

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

①① N° de publication :

3 077 076

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

②① N° d'enregistrement national :

18 50509

⑤① Int Cl⁸ : **C 25 B 1/04** (2018.01), C 25 B 11/06

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ DISPOSITIF D'ELECTROLYSE DE L'EAU POUR L'HOMOGENEISATION DE LA DENSITE DE COURANT.

②② Date de dépôt : 23.01.18.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 26.07.19 Bulletin 19/30.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 17.01.20 Bulletin 20/03.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : VERDIN BAPTISTE et FOUDA-
ONANA FREDERIC.

⑦③ Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public.

⑦④ Mandataire(s) : INNOVATION COMPETENCE
GROUP.

FR 3 077 076 - B1



DISPOSITIF D'ELECTROLYSE DE L'EAU POUR L'HOMOGENEISATION DE LA DENSITE DE COURANT

L'invention concerne les électrolyseurs pour la production de dihydrogène
5 par électrolyse de l'eau, et en particulier les électrolyseurs munis de membranes échangeuses de protons.

Une cellule d'électrolyseur comprend un assemblage membrane/électrodes, avec la membrane échangeuse de protons munie d'une
couche active anodique sur une face et d'une couche active cathodique sur l'autre
10 face. De l'eau est introduite à l'anode. De l'oxygène est produit à l'anode par oxydation de l'eau et des protons sont libérés. Les protons traversent la membrane formant un électrolyte solide, et de l'hydrogène est produit à la cathode par réduction de protons.

Les matériaux anodiques doivent résister à des potentiels élevés. Par
15 conséquent, le nombre de matériaux électrocatalytiques disponibles pour former une couche active anodique est relativement réduit. Les matériaux électrocatalytiques des couches anodiques sont ainsi généralement du IrO_2 ou des alliages de IrO_2X IrO_2Rt .

On a noté de fortes disparités de densités de courant dans différentes
20 zones de l'assemblage membrane/électrodes, et ce même en essayant de maintenir une pression homogène sur toute la surface de l'assemblage membrane/électrodes et en essayant d'homogénéiser au maximum les propriétés électriques sur toute cette surface. On peut notamment constater un gradient de densité de courant entre le centre de l'anode et sa périphérie. Ce gradient de
25 densité de courant augmente encore avec le vieillissement de l'électrolyseur. Un tel gradient est préjudiciable au fonctionnement de l'électrolyseur, en dissociant plusieurs régimes de fonctionnement différents en fonction des zones de l'anode. Une concentration de la densité de courant dans la partie centrale de l'anode induit en outre une dégradation prématurée du catalyseur, du fait d'une densité
30 de courant supérieure à celle pour laquelle l'anode a été dimensionnée. Une trop faible densité de courant à la périphérie de l'anode peut au contraire induire une dégradation chimique de la membrane échangeuse de protons.

L'invention vise à résoudre un ou plusieurs de ces inconvénients. L'invention porte ainsi sur un dispositif d'électrolyse de l'eau, comportant :
35 -un assemblage membrane/électrodes, comprenant une membrane échangeuse de protons et une couche active anodique incluant un matériau électrocatalytique et disposée sur une face de ladite membrane échangeuse de protons ;
-un collecteur d'entrée d'eau ;

-un collecteur de sortie d'oxygène, une droite reliant le collecteur d'entrée d'eau au collecteur de sortie d'oxygène s'étendant selon une direction générale d'écoulement ;

5 -une anode en vis-à-vis de la couche active anodique, présentant une extrémité en communication avec le collecteur d'entrée d'eau et une autre extrémité en communication avec le collecteur de sortie d'oxygène ;

-dans une section selon une normale à ladite droite, l'anode présente des points ayant chacun une distance cumulée avec le collecteur d'entrée d'eau et avec le collecteur de sortie d'oxygène, la distance cumulée pour un premier point en
10 périphérie de l'anode étant supérieure d'au moins 10% à la distance cumulée d'un deuxième point positionné sur ladite droite ;

-le chargement surfacique de la couche active anodique en matériau électrocatalytique au niveau du premier point étant au moins 10% supérieure à son chargement surfacique au niveau du deuxième point.

15 L'invention porte également sur les variantes suivantes. L'homme du métier comprendra que chacune des caractéristiques des variantes suivantes peut être combinée indépendamment aux caractéristiques ci-dessus, sans pour autant constituer une généralisation intermédiaire.

Selon une variante, le matériau électrocatalytique de la couche active
20 anodique inclut de l'IrO₂ à plus de 50 % en masse dans l'extrait sec de cette couche active anodique.

Selon encore une variante, le matériau électrocatalytique de la couche active anodique inclut de IrO₂X avec X= Ru ou Sn à plus de 50 % en masse dans l'extrait sec de cette couche active anodique.

25 Selon une autre variante, ladite couche active anodique inclut un chargement surfacique moyen d'IrO₂ compris entre 1 et 3mg/cm².

Selon encore une autre variante, ladite membrane échangeuse de protons présente une épaisseur au moins égale à 100 µm.

Selon une autre variante, la distance cumulée pour le premier point est
30 supérieure d'au moins 20 % à la distance cumulée pour le deuxième point.

Selon encore une variante, l'anode présente une forme circulaire.

Selon encore une autre variante, ladite couche active anodique inclut une matrice en matériau polymère dans lequel le matériau électrocatalytique est enrobé.

35 Selon une variante, le dispositif comprend en outre un élément perméable de diffusion d'eau positionné entre la couche active anodique et l'anode.

Selon une autre variante, ledit élément perméable comprend un empilement de plusieurs grilles et d'une couche poreuse.

Selon encore une variante, le dispositif comprend un guide d'écoulement
40 disposé entre l'anode et la couche active anodique, le guide d'écoulement

définissant des canaux d'écoulement entre le collecteur d'entrée d'eau et le collecteur de sortie d'oxygène.

Selon encore une autre variante, ladite couche active anodique est dépourvue de support carboné.

- 5 Selon une variante, le dispositif comprend en outre :
- une couche active cathodique disposée sur une face de ladite membrane échangeuse de protons opposée à la couche active anodique;
 - une cathode en vis-à-vis de la couche active cathodique, la cathode et l'anode étant conductrices électriquement ;
 - 10 -un circuit d'alimentation configuré pour appliquer une différence de potentiel entre l'anode et la cathode.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront clairement de la description qui en est faite ci-après, à titre indicatif et nullement
15 limitatif, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe schématique d'un exemple de dispositif d'électrolyse incorporant un assemblage membrane-électrodes ;
- la figure 2 illustre une vue de face schématique d'un premier exemple de configuration d'une anode ;
- 20 -la figure 3 illustre une vue de face schématique d'un deuxième exemple de configuration d'une anode ;
- la figure 4 est une vue de face schématique d'une couche active anodique pour l'anode de la figure 2 ;
- les figures 5 et 6 illustrent la répartition du courant à travers une anode
25 pour un dispositif d'électrolyse selon un exemple de mise en œuvre de l'invention, respectivement lors de sa mise en service et après une centaine d'heures d'utilisation ;
- la figure 7 est une vue en coupe schématique d'une structure pour un premier exemple d'élément de diffusion d'eau ;
- 30 -la figure 8 est une vue en coupe schématique d'une autre structure pour un deuxième exemple d'élément de diffusion d'eau.

La figure 1 est une vue en coupe d'un exemple de dispositif d'électrolyse 1 de l'eau pour produire du dihydrogène. Le dispositif d'électrolyse 1 comprend une
35 cellule électrochimique 2 et une alimentation électrique 3.

La cellule électrochimique 2 comprend un assemblage membrane-électrodes 4, des éléments de diffusion d'écoulement 5 et 6 disposés de part et d'autre de l'assemblage membrane/électrodes 4, et des plaques d'alimentation électrique 7 et 8. La plaque 7 forme une cathode et la plaque 8 forme une anode.
40 Les éléments de diffusion d'écoulement 5 et 6 sont disposés respectivement entre

l'assemblage membrane/électrodes 4 et la cathode 7, et entre l'autre assemblage membrane/électrodes 4 et l'anode 8. L'assemblage membrane/électrodes 4 comprend une membrane échangeuse de protons 43, ainsi qu'une couche active cathodique 41 et une couche active anodique 42 fixées de part et d'autre de cette

5 membrane échangeuse de protons 43. La cathode 7 est positionnée en vis-à-vis de la couche active cathodique 41. L'anode 8 est positionnée en vis-à-vis de la couche active anodique 42.

Un collecteur 72 de sortie de dihydrogène est ménagé à travers une

10 extrémité de la cathode 7 et débouche sur l'élément de diffusion 5. La cathode 7 présente un conduit d'évacuation de dihydrogène non illustré, en communication avec le collecteur 72.

Un collecteur d'entrée d'eau 81 est ménagé à travers une extrémité de l'anode 8 et débouche sur l'élément de diffusion 6. Un collecteur de sortie

15 d'oxygène 82 est ménagé à travers une autre extrémité de la plaque 8 et débouche également sur l'élément de diffusion 6. La plaque d'alimentation 8 a également une fonction de guidage d'écoulement de fluide entre le collecteur 81 et le collecteur 82. Un conduit d'alimentation en eau non illustré est en communication avec le collecteur 81. Un conduit d'évacuation d'oxygène non

20 illustré est en communication avec le collecteur 82. Un joint 9 est positionné entre l'anode 8 et l'assemblage membrane/électrodes 4, au niveau de la périphérie de l'anode 8. Le joint 9 est destiné à assurer l'étanchéité de l'écoulement entre les collecteurs 81 et 82.

Un premier exemple de configuration d'anode 8 est illustré en référence à

25 la figure 2. L'anode 8 comporte ici une forme sensiblement circulaire. Une direction générale d'écoulement est ici illustrée par la droite X en tiret-point, reliant le collecteur 81 et le collecteur 82. Le sens d'écoulement entre les collecteurs 81 et 82 est ici illustré par la flèche en pointillés.

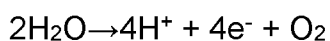
Un deuxième exemple de configuration d'anode 8 est illustré en référence

30 à la figure 3. L'anode 8 comporte ici une forme sensiblement rectangulaire.

L'alimentation électrique 3 est configurée pour appliquer une tension continue généralement comprise entre 1,48 V et 3 V, avec une densité de courant au niveau des plaques d'alimentation comprise entre 500 et 40 000 A/m². Par

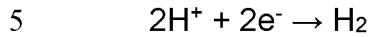
35 application d'une telle tension, une réaction d'oxydation de l'eau au niveau de l'anode 8 produit du dioxygène, une réaction de réduction de protons au niveau de la cathode 7 produisant du dihydrogène.

La réaction à l'anode 8 est la suivante :



Les protons générés par la réaction anodique traversent la membrane échangeuse de protons 43 jusqu'à la cathode 7. L'alimentation 3 conduit les électrons générés par la réaction anodique jusqu'à la cathode 7.

La réaction à la cathode 7 est ainsi la suivante :



La membrane échangeuse de protons 43 a pour fonction d'être traversée par des protons de la couche active anodique 42 vers la couche active cathodique 41, tout en bloquant les électrons ainsi que le dioxygène et le dihydrogène générés.

10

Comme illustré à la figure 2, l'anode 8 est plus large (la largeur est ici définie comme la dimension maximale de l'anode 8 selon une direction perpendiculaire à la direction d'écoulement X) que les collecteurs 81 et 82. Si on examine l'écoulement entre les collecteurs 81 et 82 en différents points selon la
15 largeur (différents points dans une section selon une normale à la direction d'écoulement X), on constate que l'écoulement de fluide passant par ces différents points empreinte des trajets présentant des longueurs assez différentes. La perte de charge pour ces différents trajets peut présenter de fortes variations, du fait de la présence de l'eau dans ces écoulements. Ceci s'avère
20 particulièrement marqué à mi distance entre les collecteurs 81 et 82.

Cette différence est illustrée à la figure 2 par les points A et B, positionnés sur un diamètre de l'anode 8 perpendiculaire à la droite X. Le point B est positionné sur une droite reliant les collecteurs 81 et 82. Le point A est positionné en périphérie de l'anode 8. On peut déterminer les distances respectives
25 cumulées de ces points avec le collecteur 81 d'une part et le collecteur 82 d'autre part. Pour le point B, cette distance cumulée DB est égale à la distance entre les collecteurs 81 et 82. Pour le point A, cette distance cumulée DA est égale à la somme de la distance DA1 entre le point A et le collecteur 81 et de la distance DA2 entre le point A et le collecteur 82. La différence entre les distances DA et
30 DB est au moins égale à 10 %, et est approximativement égale à 40 % dans l'exemple illustré. À la figure 3, on a également identifié un point A et un point B pour la configuration de l'anode 8 de forme sensiblement rectangulaire, avec également des différences entre les distances DA et DB.

Ces disparités de distances pour différents points de l'écoulement donnent
35 lieu à de disparités de perte de charge, la perte de charge de l'écoulement passant par le point A étant supérieure à celle de l'écoulement passant par le point B. Ces différences de pertes de charges induisent des disparités de courant anodiques, pouvant notamment conduire à un vieillissement accéléré de certaines zones de la cellule électrochimique 2. L'invention s'avère

particulièrement intéressante lorsqu'il existe une différence d'au moins 20 % entre les distances cumulées pour deux points d'une même section.

Afin d'homogénéiser la densité de courant à travers l'anode 8 dans différentes zones, l'invention propose de réaliser un chargement de la couche active anodique 42 en matériau électrocatalytique supérieur d'au moins 10% pour un point en vis-à-vis de la périphérie de l'anode 8 par rapport à un point positionné sur la droite X, ces deux points étant positionnés dans une même section de l'anode normale à la droite X.

Ainsi, dans l'exemple de la figure 2, le chargement en matériau électrocatalytique de la couche active anodique 42 en vis-à-vis du point A est au moins 10 % supérieur à son chargement en vis-à-vis du point B. En accroissant le chargement en matériau électrocatalytique dans une zone dans laquelle le flux d'écoulement est plus faible, on arrive à homogénéiser la densité de courant sur l'ensemble de la surface de l'anode 8.

Dans l'exemple, on a par exemple différencié une zone périphérique 85 de l'anode 8 par rapport à une zone médiane 86. La frontière entre les zones 85 et 86 est ici illustrée par un cercle en tiret point. La figure 4 est une vue de face schématique de la couche active 42. La couche active 42 présente ainsi une zone périphérique 425 superposée à la zone 85, et une zone médiane 426 superposée à la zone 86.

Le chargement surfacique en matériau électrocatalytique de la couche active anodique dans la zone 426 est au moins 10 % supérieur à son chargement surfacique dans la zone 425. Dans l'exemple illustré, le chargement surfacique en matériau électrocatalytique est homogène dans la zone 425 de la couche active 42. Le chargement surfacique en matériau électrocatalytique est également homogène dans la zone 426. La zone 426 peut par exemple être réalisée sur une bande de largeur continue en partant de la périphérie de la couche active 42. La zone 426 peut par exemple être dimensionnée de façon à former au moins 20 %, de préférence au moins 35 % de la surface de la couche active 42.

On peut également envisager de réaliser la couche active 42 avec une zone médiane en forme de disque, une zone périphérique en forme de bande, et une zone intermédiaire en forme de bande, disposée entre le disque et la bande périphérique. On peut ainsi mieux différencier différentes zones de fonctionnement de la couche active 42, avec des chargements surfaciques en matériau électrocatalytique différents. Les limites de la bande périphérique et de la bande intermédiaire peuvent être définies par une distance depuis la bordure périphérique de la couche active 42.

La réalisation de l'assemblage membrane/électrodes 4 avec une couche active anodique 42 présentant des zones avec des chargements

électrocatalytiques différents peut aisément être mise en œuvre au moyen d'une imprimante à jet d'encre pulvérisée. Une telle imprimante peut alors être utilisée pour déposer une quantité différente d'encre en différents emplacements d'une face de la membrane 43, avec une encre incluant le matériau électrocatalytique en solution dans un ionomère. La quantité d'encre peut par exemple être adaptée en modulant le débit d'encre dans différentes zones ou en utilisant un même débit mais en différenciant le nombre de couches déposées en superposition par la tête d'impression pour différentes zones. Un tel procédé permet donc aisément de moduler le chargement surfacique en matériau électrocatalytique de la couche 42. Par un tel procédé, les différences d'épaisseur pour les différentes zones de la couche 42 sont négligeables et n'altèrent pas le fonctionnement de la cellule 2.

Le matériau électrocatalytique de la couche active anodique 42 peut par exemple être avantageusement du IrO_2 ou des alliages de IrO_2X ($\text{X} = \text{Ru}, \text{Sn}$). Le matériau électrocatalytique de la couche active anodique 42 inclut avantageusement l'un de ces matériaux à plus de 50 % en masse dans l'extrait sec de la couche catalytique. Le chargement surfacique moyen de la couche active anodique 42 en un tel matériau électrocatalytique peut par exemple être compris entre 1 et $3\text{mg}/\text{cm}^2$, de préférence entre 1,7 et $2,1\text{ mg}/\text{cm}^2$. Ainsi, avec un tel chargement, on obtiendrait des performances similaires à celles de l'état de la technique avec un vieillissement réduit et un coût en matériau électrocatalytique également réduit.

De façon connue en soi, le matériau électrocatalytique de la couche anodique 42 peut être enrobé dans une matrice en matériau polymère, par exemple un ionomère tel qu'un fluoropolymère basé sur du tétrafluoroéthylène sulfoné.

On peut également envisager que le matériau électrocatalytique de la couche 42 soit fixé sur un support tel que de l'oxyde d'étain dopé à l'antimoine (ATO).

Avantageusement, la couche active anodique 42 est dépourvue de support carboné.

La membrane échangeuse de protons 43 peut par exemple être réalisée avec une épaisseur au moins égale à $100\text{ }\mu\text{m}$. La membrane 43 peut par exemple être réalisée en un ionomère commercialisé sous la dénomination commerciale Nafion.

Des tests concluants ont notamment été réalisés avec différentes conceptions de couches actives anodiques 42, pour une couche 42 et une anode 8 circulaires.

Par exemple, un premier type de couche 42 a été intégré dans un assemblage membrane/électrodes 4 avec les paramètres suivants :

-un chargement surfacique moyen de la couche 42 en IrO₂ de 1,795 mg/cm²;

-une bande périphérique de la couche 42 présentant un chargement surfacique moyen en IrO₂ de 1,98 mg/cm² ;

5 -un disque médian de la couche 42 présentant un chargement surfacique moyen en IrO₂ de 1,25 mg/cm² ;

-une bande intermédiaire de la couche 42, positionnée entre la bande périphérique et le disque médian, présentant un chargement surfacique moyen en IrO₂ de 1,56 mg/cm² ;

10 -une répartition de matériau électrocatalytique de 30 % sur la bande périphérique, de 62 % sur la bande intermédiaire, et de 8 % sur le disque médian ;

-une couche active cathodique 41 incluant un chargement surfacique moyen en Pt sur un support carboné de 0,8 mg/cm².

15 Selon un autre exemple, un deuxième type de couche 42 a été intégré dans un assemblage membrane/électrodes 4 avec les paramètres suivants :

-un chargement surfacique moyen de la couche 42 en IrO₂ de 2,046 mg/cm²;

-une bande périphérique de la couche 42 présentant un chargement surfacique moyen en IrO₂ de 2,5 mg/cm² ;

20 -un disque médian de la couche 42 présentant un chargement surfacique moyen en IrO₂ de 1,4 mg/cm² ;

-une bande intermédiaire de la couche 42, positionnée entre la bande périphérique et le disque médian, présentant un chargement surfacique moyen en IrO₂ de 1,87 mg/cm² ;

25 -une répartition de matériau électrocatalytique de 30 % sur la bande périphérique, de 62 % sur la bande intermédiaire, et de 8 % sur le disque médian ;

-une couche active cathodique 41 incluant un chargement surfacique moyen en Pt sur un support carboné de 0,8 mg/cm².

30 Les figures 5 et 6 illustrent la répartition du courant à travers une anode 8 associée à une couche active 42 selon le deuxième type, respectivement lors de sa mise en service et après une centaine d'heures d'utilisation. On illustre ici différentes gammes de densité de courant en A/cm².

35 On peut noter que l'invention a permis d'obtenir une densité de courant relativement homogène pour les différentes zones, à savoir la zone médiane, la bande intermédiaire et la bande périphérique. On peut donc supposer que le vieillissement des différentes zones de l'assemblage membrane/électrodes sera également homogène. L'invention permet notamment d'éviter la concentration du courant dans la zone médiane. L'invention permet également d'accroître la
40 densité de courant pour la zone périphérique, ce qui permet de tirer parti d'une

zone de la couche active 42 formant la majeure partie de sa surface mais étant usuellement moins performante du fait des pertes de charge que l'écoulement de fluide subit pour la rejoindre. La densité de courant moyenne à la mise en service s'est élevée à 0,405 A/cm².

5 Après vieillissement, on constate que l'homogénéité de la répartition de la densité de courant à 0.397 A/cm² n'est pas altérée. Ce qui démontre l'intérêt de la structuration de la couche active pour minimiser les phénomènes de dégradation de l'AME..

10 La cellule électrochimique 2 comprend avantageusement un élément de diffusion d'écoulement 6 disposé entre l'assemblage membrane/électrodes 4 et l'anode 8.

La figure 7 est une vue en coupe schématique d'une structure pour un premier exemple d'élément de diffusion d'eau 6. L'élément de diffusion d'eau 6
15 comprend ici une superposition de plusieurs grilles 61 à 63 et d'une couche poreuse 64. La couche poreuse 64 est positionnée en contact avec la couche 42, la grille 61 étant placée en contact avec l'anode 8. Dans cet exemple, on a superposé trois grilles 61 à 63. Les grilles 61 à 63 présentent des mailles relativement larges, avec une largeur au moins égale à 1 mm. Les grilles 61 à 63
20 ont pour rôle de répartir l'eau dans le volume. La couche poreuse 64 peut par exemple présenter des pores d'une dimension comprise entre 10 et 50 µm, avec une porosité comprise entre 30 et 50 %. La couche poreuse 64 est destinée à permettre une répartition fine de l'eau vers la couche 42. La couche poreuse 64 est en outre destinée à évacuer les gaz produits, et permettre un contact
25 électrique le plus homogène possible. On peut également envisager de superposer plusieurs couches poreuses 64 avec des porosités différentes, afin de créer un gradient de porosité. Les grilles 61 à 63 et la couche poreuse 64 sont conductrices électriquement. L'épaisseur de cet élément de diffusion d'eau 6 peut par exemple être comprise entre 1 et 3 mm.

30

La figure 8 est une vue en coupe schématique d'une autre structure pour un deuxième exemple d'élément de diffusion d'eau 6. L'élément de diffusion d'eau 6 est ici sous la forme d'un guide d'écoulement d'eau. L'élément 6 est formé d'un seul tenant. L'élément 6 comporte des parois 64, délimitant des canaux
35 d'écoulement 63. Les canaux d'écoulement 63 sont parallèles à la droite X, et permettent ainsi de guider un écoulement de fluide du collecteur 81 vers le collecteur 82. La profondeur des canaux d'écoulement 63 est par exemple comprise entre 1 et 3 mm.

REVENDICATIONS

1. Dispositif d'électrolyse de l'eau (1), comportant :
 - un assemblage membrane/électrodes (4), comprenant une membrane échangeuse de protons (43) et une couche active anodique (42) incluant un matériau électrocatalytique et disposée sur une face de ladite membrane échangeuse de protons (43) ;
 - un collecteur d'entrée d'eau (81) ;
 - un collecteur de sortie d'oxygène (82), une droite (X) reliant le collecteur d'entrée d'eau (81) au collecteur de sortie d'oxygène (82) s'étendant selon une direction générale d'écoulement ;
 - une anode (8) en vis-à-vis de la couche active anodique (42), présentant une extrémité en communication avec le collecteur d'entrée d'eau (81) et une autre extrémité en communication avec le collecteur de sortie d'oxygène (82) ;
 - caractérisé en ce que :
 - dans une section selon une normale à ladite droite (X), l'anode (8) présente des points (A, B) ayant chacun une distance cumulée avec le collecteur d'entrée d'eau (81) et avec le collecteur de sortie d'oxygène (82), la distance cumulée pour un premier point (A) en périphérie de l'anode (8) étant supérieure d'au moins 10% à la distance cumulée d'un deuxième point (B) positionné sur ladite droite (X) ;
 - le chargement surfacique de la couche active anodique (42) en matériau électrocatalytique au niveau du premier point étant au moins 10% supérieure à son chargement surfacique au niveau du deuxième point.
2. Dispositif (1) selon la revendication 1, dans lequel le matériau électrocatalytique de la couche active anodique (42) inclut de l'IrO₂ à plus de 50 % en masse dans l'extrait sec de cette couche active anodique.
3. Dispositif (1) selon la revendication 1, dans lequel le matériau électrocatalytique de la couche active anodique (42) inclut de IrO₂X avec X= Ru ou Sn, à plus de 50 % en masse dans l'extrait sec de cette couche active anodique.
4. Dispositif (1) selon la revendication 2 ou 3, dans lequel ladite couche active anodique (42) inclut un chargement surfacique moyen d'IrO₂ compris entre 1 et 3mg/cm².
5. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite membrane échangeuse de protons (43) présente une épaisseur au moins égale à 100 µm.

6. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la distance cumulée pour le premier point (A) est supérieure d'au moins 20 % à la distance cumulée pour le deuxième point (B).
- 5 7. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'anode (8) présente une forme circulaire.
8. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite couche active anodique (42) inclut une matrice en matériau polymère dans lequel le matériau électrocatalytique est enrobé.
- 10 9. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre un élément perméable (6) de diffusion d'eau positionné entre la couche active anodique (42) et l'anode (8).
- 15 10. Dispositif (1) selon la revendication 9, dans lequel ledit élément perméable (6) comprend un empilement de plusieurs grilles et d'une couche poreuse.
- 20 11. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, comprenant un guide d'écoulement disposé entre l'anode (8) et la couche active anodique (42), le guide d'écoulement définissant des canaux d'écoulement entre le collecteur d'entrée d'eau (81) et le collecteur de sortie d'oxygène (82).
- 25 12. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite couche active anodique (42) est dépourvue de support carboné.
- 30 13. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre :
 - une couche active cathodique (41) disposée sur une face de ladite membrane échangeuse de protons (43) opposée à la couche active anodique (42) ;
 - une cathode (7) en vis-à-vis de la couche active cathodique (41), la cathode et l'anode étant conductrices électriquement ;
 - un circuit d'alimentation (3) configuré pour appliquer une différence de potentiel entre l'anode et la cathode.
- 35

Fig. 1

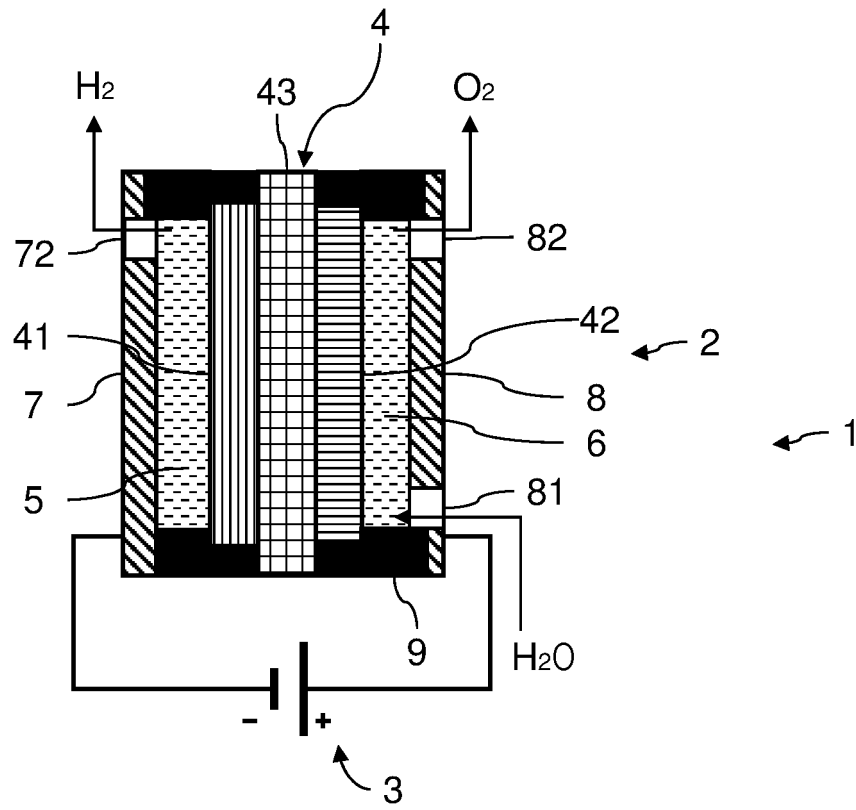


Fig. 2

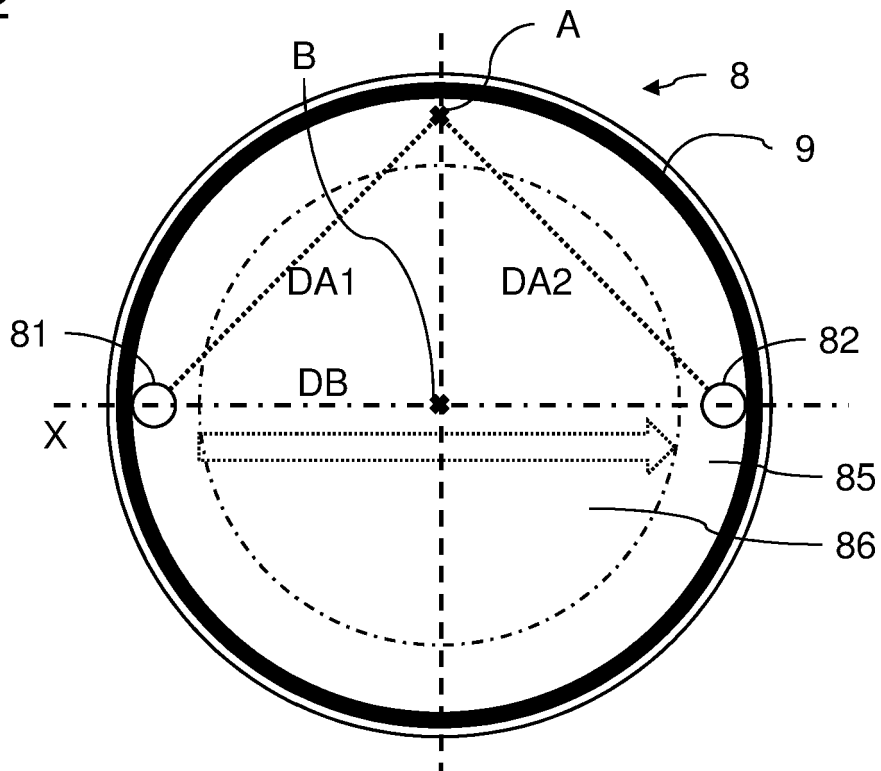


Fig. 3

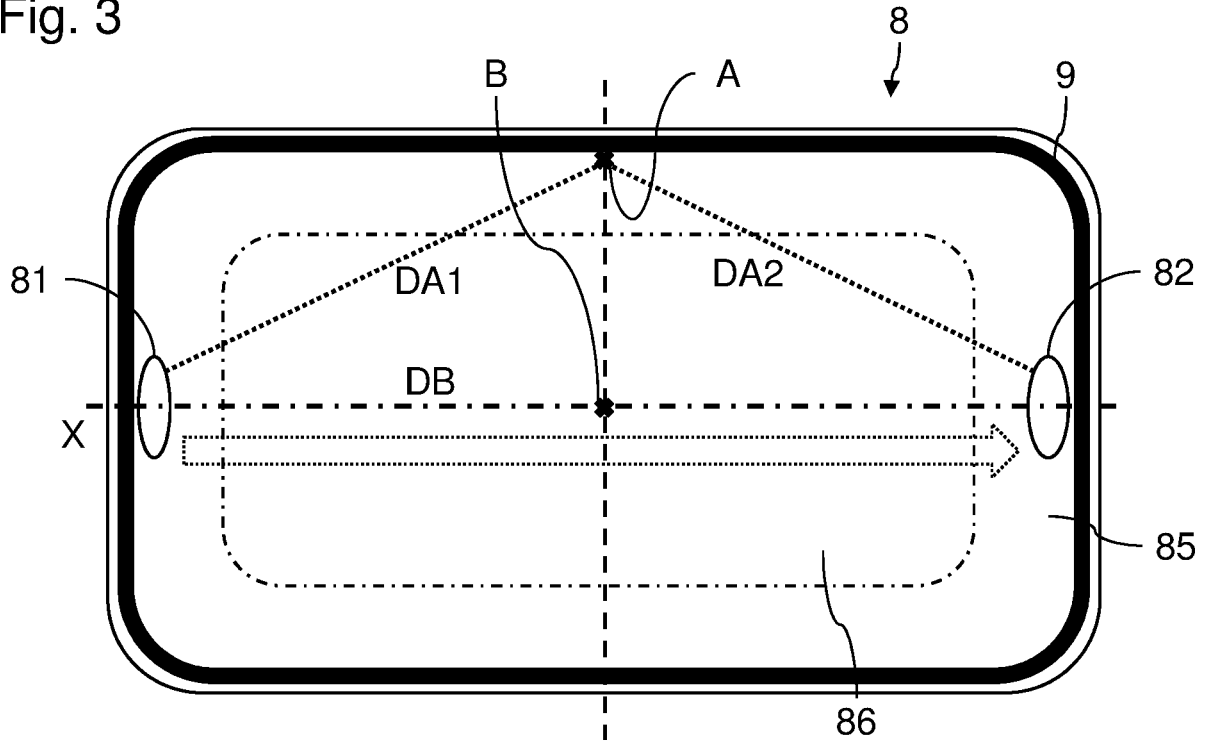


Fig. 4

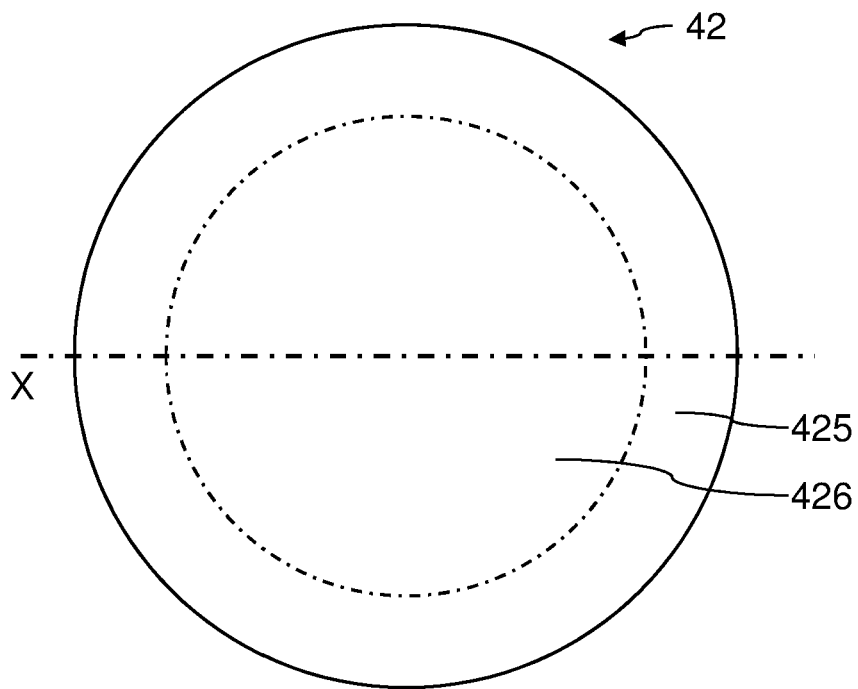


Fig. 5

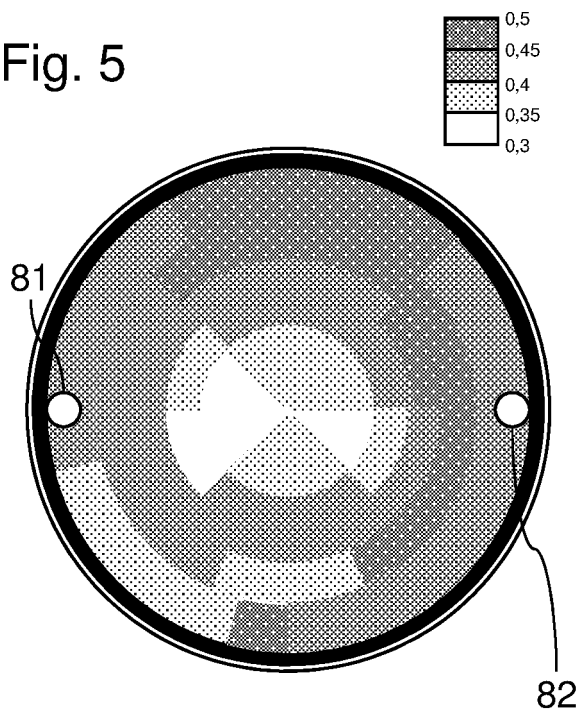


Fig. 6

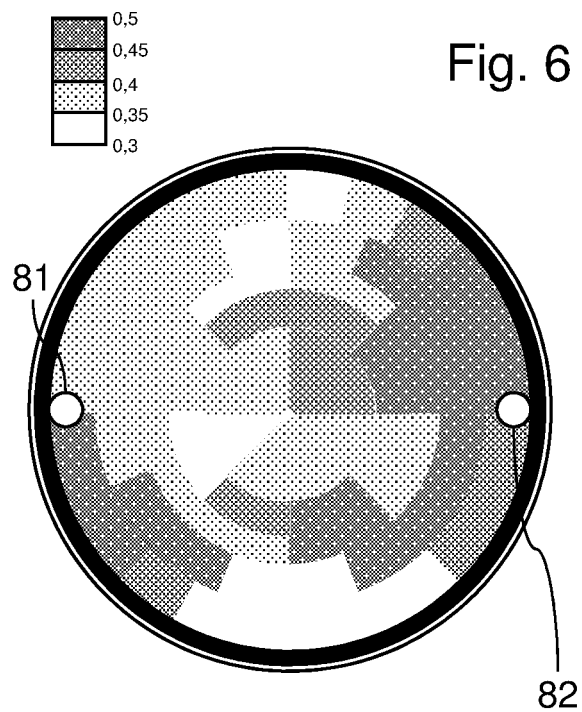


Fig. 7

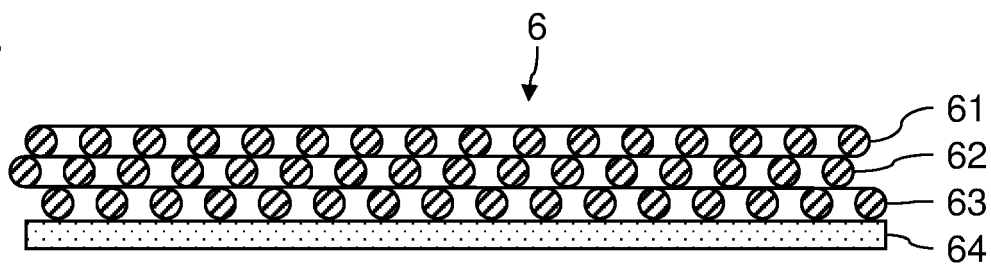
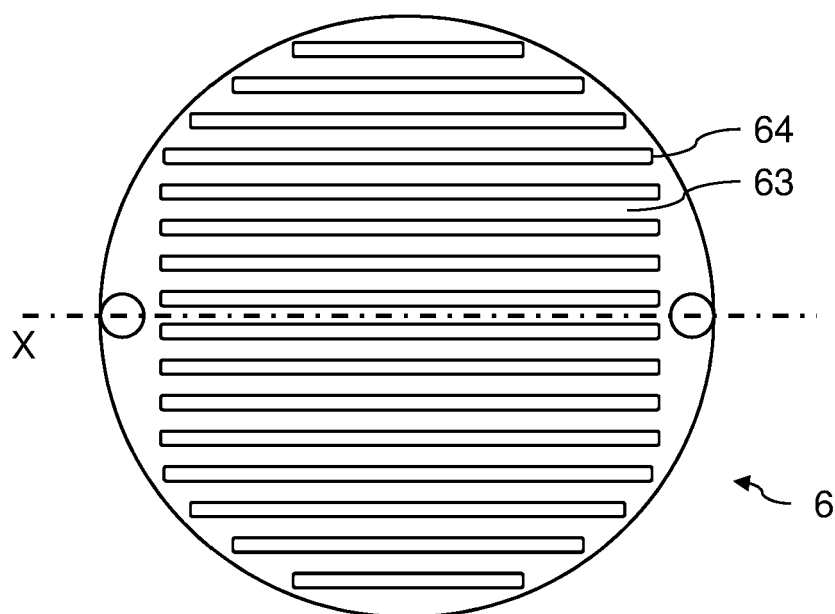


Fig. 8



RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

NEANT

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

US 2008/264780 A1 (KATO MASAOKI [JP] ET AL) 30 octobre 2008 (2008-10-30)

US 2017/044678 A1 (VINCENT REMI [FR] ET AL) 16 février 2017 (2017-02-16)

US 7 901 549 B2 (GEN ELECTRIC [US]) 8 mars 2011 (2011-03-08)

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

NEANT