

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

22 Date de dépôt : 26.05.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 29.11.24 Bulletin 24/48.

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

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablis-
sment public à caractère industriel et commercial —
FR.

72 Inventeur(s) : MONNET Thibault, DI IORIO Stéphane
et HANOUX Pierre.

73 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablis-
sment public à caractère industriel et commercial.

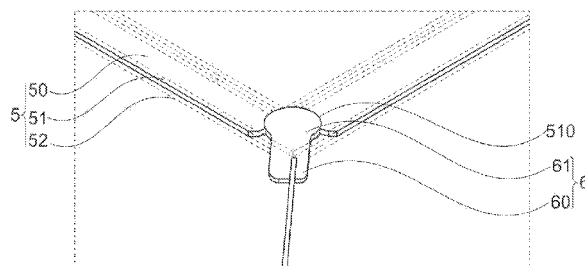
74 Mandataire(s) : Cabinet NONY.

54 Réacteur d'électrolyse ou de co-électrolyse de l'eau (SOEC) ou Pile à combustible à empilement de cellules à oxydes solides, à interconnecteurs instrumentés par une sonde démontable de mesure de tension électrique.

57 Réacteur d'électrolyse ou de co-électrolyse de l'eau (SOEC) ou Pile à combustible à empilement de cellules à oxydes solides, à interconnecteurs instrumentés par une sonde démontable de mesure de tension électrique.

L'invention consiste essentiellement à intégrer dans un dispositif électrochimique à empilement de cellules électrochimiques élémentaires, au niveau de la périphérie d'au moins un de préférence de chaque interconnecteur entre deux cellules adjacentes dans l'empilement, une sonde montable/démontable en tant qu'interface de mesure de tension électrique de cellule, par simple insertion/désinsertion qui peut être manuelle, dans une contreforme au sein de l'interconnecteur.

Figure pour l'abrégi : Fig. 3



Description

Titre de l'invention : Réacteur d'électrolyse ou de co-électrolyse de l'eau (SOEC) ou Pile à combustible à empilement de cellules à oxydes solides, à interconnecteurs instrumentés par une sonde démontable de mesure de tension électrique.

Domaine technique

- [0001] La présente invention concerne La présente invention concerne le domaine des piles à combustibles à oxydes solides (SOFC, acronyme anglais pour « Solid Oxide Fuel Cell »), celui de l'électrolyse de l'eau à haute température (EHT, ou EVHT pour électrolyse de la vapeur d'eau à haute température, ou HTE acronyme anglais pour High Temperature Electrolysis, ou encore HTSE acronyme anglais pour High Temperature Steam Electrolysis) également à oxydes solides (SOEC, acronyme anglais pour « Solid Oxide Electrolyser Cell »), et celui de la co-électrolyse à haute température de l'eau et d'un autre gaz choisi parmi le dioxyde de carbone CO₂ ou le dioxyde d'azote NO₂.
- [0002] L'invention a trait plus particulièrement à la réalisation d'un réacteur d'électrolyse ou de co-électrolyse de l'eau à haute température (EHT) de type SOEC, ou d'une pile à combustible de type SOFC, à empilement de cellules électrochimiques élémentaires qui sont chacune instrumentées par une interface démontable de mesure de tension électrique.
- [0003] Bien que décrite en référence principalement à l'application d'électrolyse de l'eau à haute température, l'invention s'applique tout aussi bien à une co-électrolyse d'eau et d'un autre gaz choisi parmi le dioxyde de carbone CO₂ ou le dioxyde d'azote NO₂, qu'à une pile à combustible SOFC.
- [0004] L'invention s'applique à une pile à combustible SOFC utilisant comme combustible soit de l'hydrogène, soit un hydrocarbure, par exemple le méthane CH₄.

Technique antérieure

- [0005] L'électrolyse de l'eau comprend une réaction électrolytique qui décompose l'eau en dioxygène et dihydrogène gazeux avec l'aide d'un courant électrique selon la réaction:
- [0006]
$$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 1/2\text{O}_2.$$
- [0007] Pour réaliser l'électrolyse de l'eau, il est avantageux de la réaliser à haute température typiquement entre 600 et 950°C, car une partie de l'énergie nécessaire à la réaction peut être apportée par de la chaleur qui est moins chère que l'électricité et l'activation de la réaction est plus efficace à haute température et ne nécessite pas de catalyseur noble. Pour mettre en œuvre l'électrolyse à haute température, il est connu

d'utiliser un électrolyseur de type SOEC (acronyme anglais de « *Solid Oxyde Electrolyser Cell* »), constitué d'un empilement de motifs élémentaires comportant chacun une cellule d'électrolyse à oxyde solide, constituée de trois couches anode/électrolyte/cathode superposées l'une sur l'autre, et de plaques d'interconnexion en alliages métalliques aussi appelées plaques bipolaires, ou interconnecteurs. Les interconnecteurs ont pour fonction d'assurer à la fois le passage du courant électrique et la circulation des gaz au voisinage de chaque cellule (vapeur d'eau injectée, hydrogène et oxygène extrait dans un électrolyseur EHT ; air et hydrogène injectés et eau extraite dans une pile SOFC) et de séparer les compartiments anodiques et cathodiques qui sont les compartiments de circulation des gaz du côté respectivement des anodes et des cathodes des cellules. Pour réaliser l'électrolyse de la vapeur d'eau à haute température EHT, on injecte de la vapeur d'eau H_2O dans le compartiment cathodique. Sous l'effet du courant appliqué à la cellule, la dissociation des molécules d'eau sous forme vapeur est réalisée à l'interface entre l'électrode à hydrogène (cathode) et l'électrolyte: cette dissociation produit du gaz dihydrogène H_2 et des ions oxygène. Le dihydrogène est collecté et évacué en sortie de compartiment à hydrogène. Les ions oxygène O^{2-} migrent à travers l'électrolyte et se recombinent en dioxygène à l'interface entre l'électrolyte et l'électrode à oxygène (anode).

[0008] Comme schématisée en [Fig.1], chaque cellule d'électrolyse élémentaire 1 est formée d'une cathode 2 et d'une anode 4, placées de part et d'autre d'un électrolyte solide 3 généralement sous forme de membrane. Les deux électrodes (cathode et anode) 2,4 sont des conducteurs électriques, en matériau poreux, et l'électrolyte 3 est étanche au gaz, isolant électronique et conducteur ionique. L'électrolyte peut être en particulier un conducteur anionique, plus précisément un conducteur anionique des ions O^{2-} et l'électrolyseur est alors dénommé électrolyseur anionique.

[0009] Les réactions électrochimiques se font à l'interface entre chacun des conducteurs électroniques et le conducteur ionique.

[0010] A la cathode 2, la demi-réaction est la suivante :

[0011] $2 H_2O + 4 e^- \rightarrow 2 H_2 + 2 O^{2-}$.

[0012] A l'anode 4, la demi-réaction est la suivante:

[0013] $2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4 e^-$.

[0014] L'électrolyte 3 intercalé entre les deux électrodes 2, 4 est le lieu de migration des ions O^{2-} , sous l'effet du champ électrique créé par la différence de potentiel imposée entre l'anode 4 et la cathode 2.

[0015] Comme illustré entre parenthèses en [Fig.1], la vapeur d'eau en entrée de cathode peut être accompagnée d'hydrogène H_2 et l'hydrogène produit et récupéré en sortie peut être accompagné de vapeur d'eau. De même, comme illustré en pointillés, un gaz drainant, tel que l'air peut en outre être injecté en entrée pour évacuer l'oxygène

produit. L'injection d'un gaz drainant a pour fonction supplémentaire de jouer le rôle de régulateur thermique et de faciliter la régulation de pression de la chambre anodique.

- [0016] Un réacteur d'électrolyse élémentaire est constitué d'une cellule élémentaire telle que décrite ci-dessus, avec une cathode 2, un électrolyte 3, et une anode 4 et de deux connecteurs mono-polaires qui assurent les fonctions de distribution électrique, hydraulique et thermique.
- [0017] Pour augmenter les débits d'hydrogène et d'oxygène produits, il est connu d'empiler plusieurs cellules d'électrolyse élémentaires les unes sur les autres en les séparant par des dispositifs d'interconnexion, usuellement appelés interconnecteurs ou plaques d'interconnexion bipolaires. L'ensemble est positionné entre deux plaques d'interconnexion d'extrémité qui supportent les alimentations électriques et les alimentations en gaz de l'électrolyseur (réacteur d'électrolyse).
- [0018] Un électrolyseur de l'eau à haute température (EHT) comprend ainsi au moins une, généralement une pluralité de cellules d'électrolyse empilées les uns sur les autres, chaque cellule élémentaire étant formée d'un électrolyte, d'une cathode et d'une anode, l'électrolyte étant intercalé entre l'anode et la cathode.
- [0019] Les dispositifs d'interconnexion fluide et électrique qui sont en contact électrique avec une ou des électrodes assurent en général les fonctions d'amenée et de collecte de courant électrique et délimitent un ou des compartiments de circulation des gaz.
- [0020] Ainsi, un compartiment dit cathodique a pour fonction la distribution du courant électrique et de la vapeur d'eau ainsi que la récupération de l'hydrogène à la cathode en contact.
- [0021] Un compartiment dit anodique a pour fonction la distribution du courant électrique ainsi que la récupération de l'oxygène produit à l'anode en contact, éventuellement à l'aide d'un gaz drainant.
- [0022] La [Fig.2] représente une vue éclatée de motifs élémentaires d'un électrolyseur de vapeur d'eau à haute température selon l'état de l'art. Cet électrolyseur EHT comporte une pluralité de cellules d'électrolyse élémentaires C1, C2... de type à oxydes solides (SOEC) empilées alternativement avec des interconnecteurs 5. Chaque cellule C1, C2... est constituée d'une cathode 2.1, 2.2,... et d'une anode 4.1, 4.2, entre lesquelles est disposé un électrolyte 3.1, 3.2.... L'ensemble des cellules d'électrolyse est alimenté en série par le courant électrique et en parallèle par les gaz.
- [0023] L'interconnecteur 5 est un composant en alliage métallique qui assure la séparation entre les compartiments cathodique CC et anodique CA, définis par les volumes compris entre l'interconnecteur 5 et la cathode adjacente 2.1 et entre l'interconnecteur 5 et l'anode adjacente 4.2 respectivement. Il assure également la distribution des gaz aux cellules. L'injection de vapeur d'eau dans chaque motif élémentaire se fait dans le

compartiment cathodique CC. Le collectage de l'hydrogène produit et de la vapeur d'eau résiduelle à la cathode 2.1, 2.2 ... est effectué dans le compartiment cathodique CC en aval de la cellule C1, C2... après dissociation de la vapeur d'eau par celle-ci. Le collectage de l'oxygène produit à l'anode 4.2 est effectué dans le compartiment anodique CA en aval de la cellule C1, C2... après dissociation de la vapeur d'eau en ions oxygène par celle-ci.

- [0024] L'interconnecteur 5 assure le passage du courant entre les cellules C1 et C2 par contact avec les électrodes adjacentes, c'est-à-dire entre l'anode 4.2 et la cathode 2.1.
- [0025] Dans une pile à combustible à oxydes solides SOFC selon l'état de l'art, les cellules C1, C2... et interconnecteurs 5 utilisés sont les mêmes composants, mais le fonctionnement est inverse de celui d'un électrolyseur EHT tel qui vient d'être expliqué avec un sens du courant inversé, avec de l'air qui alimente les compartiments alors devenus cathodiques et de l'hydrogène en tant que combustible qui alimente les compartiments devenus à leur tour anodiques.
- [0026] Que ce soit pour un électrolyseur EHT ou une pile à combustible à empilement de cellules, la mesure de tension électrique de chaque cellule est primordiale, car cette mesure individuelle permet d'évaluer l'état de santé de chaque cellule et par-là de choisir le point de fonctionnement global de l'électrolyseur/de la pile en fonction de la réponse individuelle de chaque cellule.
- [0027] Cette mesure individuelle est donc l'idéal pour un fonctionnement optimal.
- [0028] Cependant, elle nécessite un travail de préparation de l'empilement, très conséquent car chaque interconnecteur doit être raccordé à un fil de mesure de la tension électrique.
- [0029] Chaque tension de cellule est mesurée individuellement en raccordant, par les interconnecteurs, un appareil de mesure de tension par le biais des fils.
- [0030] A ce jour, chaque fil de mesure de tension est raccordé à un des interconnecteurs de l'empilement par une soudure, notamment par point. Ces soudures sont réalisées manuellement et in situ dans l'équipement de test de l'empilement, ce qui rend l'opération longue et délicate.
- [0031] L'opération de soudure est généralement fiable mais il se peut que des fils de mesure cassent suite à une mauvaise manipulation. Or, les ressouder est une opération délicate due à la formation d'oxydes en surface. Les fils deviennent cassant également lorsqu'ils restent de longues durées aux hautes températures de fonctionnement d'un électrolyseur EHT ou d'une pile à combustible SOFC. La probabilité de casse augmente avec l'âge du fil.
- [0032] Cette opération de soudure est facilitée si les interconnecteurs sont épais, typiquement avec une épaisseur supérieure à 1 mm, car un fil peut être appliqué sur la tranche d'un interconnecteur. A contrario, cette opération est d'autant plus compliquée

que les interconnecteurs sont d'une épaisseur moindre.

[0033] Il existe donc un besoin d'améliorer la mise en œuvre des moyens de mesure de tension électrique cellule par cellule d'un empilement d'un réacteur d'électrolyse de type SOEC ou d'une pile à combustible de type SOFC, notamment afin de s'affranchir des opérations de soudure, et ce plus particulièrement pour des interconnecteurs de l'empilement de faible épaisseur.

[0034] Le but de l'invention est de répondre au moins en partie à ce besoin.

Exposé de l'invention

[0035] Pour ce faire, l'invention concerne, sous l'un de ses aspects, un dispositif électrochimique, notamment réacteur d'électrolyse à haute température de la vapeur d'eau H₂O, ou de co-électrolyse de la vapeur d'eau H₂O et du dioxyde de carbone CO₂, ou pile à combustible à oxydes solides (SOFC), comportant :

[0036] - un empilement de n cellules électrochimiques élémentaires de type à oxydes solides, formées chacune d'une cathode d'une anode et d'un électrolyte intercalé entre la cathode et l'anode, et une pluralité d'interconnecteurs électrique et fluide agencés chacun entre deux cellules élémentaires adjacentes avec une de ses faces en contact électrique avec l'anode d'une des deux cellules élémentaires et l'autre de ses faces en contact électrique avec la cathode de l'autre des deux cellules élémentaires ;

[0037] - au moins une sonde de mesure de tension électrique d'au moins une cellule élémentaire, comprenant une languette métallique ou une rainure reliée à un fil électrique et de forme adaptée pour être insérée et maintenue avec contact électrique dans respectivement une languette métallique ou une rainure constituant une contreforme ménagée dans la périphérie d'un des deux interconnecteurs en contact électrique avec la cellule élémentaire, en formant une liaison montable et démontable, le maintien avec contact électrique étant établi par la languette elle-même, une fois insérée, à température ambiante et/ou lors de la montée en température de sorte à être effectif lors du fonctionnement du dispositif.

[0038] Selon un mode de réalisation avantageux, le dispositif comprend une pluralité de n sondes de mesure. Ainsi, chaque cellule électrochimique élémentaire de l'empilement est instrumentée par une sonde individuelle.

[0039] La languette peut être réalisée dans la sonde et la rainure constituant la contreforme peut être ménagée dans l'épaisseur d'une plaque d'interconnecteur ou entre deux plaques ou tôles minces d'interconnecteur.

[0040] Selon une première configuration de réalisation avantageuse, la languette est plane et adaptée pour être insérée dans la rainure ménagée dans la tôle mince centrale de l'interconnecteur constitué de trois tôles minces planes, percées de lumières et allongées selon deux axes de symétrie orthogonaux entre eux, les tôles planes étant

stratifiées et assemblées entre elles par soudure. La sonde peut être en contact électrique avec la tôle mince centrale mais aussi avec les tôles supérieure et inférieure, ce qui maximise le potentiel de contact électrique, quelles que soient les conditions de fonctionnement du dispositif.

- [0041] Selon une deuxième configuration de réalisation avantageuse, la languette est d'épaisseur décroissante vers son extrémité libre et adaptée pour être insérée en tant que coin mécanique dans l'épaisseur de la plaque d'interconnecteur.
- [0042] Avantageusement, la languette peut être adaptée pour être insérée par emboîtement dans la rainure de forme complémentaire, selon une trajectoire à unique direction d'emboîtement, ou à au moins deux directions d'emboîtement différentes de sorte que l'extraction de la languette ne peut être faite qu'en suivant la trajectoire.
- [0043] Selon une autre variante de réalisation de l'invention, la languette est munie d'au moins une patte d'encliquetage adaptée pour s'encliqueter dans la rainure. Cette patte vient donc s'encliqueter/se clipser dans une rainure de l'interconnecteur et assure ainsi le blocage mécanique et le contact électrique.
- [0044] De préférence, la languette et/ou le bord de la rainure est(sont) revêtu(s) d'une pâte en matériau électriquement conducteur, de préférence en or, ou platine. Ainsi, en cas d'oxydation sur un interconnecteur, cependant il forme une couche d'oxyde conducteur électriquement, ce qui permet la connexion électrique de cette couche d'interface. Le fait d'ajouter une couche de pâte électriquement conductrice permet de garantir le contact électrique en cas d'oxydation problématique.
- [0045] Selon une première variante de réalisation avantageuse la languette et la périphérie du connecteur sont dans un même matériau.
- [0046] Selon une deuxième variante de réalisation avantageuse la languette est dans un matériau de coefficient de dilatation thermique supérieur à celui de la périphérie de l'interconnecteur de sorte que lors de la montée en température, la languette insérée soit ajustée serrée dans la rainure.
- [0047] Les matériaux sont choisis en fonction de leur taux de dilatation et de leurs caractéristiques électriques à haute température.
- [0048] Avantageusement, les interconnecteurs et/ou la(les) languette(s) sont en acier, de préférence encore en acier ferritique à environ 20% de chrome ou en acier inoxydable 310, de préférence en CROFER® 22APU ou le F18TNb, ou à base nickel de type Inconel® 600 ou Haynes 230® ou en matériau métallique s'oxydant en formant une spinelle conductrice.
- [0049] Selon une application avantageuse, le dispositif est destiné à fonctionner de manière réversible en constituant un réacteur ou une pile à combustible, respectivement en mode électrolyse ou co-électrolyse, le cas échéant avec méthanation in situ ou en mode pile à combustible, le cas échéant avec reformage interne de méthane.

- [0050] L'invention consiste essentiellement à intégrer dans un dispositif électrochimique à empilement de cellules électrochimiques élémentaires, au niveau de la périphérie d'au moins un de préférence de chaque interconnecteur entre deux cellules adjacentes dans l'empilement, une sonde montable/démontable en tant qu'interface de mesure de tension électrique de cellule, par simple insertion/désinsertion qui peut être manuelle, dans une contreforme au sein de l'interconnecteur.
- [0051] La forme mâle peut être celle de la sonde ou de l'interconnecteur et la contreforme (forme femelle) peut être respectivement celle de l'interconnecteur ou de la sonde. Dans le cas où l'interconnecteur est la partie male de l'interface, il est possible d'utiliser toutes ou parties du nombre de plaques composant l'interconnecteur afin de réaliser la forme de la sonde.
- [0052] Dans le cas présent, la contre forme, qui sera la partie amovible du système, pourra être réalisée de façon avantageuse en reprenant tous les principes de conception énumérés dans le cas où la contre forme est interne à l'interconnecteur
- [0053] La mesure de tension électrique réalisée par la sonde selon l'invention est dite « sans courant », c'est-à-dire qu'il suffit seulement d'un contact mécanique et donc électrique ponctuel pour effectuer la mesure. De préférence, le contact est réalisé sur quelques millimètres carrés, afin d'éviter tout faux contact pendant les éventuels mouvements.
- [0054] Le dispositif de mesure de la tension électrique peut être constitué par un appareil déjà commercialisé comme celui sous la dénomination commerciale Keithley 2750. Typiquement, les inventeurs ont utilisé un tel appareil dont l'impédance de 10 gigaOhm, ce qui nous permet de faire une mesure sans courant. Tout appareil de type multimètre numérique multiplexé peut être également envisagé.
- [0055] Une sonde de tension et la rainure de logement associée au sein d'un interconnecteur sont réalisés de manière à ce que le contact électrique, soit permanent même dans le cas de dilatation / rétreint, rotation, traction ou toute autre action mécanique sur la sonde.
- [0056] Une sonde de tension selon l'invention peut avoir une forme plane adaptée à la structure d'un interconnecteur ou une forme en 3 dimensions afin d'établir un contact électrique dans toutes les directions.
- [0057] Une sonde de tension peut être fabriquée dans un matériau métallique ayant un coefficient de dilatation supérieur à celui de l'interconnecteur, afin de réaliser un ajustement serré entre et l'interconnecteur, de sorte à garantir le contact électrique aux hautes températures de fonctionnement du dispositif, notamment électrolyseur EHT ou pile à combustible SOFC.
- [0058] Les avantages de l'invention sont nombreux parmi lesquels on peut citer :
- une sonde selon l'invention permet de ne pas rajouter de résistances électriques supplémentaires d'interface entre un fil électrique dédié à la

- mesure et l'interconnecteur dans lequel la sonde est insérée ;
- la possibilité de réaliser une installation de sondes selon l'invention, à froid mais permet de mesurer des tensions de cellules ou une résistance ohmique entre les interconnecteurs à froid comme à chaud ;
- le fait de pouvoir démonter à souhait, rapidement chaque sonde permet de rendre le dispositif électrochimique plus facilement et rapidement démontable depuis son poste de test en sortie de ligne d'assemblage. Son transport ainsi que son remontage in-situ sur le lieu d'utilisation est également plus rapide, plus pratique et plus fiable que selon l'état de l'art.

[0059] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention ressortiront mieux à la lecture de la description détaillée d'exemples de mise en œuvre de l'invention faite à titre illustratif et non limitatif en référence aux figures suivantes.

Breve description des dessins

[0060] [Fig.1] la [Fig.1] est une vue schématique montrant le principe de fonctionnement d'un électrolyseur d'eau à haute température.

[0061] [Fig.2] la [Fig.2] est une vue schématique en éclaté d'une partie d'un électrolyseur de vapeur d'eau à haute température (EHT) de type SOEC comprenant des interconnecteurs selon l'état de l'art.

[0062] [Fig.3] la [Fig.3] est une vue en perspective partielle et en transparence montrant un premier exemple d'une sonde de mesure de tension électrique selon l'invention, dans sa configuration montée (insérée) dans un interconnecteur d'un dispositif électrochimique à empilement de cellules électrochimiques élémentaires.

[0063] [Fig.4] la [Fig.4] est une vue de dessus d'un deuxième exemple de sonde de mesure de tension électrique selon l'invention.

[0064] [Fig.5] la [Fig.5] est une vue de dessus d'un troisième exemple de sonde de mesure de tension électrique selon l'invention avec l'interconnecteur dans lequel est ménagé une rainure correspondante adaptée pour recevoir la sonde.

[0065] [Fig.6] la [Fig.6] est une vue en perspective partielle et en transparence montrant un quatrième exemple d'une sonde de mesure de tension électrique selon l'invention, dans sa configuration montée (insérée) dans un interconnecteur d'un dispositif électrochimique à empilement de cellules électrochimiques élémentaires.

Description détaillée

[0066] Par souci de clarté, les mêmes éléments d'un réacteur d'électrolyse EHT selon l'état de l'art et d'un réacteur d'électrolyse EHT selon l'invention sont désignés par les mêmes références numériques.

[0067] Dans les figures 1 et 2, les symboles et les flèches d'alimentation de vapeur d'eau H₂O, de distribution et de récupération de dihydrogène H₂, d'oxygène O₂, d'air et du

courant électrique, ainsi que du gaz d'équilibrage sont montrés à des fins de clarté et de précision, pour illustrer le fonctionnement d'un réacteur d'électrolyse à haute température.

- [0068] On précise ici dans l'ensemble de la présente demande, les termes « inférieur », « supérieur », « dessus », « dessous », « intérieur », « extérieur », « interne » « externe » sont à comprendre par référence à un réacteur ou une pile à combustible selon l'invention en configuration de fonctionnement, i.e. les cellules étant empilées à la verticale.
- [0069] Les figures 1 et 2 relatives à l'état de l'art ont déjà été commentées en préambule. Elles ne sont donc pas détaillées ci-après.
- [0070] On ne détaille pas non plus la structure ni le fonctionnement d'un empilement constituant un réacteur ou électrolyseur EHT ou pile à combustible dans lequel une sonde de mesure de tension électrique 6 est insérée.
- [0071] Il s'agit d'un dispositif électrochimique à empilement de n cellules électrochimiques élémentaires de type à oxydes solides, formées chacune d'une cathode d'une anode et d'un électrolyte intercalé entre la cathode et l'anode, et une pluralité d'interconnecteurs électrique et fluide agencés chacun entre deux cellules élémentaires adjacentes avec une de ses faces en contact électrique avec l'anode d'une des deux cellules élémentaires et l'autre de ses faces en contact électrique avec la cathode de l'autre des deux cellules élémentaires.
- [0072] On a représenté en [Fig.3] un premier exemple de sonde 6 telle qu'elle est insérée dans un interconnecteur 5 de l'empilement.
- [0073] La sonde est constituée d'une languette plane 6 avec une portion de forme rectangulaire 60 déportée à la périphérie de l'interconnecteur et prolongée par une portion circulaire 61, qui dans la position insérée dans la rainure 510 de l'interconnecteur est en contact électrique avec cette dernière.
- [0074] L'interconnecteur 5 est ici constitué de trois tôles 50, 51, 52 minces planes, percées de lumières et allongées selon deux axes de symétrie orthogonaux entre eux, les tôles planes étant stratifiées et assemblées entre elles par soudure. Pour mieux appréhender la réalisation à trois tôles minces 50, 51, 52 des interconnecteurs 5, on pourra se reporter avantageusement à la demande de brevet FR 3040061A1.
- [0075] Les tôles fines sont de préférence réalisées en acier, de préférence encore en acier ferritique à environ 20% de chrome, de préférence en CROFER® 22APU ou le F18TNb, ou à base Nickel de type Inconel® 600 ou Haynes 230®.
- [0076] Comme montré sur cette [Fig.3], la sonde est donc insérée par emboîtement avec contact électrique, avec sa portion circulaire 61 dans une rainure 510 de forme de portion circulaire complémentaire de la tôle centrale 51. L'avantage de cette configuration est que la sonde peut être en contact avec une grande surface de contact (la

portion circulaire 61), avec chacune des trois tôles 50, 51, 52 de l'interconnecteur. Un autre avantage est que, dans sa position montée, la sonde peut être déplacée en rotation selon les contraintes.

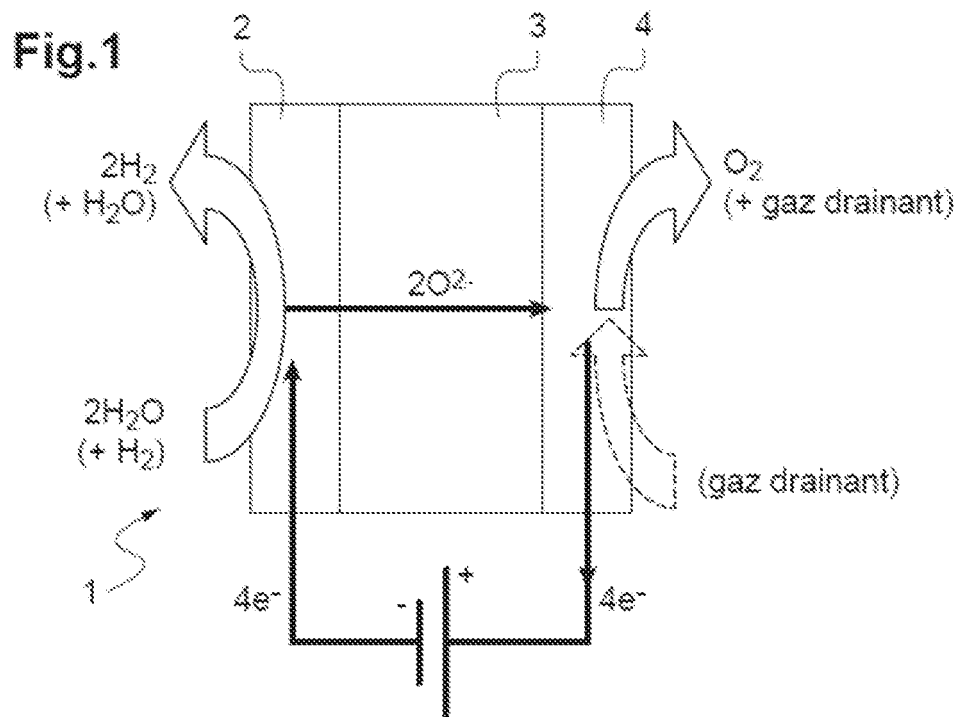
- [0077] La [Fig.4] montre un deuxième exemple de sonde 6 formée par une languette. La portion allongée rectangulaire 60 est munie de pattes d'encliquetage 62 sur ses bords longitudinaux. Ainsi, le montage de la sonde 6 dans la rainure d'interconnecteur 5 est réalisé par encliquetage/clipsage. Ainsi, la sonde 6 est mise en compression dans la rainure de l'interconnecteur. Il est possible d'ajouter un élément élastique et/ou une autre patte d'encliquetage qui s'étende selon une troisième dimension, et ce afin d'augmenter le contact électrique.
- [0078] La [Fig.5] illustre un troisième exemple de sonde 6 sous la forme d'une languette. La portion allongée rectangulaire 60 est prolongée d'une flèche 63 qui s'étend selon une autre direction que la portion 60.
- [0079] Ainsi, la languette 60, 63 peut être insérée par emboîtement dans la rainure 53 de forme complémentaire, selon une trajectoire à au moins deux directions d'emboîtement différentes de sorte que l'extraction de la languette ne peut être faite qu'en suivant la trajectoire. Ainsi, dans cette configuration, en cas de traction sur la sonde 6, celle-ci reste coincée dans la rainure 53.
- [0080] La [Fig.6] illustre un autre exemple de sonde 6 sous la forme d'une languette. Ici, la languette est d'épaisseur décroissante depuis sa portion 60 à l'extérieur vers son extrémité libre 64. Ainsi, la sonde 6 est insérée en tant que coin mécanique dans l'épaisseur de la plaque d'un interconnecteur 5. Cet exemple est plutôt dédié aux interconnecteurs sous la forme plaques épaisses, typiquement d'épaisseur supérieure ou égale à 1mm.
- [0081] L'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits ; on peut notamment combiner entre elles des caractéristiques des exemples illustrés au sein de variantes non illustrées.
- [0082] D'autres variantes et modes de réalisation peuvent être envisagés sans pour autant sortir du cadre de l'invention.
- [0083] On peut envisager d'autres formes de sonde et de contreforme dans un interconnecteur que celles des exemples illustrés.
- [0084] Par exemple, on peut envisager une forme de sonde à section transversale ronde, carrée ou autre et une contreforme de forme géométrique complémentaire dans un interconnecteur.
- [0085] Si dans les exemples illustrés, la forme mâle est celle de la sonde et la contreforme (forme femelle) est celle de l'interconnecteur, on peut très bien envisager l'inverse dans le cadre de l'invention, c'est-à-dire une forme mâle réalisée dans l'interconnecteur et une contreforme (forme femelle) ménagée dans la sonde.

Revendications

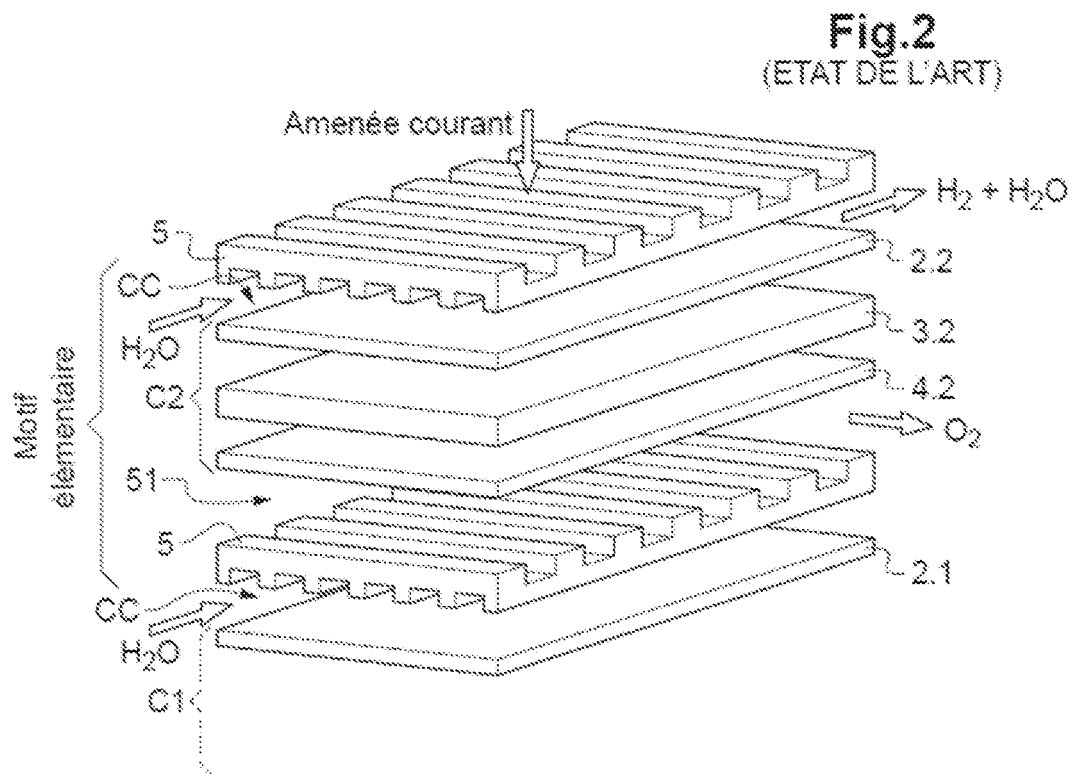
- [Revendication 1] Dispositif électrochimique, notamment réacteur d'électrolyse à haute température de la vapeur d'eau H₂O, ou de co-électrolyse de la vapeur d'eau H₂O et du dioxyde de carbone CO₂, ou pile à combustible à oxydes solides (SOFC), comportant :
- un empilement de n cellules électrochimiques élémentaires de type à oxydes solides, formées chacune d'une cathode d'une anode et d'un électrolyte intercalé entre la cathode et l'anode, et une pluralité d'interconnecteurs électrique et fluide agencés chacun entre deux cellules élémentaires adjacentes avec une de ses faces en contact électrique avec l'anode d'une des deux cellules élémentaires et l'autre de ses faces en contact électrique avec la cathode de l'autre des deux cellules élémentaires ;
 - au moins une sonde de mesure de tension électrique d'au moins une cellule élémentaire, comprenant une languette métallique ou une rainure reliée à un fil électrique et de forme adaptée pour être insérée et maintenue avec contact électrique dans respectivement une rainure ou une languette métallique constituant une contreforme ménagée dans la périphérie d'un des deux interconnecteurs en contact électrique avec la cellule élémentaire, en formant une liaison montable et démontable, le maintien avec contact électrique étant établi par la languette elle-même, une fois insérée dans la rainure, à température ambiante et/ou lors de la montée en température, de sorte à être effectif lors du fonctionnement du dispositif.
- [Revendication 2] Dispositif selon la revendication 1, comprenant une pluralité de n sondes de mesure.
- [Revendication 3] Dispositif selon la revendication 1 ou 2, la languette étant réalisée dans la sonde, la rainure constituant la contreforme étant ménagée dans l'épaisseur d'une plaque d'interconnecteur ou entre deux plaques ou tôles minces d'interconnecteur.
- [Revendication 4] Dispositif selon la revendication 3, la languette étant plane et adaptée pour être insérée dans la rainure ménagée dans la tôle mince centrale de l'interconnecteur constitué de trois tôles minces planes, percées de lumières et allongées selon deux axes de symétrie orthogonaux entre eux, les tôles planes étant stratifiées et assemblées entre elles par soudure.
- [Revendication 5] Dispositif selon la revendication 3, la languette étant d'épaisseur dé-

- croissante vers son extrémité libre et adaptée pour être insérée en tant que coin mécanique dans l'épaisseur de la plaque d'interconnecteur.
- [Revendication 6] Dispositif selon l'une des revendications précédentes, la languette étant adaptée pour être insérée par emboitement dans la rainure de forme complémentaire, selon une trajectoire à unique direction d'emboitement.
- [Revendication 7] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, la languette étant adaptée pour être insérée par emboitement dans la rainure de forme complémentaire, selon une trajectoire à au moins deux directions d'emboitement différentes de sorte que l'extraction de la languette ne peut être faite qu'en suivant la trajectoire.
- [Revendication 8] Dispositif selon l'une des revendications précédentes, la languette étant munie d'au moins une patte d'encliquetage adaptée pour s'encliqueter dans la rainure.
- [Revendication 9] Dispositif selon l'une des revendications précédentes, la languette et/ou le bord de la rainure étant revêtue d'une pâte en matériau électriquement conducteur, de préférence en or, ou platine.
- [Revendication 10] Dispositif selon l'une des revendications précédentes, la languette et la périphérie du connecteur étant dans un même matériau.
- [Revendication 11] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, la languette étant dans un matériau de coefficient de dilatation thermique supérieur à celui de la périphérie de l'interconnecteur de sorte que lors de la montée en température, la languette insérée soit ajustée serrée dans la rainure.
- [Revendication 12] Dispositif selon l'une des revendications précédentes, les interconnecteurs et/ou la(les) languette(s) étant en acier, de préférence encore en acier ferritique à environ 20% de chrome ou en acier inoxydable 310, de préférence en CROFER® 22APU ou le F18TNb, ou à base nickel de type Inconel® 600 ou Haynes 230® ou en matériau métallique s'oxydant en formant une spinelle conductrice.
- [Revendication 13] Dispositif selon l'une des revendications précédentes, destiné à fonctionner de manière réversible en constituant un réacteur ou une pile à combustible, respectivement en mode électrolyse ou co-électrolyse, le cas échéant avec méthanation in situ ou en mode pile à combustible, le cas échéant avec reformage interne de méthane.

[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]

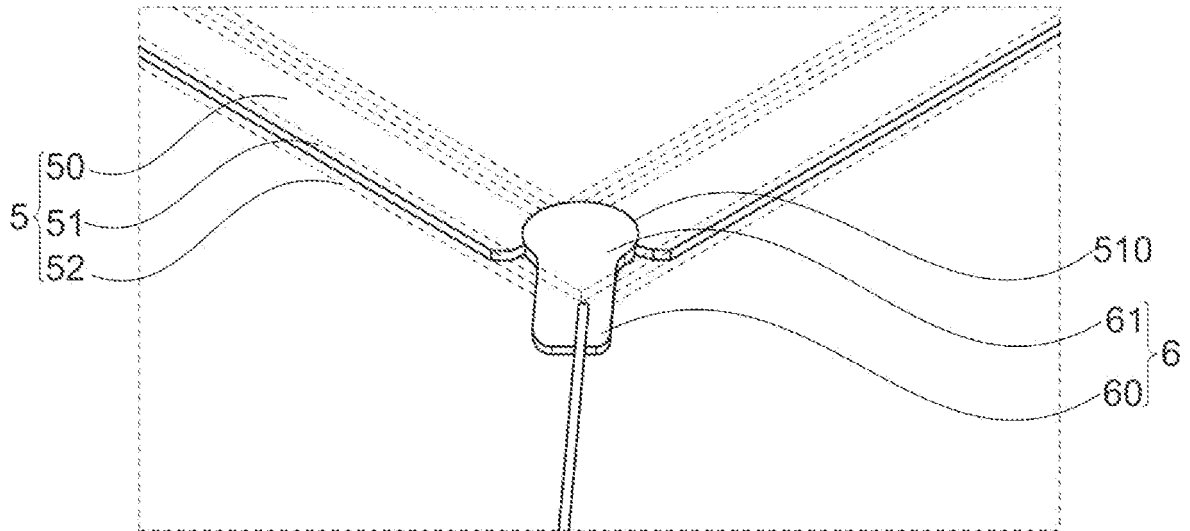


Fig. 3

[Fig. 4]

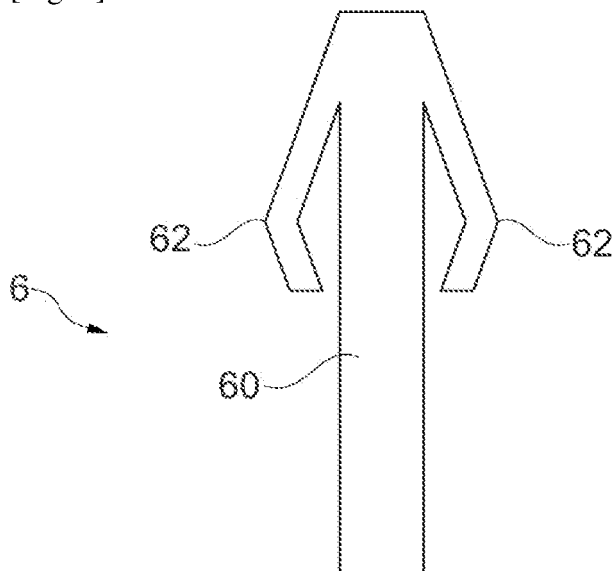


Fig. 4

[Fig. 5]

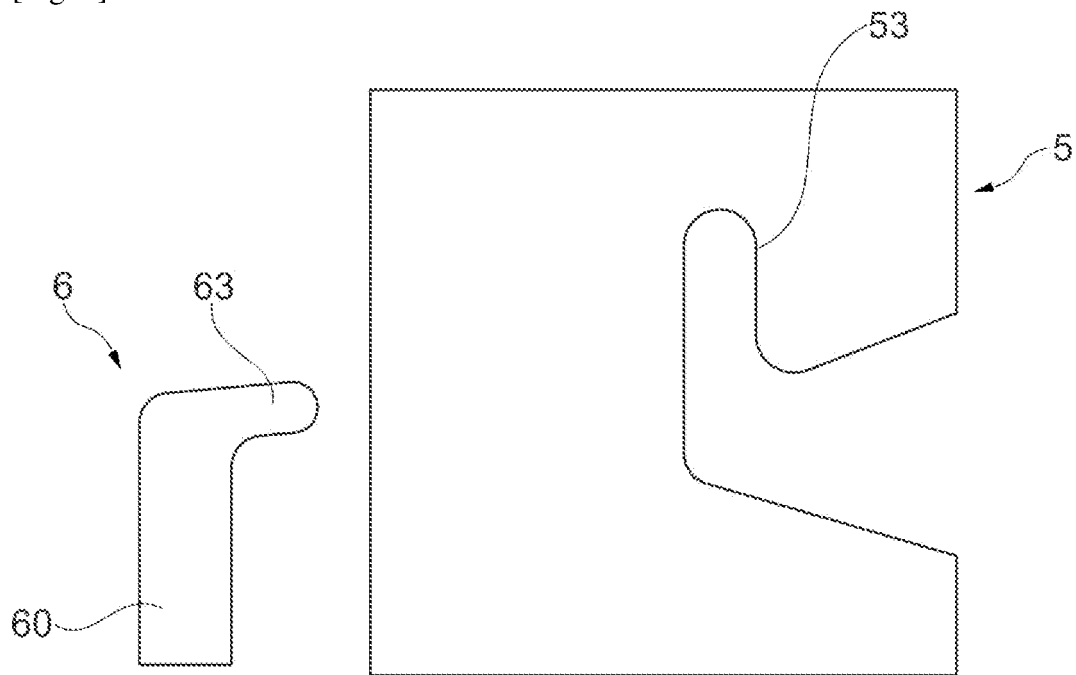


Fig. 5

[Fig. 6]

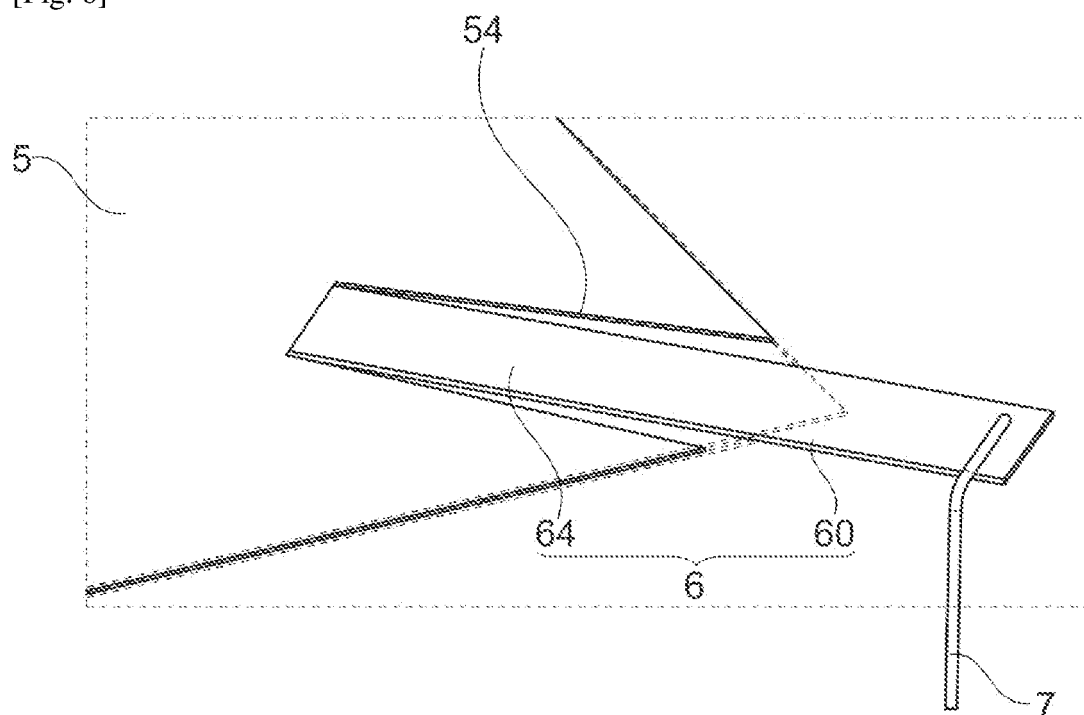


Fig. 6

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 919434
FR 2305293

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X A	JP 2012 209231 A (ENEOS CELLTECH CO LTD) 25 octobre 2012 (2012-10-25) * alinéas [0015], [0018] - [0021]; figure 5 * -----	1-4, 9, 10, 12, 13 7, 11	C25B 1/04 H01M 8/04 H01M 8/10
X	CN 218 472 002 U (WEISHI ENERGY TECH CO LTD) 10 février 2023 (2023-02-10) * figures 1-4 * -----	1-6, 9, 10, 12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H01M C25B
X	JP 2022 022527 A (TOYOTA MOTOR CORP) 7 février 2022 (2022-02-07) * alinéas [0022], [0023]; figure 1 * -----	1-6, 8-10, 12	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
10 décembre 2023		Raimondi, Fabio	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2305293 FA 919434**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **10-12-2023**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 2012209231 A	25-10-2012	JP 5481421 B2 JP 2012209231 A	23-04-2014 25-10-2012

CN 218472002 U	10-02-2023	AUCUN	

JP 2022022527 A	07-02-2022	AUCUN	
