33 ; 35) et la composition de l'électrolyte (37) sont en outre conjointement sélectionnées de sorte que les ions accumulés à proximité de chacune des deux électrodes (33 ; 35) sont de signes opposés.
3. Convertisseur d'énergie (1) selon l'une des revendications précédentes dans lequel l'une (35) au moins des électrodes (33 ; 35) comprend du métal.
4. Convertisseur d'énergie (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'une (35) au moins des électrodes (33 ; 35) comprend du métal, la composition du métal et le pH de l'électrolyte (37) étant conjointement sélectionnés de sorte que ladite au moins une électrode (35) présente une couche externe de passivation.
5. Convertisseur d'énergie (1) selon l'une des revendications précédentes dans lequel l'une (33) au moins des électrodes (33 ; 35) comprend du carbone poreux.
6. Convertisseur d'énergie (1) selon l'une des revendications précédentes dans lequel
- la première électrode (33) comprend du carbone (C) poreux, la seconde électrode (35) comprend du zinc (Zn), du magnésium (Mg) ou de l'aluminium (Al), et l'électrolyte (37) comprend une solution saline sous forme liquide ou de gel.

7. Convertisseur d'énergie (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la composition et la structure de chacune des deux électrodes (33 ; 35) et de l'électrolyte (37), et l'agencement mutuel des électrodes (33 ; 35) dans l'enceinte (31), sont conjointement
5 sélectionnés de sorte que, en l'absence de polarisation externe, la charge capacitive entre les deux électrodes (33 ; 35) dans un régime stable est comprise entre 0,01 et 10 F.cm⁻².

8. Convertisseur d'énergie (1) selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre :
10 - un circuit de commande relié électriquement aux deux électrodes (33 ; 35) de la cellule électrochimique (3) et incluant l'organe (5) formant interrupteur, et
- un dispositif de stockage d'énergie relié électriquement aux deux électrodes (33 ; 35) par l'intermédiaire du circuit de commande,
le circuit de commande étant agencé de sorte que l'énergie capacitive de la cellule
15 électrochimique (3) est convertie en énergie électrique alimentant le dispositif de stockage d'énergie lorsque l'organe (5) formant interrupteur est à l'état fermé.

9. Convertisseur d'énergie (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'organe (5) formant interrupteur comprend au moins un transistor.

20

10. Kit comprenant les éléments suivants :
- une cellule électrochimique (3) comprenant une enceinte (31), au moins deux électrodes (33 ; 35), chacune des électrodes (33 ; 35) étant disposée au moins en partie dans l'enceinte (31), et un électrolyte (37) contenu dans l'enceinte (31) entre les deux électrodes (33 ; 35), et
25 - un organe (5) formant interrupteur apte à être relié électriquement entre les deux électrodes (33 ; 35) de la cellule électrochimique (3), ledit organe (5) étant agencé de manière à passer alternativement entre un état ouvert et un état fermé sous l'effet d'une énergie externe,
la composition et la structure de chacune des deux électrodes (33 ; 35) et de l'électrolyte (37) étant conjointement sélectionnées de sorte que :
30 - chacune des électrodes (33 ; 35) est chimiquement inerte dans l'électrolyte (37),
- en l'absence de polarisation externe, les électrodes (33 ; 35) présentent l'une par rapport à l'autre une différence de potentiel non nulle.

11. Kit selon la revendication 10 comprenant en outre :

- un circuit de commande incluant l'organe (5) formant interrupteur et apte à être relié électriquement aux deux électrodes (33 ; 35) de la cellule électrochimique (3), le circuit de commande étant agencé de sorte que, une fois relié à la cellule électrochimique (3), l'énergie capacitive de la cellule électrochimique (3) est convertie en énergie électrique apte à alimenter
5 un dispositif de stockage d'énergie lorsque l'organe (5) formant interrupteur est à un état fermé.

12. Capteur comprenant un convertisseur d'énergie selon l'une des revendications 1 à 9.

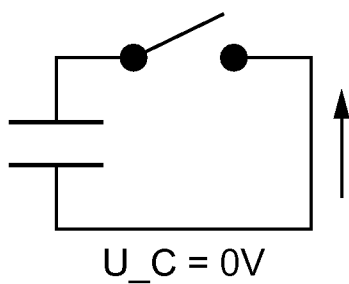
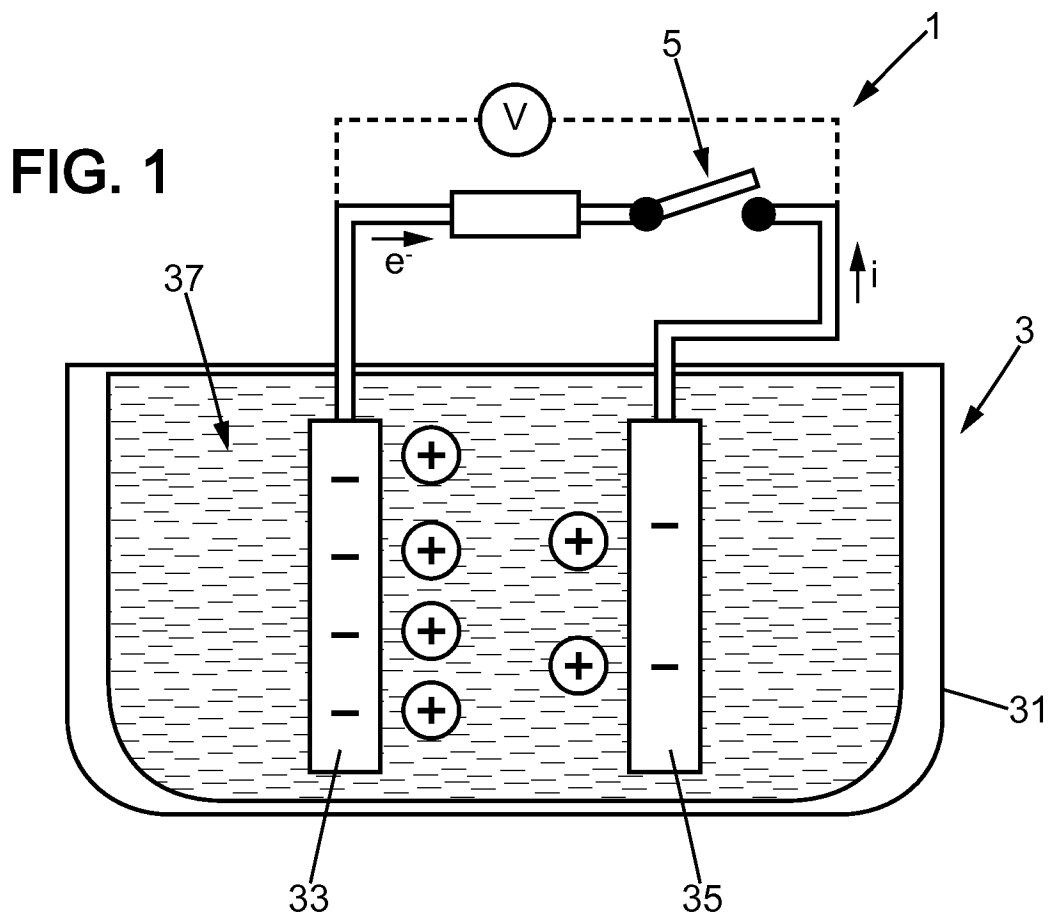


FIG. 2

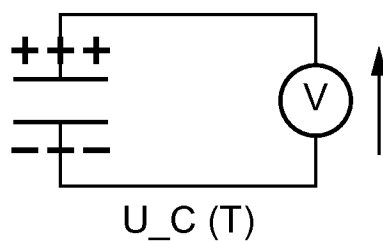


FIG. 3

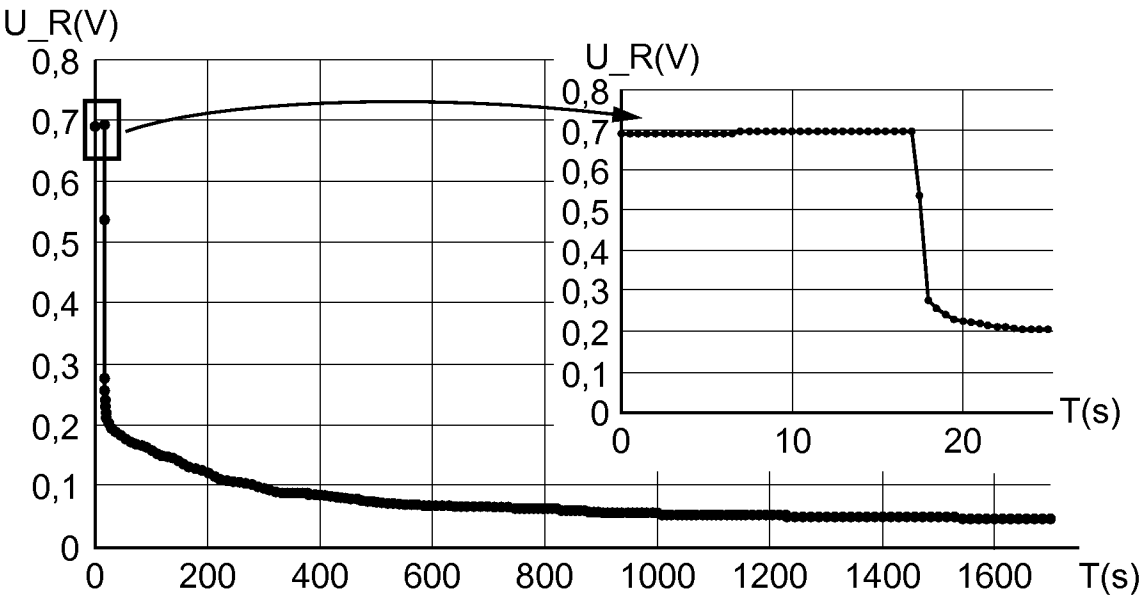


FIG. 4

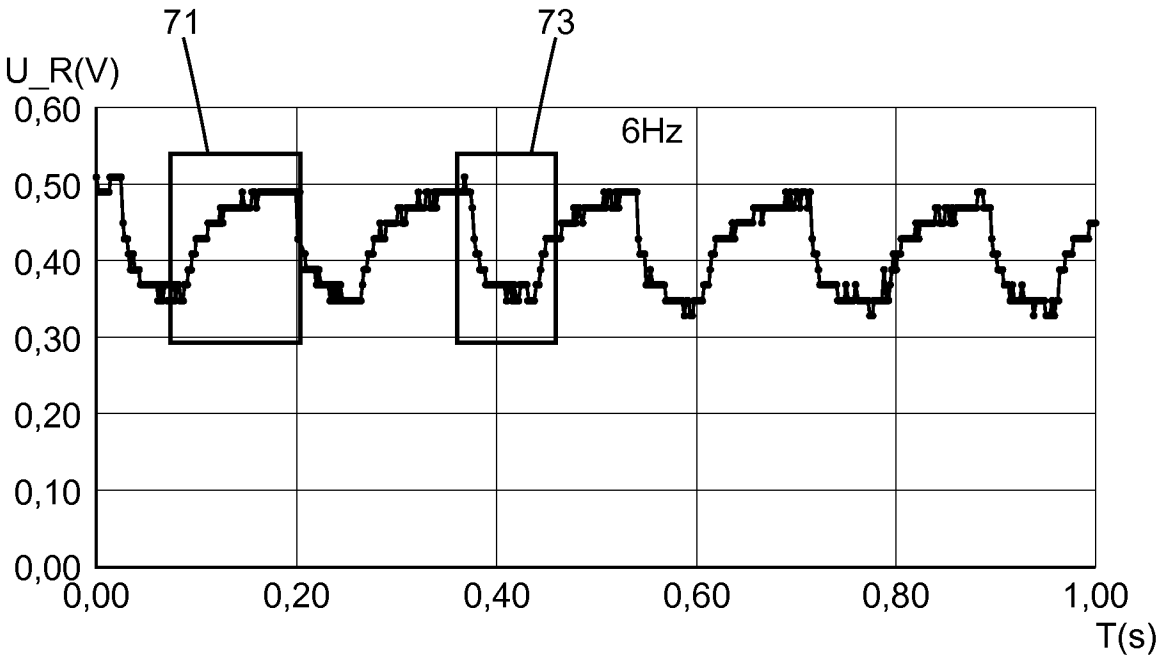


FIG. 5

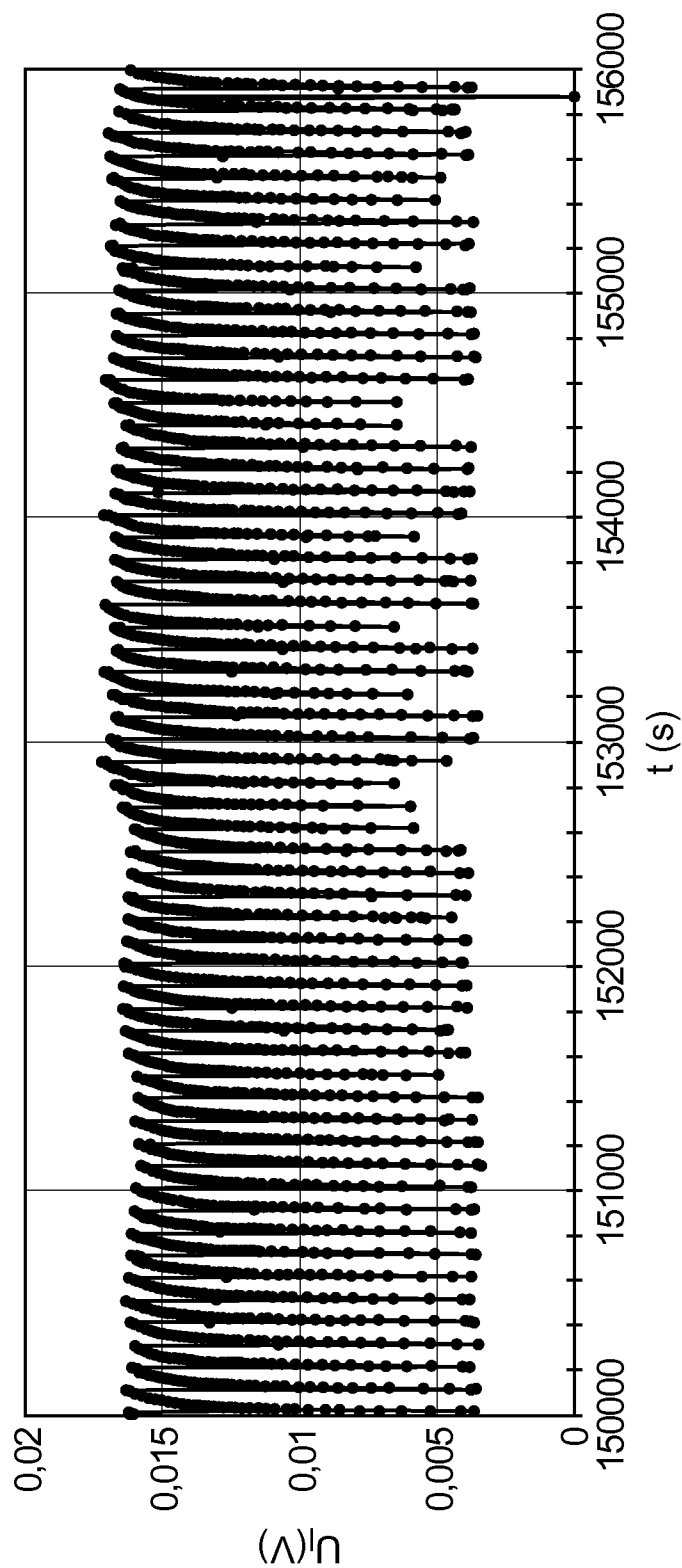


FIG. 6

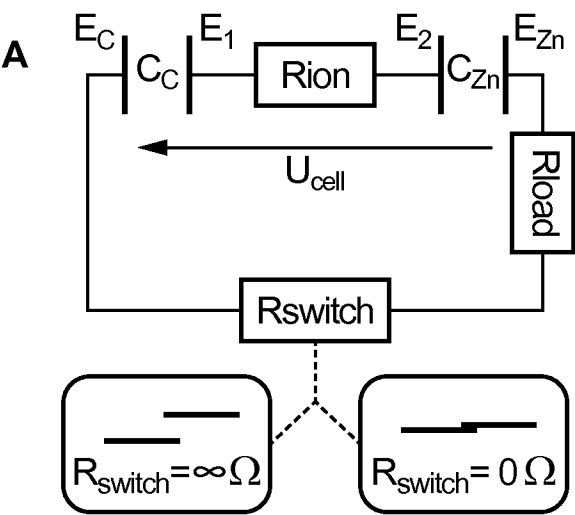


FIG. 7

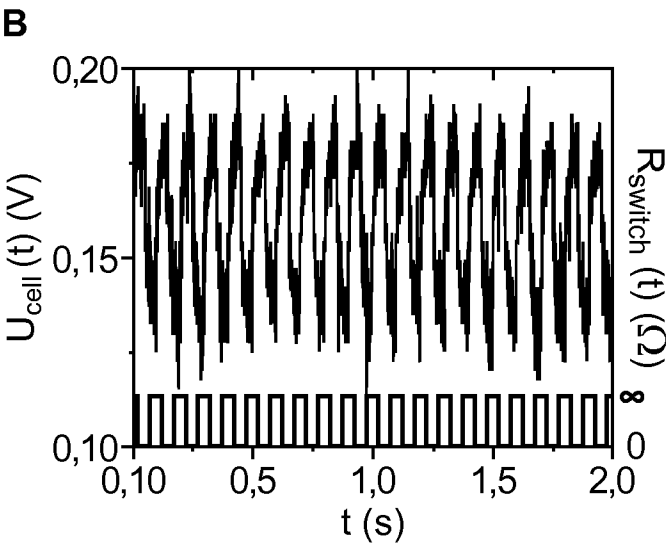


FIG. 8

5/5

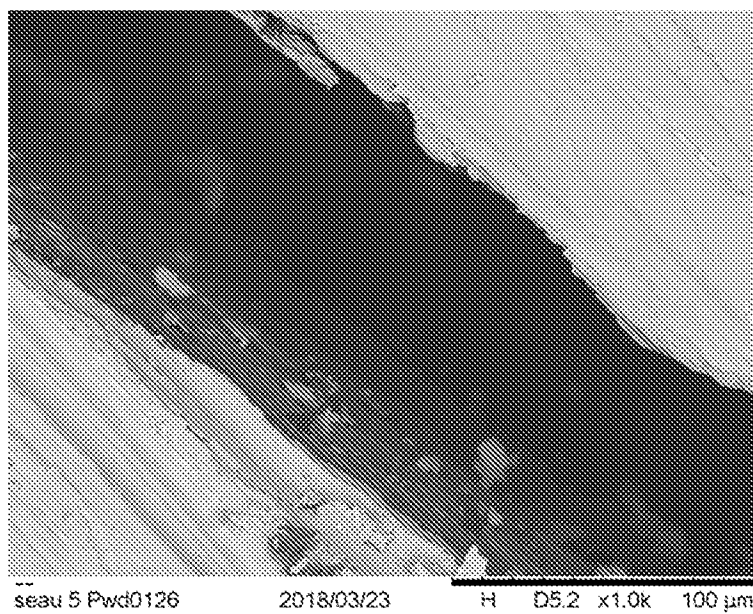


FIG. 9

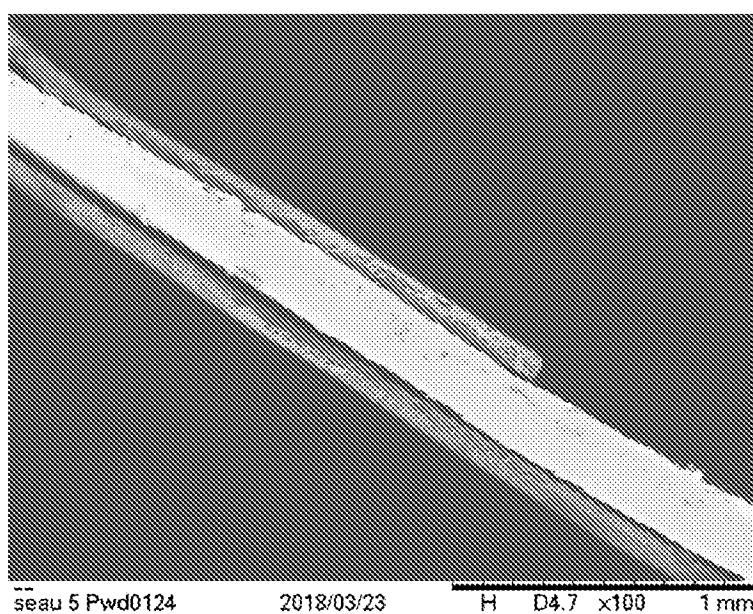


FIG. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2018/050928

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H01G11/04 H01G11/08 H01G11/14 H01G11/74 H01M12/00
ADD. H01G11/82

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01G H01M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 10 2008 006658 A1 (SIEGEL ROLF [DE]) 27 August 2009 (2009-08-27) paragraphs [0002], [0003], [0006] -----	1-12
Y	EP 2 058 918 A2 (HONEYWELL INT INC [US]) 13 May 2009 (2009-05-13) paragraph [0023] -----	1-12
Y	US 2014/230679 A1 (GOODRIDGE RICHARD JOHN [AU] ET AL) 21 August 2014 (2014-08-21) paragraphs [0024], [0035], [0036], [0037], [0126] -----	4
Y	US 2013/257410 A1 (GARDNER DONALD S [US] ET AL) 3 October 2013 (2013-10-03) paragraphs [0044], [0045], [0056] ----- -/-	4



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 July 2018

Date of mailing of the international search report

20/07/2018

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lescop, Emmanuelle

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2018/050928

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2007/182418 A1 (REYNIER YVAN [FR] ET AL) 9 August 2007 (2007-08-09) paragraphs [0009], [0017], [0018], [0020], [0028], [0036], [0041], [0056], [0093] -----	1-12
A	US 8 816 465 B1 (GARDNER DONALD S [US] ET AL) 26 August 2014 (2014-08-26) claim 1 -----	1-12
A	JONG KYUN MOON ET AL: "Electrical power generation by mechanically modulating electrical double layers", NATURE COMMUNICATIONS, vol. 4, 12 February 2013 (2013-02-12), page 1487, XP055437483, United Kingdom ISSN: 2041-1723, DOI: 10.1038/ncomms2485 the whole document -----	1-12
A	CN 104 064 361 A (NEWNAGY TANGSHAN LLC) 24 September 2014 (2014-09-24) pages 4-6 -----	1-12
A	US 2008/213642 A1 (GIL JAE-HYOUNG [KR] ET AL) 4 September 2008 (2008-09-04) paragraphs [0093], [0102] -----	1-12
A	US 2013/052538 A1 (PASTA MAURO [IT] ET AL) 28 February 2013 (2013-02-28) paragraphs [0043], [0044], [0046] -----	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2018/050928

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102008006658 A1	27-08-2009	NONE	
EP 2058918 A2	13-05-2009	EP 2058918 A2	13-05-2009
		JP 2009118727 A	28-05-2009
		US 2012126619 A1	24-05-2012
US 2014230679 A1	21-08-2014	AU 2014218506 A1	03-09-2015
		CA 2901625 A1	28-08-2014
		US 2014230679 A1	21-08-2014
		WO 2014127412 A1	28-08-2014
US 2013257410 A1	03-10-2013	CN 104205624 A	10-12-2014
		KR 20140130203 A	07-11-2014
		TW 201401741 A	01-01-2014
		US 2013257410 A1	03-10-2013
		US 2017207035 A1	20-07-2017
		WO 2013147897 A1	03-10-2013
US 2007182418 A1	09-08-2007	CN 101365941 A	11-02-2009
		CN 102569919 A	11-07-2012
		EP 1924849 A2	28-05-2008
		JP 5368091 B2	18-12-2013
		JP 5690802 B2	25-03-2015
		JP 2009506483 A	12-02-2009
		JP 2013069695 A	18-04-2013
		US 2007182418 A1	09-08-2007
		WO 2007117263 A2	18-10-2007
US 8816465 B1	26-08-2014	US 8816465 B1	26-08-2014
		WO 2014131059 A1	28-08-2014
CN 104064361 A	24-09-2014	CN 104064361 A	24-09-2014
		WO 2014146501 A1	25-09-2014
US 2008213642 A1	04-09-2008	NONE	
US 2013052538 A1	28-02-2013	US 2013052538 A1	28-02-2013
		WO 2013032567 A1	07-03-2013

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2018/050928

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H01G11/04 H01G11/08 H01G11/14 H01G11/74 H01M12/00 ADD. H01G11/82		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H01G H01M		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	DE 10 2008 006658 A1 (SIEGEL ROLF [DE]) 27 août 2009 (2009-08-27) alinéas [0002], [0003], [0006] -----	1-12
Y	EP 2 058 918 A2 (HONEYWELL INT INC [US]) 13 mai 2009 (2009-05-13) alinéa [0023] -----	1-12
Y	US 2014/230679 A1 (GOODRIDGE RICHARD JOHN [AU] ET AL) 21 août 2014 (2014-08-21) alinéas [0024], [0035], [0036], [0037], [0126] -----	4
Y	US 2013/257410 A1 (GARDNER DONALD S [US] ET AL) 3 octobre 2013 (2013-10-03) alinéas [0044], [0045], [0056] ----- -/-	4
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 12 juillet 2018		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 20/07/2018
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Lescop, Emmanuelle

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2007/182418 A1 (REYNIER YVAN [FR] ET AL) 9 août 2007 (2007-08-09) alinéas [0009], [0017], [0018], [0020], [0028], [0036], [0041], [0056], [0093] -----	1-12
A	US 8 816 465 B1 (GARDNER DONALD S [US] ET AL) 26 août 2014 (2014-08-26) revendication 1 -----	1-12
A	JONG KYUN MOON ET AL: "Electrical power generation by mechanically modulating electrical double layers", NATURE COMMUNICATIONS, vol. 4, 12 février 2013 (2013-02-12), page 1487, XP055437483, United Kingdom ISSN: 2041-1723, DOI: 10.1038/ncomms2485 le document en entier -----	1-12
A	CN 104 064 361 A (NEWNAGY TANGSHAN LLC) 24 septembre 2014 (2014-09-24) pages 4-6 -----	1-12
A	US 2008/213642 A1 (GIL JAE-HYOUNG [KR] ET AL) 4 septembre 2008 (2008-09-04) alinéas [0093], [0102] -----	1-12
A	US 2013/052538 A1 (PASTA MAURO [IT] ET AL) 28 février 2013 (2013-02-28) alinéas [0043], [0044], [0046] -----	1-12

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2018/050928

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102008006658 A1	27-08-2009	AUCUN	
EP 2058918 A2	13-05-2009	EP 2058918 A2	13-05-2009
		JP 2009118727 A	28-05-2009
		US 2012126619 A1	24-05-2012
US 2014230679 A1	21-08-2014	AU 2014218506 A1	03-09-2015
		CA 2901625 A1	28-08-2014
		US 2014230679 A1	21-08-2014
		WO 2014127412 A1	28-08-2014
US 2013257410 A1	03-10-2013	CN 104205624 A	10-12-2014
		KR 20140130203 A	07-11-2014
		TW 201401741 A	01-01-2014
		US 2013257410 A1	03-10-2013
		US 2017207035 A1	20-07-2017
		WO 2013147897 A1	03-10-2013
US 2007182418 A1	09-08-2007	CN 101365941 A	11-02-2009
		CN 102569919 A	11-07-2012
		EP 1924849 A2	28-05-2008
		JP 5368091 B2	18-12-2013
		JP 5690802 B2	25-03-2015
		JP 2009506483 A	12-02-2009
		JP 2013069695 A	18-04-2013
		US 2007182418 A1	09-08-2007
		WO 2007117263 A2	18-10-2007
US 8816465 B1	26-08-2014	US 8816465 B1	26-08-2014
		WO 2014131059 A1	28-08-2014
CN 104064361 A	24-09-2014	CN 104064361 A	24-09-2014
		WO 2014146501 A1	25-09-2014
US 2008213642 A1	04-09-2008	AUCUN	
US 2013052538 A1	28-02-2013	US 2013052538 A1	28-02-2013
		WO 2013032567 A1	07-03-2013