

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 29.07.14.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 05.02.16 Bulletin 16/05.

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 — FR.

⑦2 Inventeur(s) : VINCENT REMI et POIROT-CROUVE-
ZIER JEAN-PHILIPPE.

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

⑦4 Mandataire(s) : OPILEX Société à responsabilité limi-
tée.

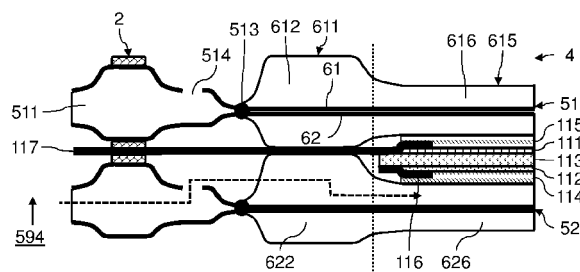
⑤4 REACTEUR ELECTROCHIMIQUE EQUILIBRANT LES PERTES DE CHARGE DES ZONES
D'HOMOGENEISATION CATHODE/ANODE.

⑤7 L'invention concerne un réacteur électrochimique (4)
comprenant:

-un assemblage membrane/électrodes (110), au moins
un premier renfort (116) fixé à une des faces de la mem-
brane et entourant soit l'anode, soit la cathode;

-une plaque bipolaire conductrice (52) traversée par un
premier collecteur d'écoulement (594), une première face
comportant des canaux d'écoulement (616) d'une zone
réactive cathodique (615) et comportant des canaux d'ho-
mogénéisation cathodiques (612) mettant en communica-
tion la zone réactive cathodique (615) avec le premier
collecteur (594);

-au moins un élément parmi ladite membrane et ledit
premier renfort ne recouvrant pas les canaux d'homogénéi-
sation cathodiques (612), et la profondeur des canaux d'ho-
mogénéisation cathodiques étant supérieure à la
profondeur des canaux d'écoulement (616) de la zone réac-
tive cathodique (615).



REACTEUR ELECTROCHIMIQUE EQUILIBRANT LES PERTES DE CHARGE DES ZONES D'HOMOGENEISATION CATHODE/ANODE

L'invention concerne les réacteurs électrochimiques incluant un empilement de cellules électrochimiques, et plus particulièrement un
5 empilement incluant des plaques bipolaires et des membranes échangeuses de protons. De tels réacteurs électrochimiques constituent par exemple des piles à combustible ou des électrolyseurs.

Les piles à combustible sont notamment envisagées comme source d'énergie pour des véhicules automobiles produits à grande échelle dans le futur
10 ou comme sources d'énergie auxiliaire dans l'aéronautique. Une pile à combustible est un dispositif électrochimique qui convertit de l'énergie chimique directement en énergie électrique. Une pile à combustible comprend un empilement en série de plusieurs cellules. Chaque cellule génère typiquement une tension de l'ordre de 1 Volt, et leur empilement permet de générer une
15 tension d'alimentation d'un niveau plus élevé, par exemple de l'ordre d'une centaine de volts.

Parmi les types de piles à combustible connus, on peut notamment citer la pile à combustible à membrane d'échange de protons, dite PEM, fonctionnant à basse température. De telles piles à combustible présentent des propriétés de
20 compacité particulièrement intéressantes. Chaque cellule comprend une membrane électrolytique permettant seulement le passage de protons et non le passage des électrons. La membrane comprend une anode sur une première face et une cathode sur une deuxième face pour former un assemblage membrane/électrodes dit AME.

25 Au niveau de l'anode, du dihydrogène utilisé comme carburant est ionisé pour produire des protons traversant la membrane. La membrane forme ainsi un conducteur ionique. Les électrons produits par cette réaction migrent vers une plaque d'écoulement, puis traversent un circuit électrique externe à la cellule pour former un courant électrique. Au niveau de la cathode, de l'oxygène est
30 réduit et réagit avec les protons pour former de l'eau.

La pile à combustible peut comprendre plusieurs plaques dites bipolaires, par exemple en métal, empilées les unes sur les autres. La membrane est disposée entre deux plaques bipolaires. Les plaques bipolaires peuvent comprendre des canaux et orifices d'écoulement pour guider en continu les
35 réactifs et les produits vers/depuis la membrane. Les plaques bipolaires comprennent aussi des canaux d'écoulement pour guider du liquide de refroidissement évacuant la chaleur produite. Les produits de réactions et les espèces non réactives sont évacués par entraînement par l'écoulement jusqu'à la sortie des réseaux de canaux d'écoulement. Les canaux d'écoulement des

différents écoulements sont séparés par l'intermédiaire des plaques bipolaires notamment.

Les plaques bipolaires sont également électriquement conductrices pour collecter des électrons générés au niveau de l'anode. Les plaques bipolaires ont également une fonction mécanique de transmission des efforts de serrage de l'empilement, nécessaire à la qualité du contact électrique. Des couches de diffusion gazeuse sont interposées entre les électrodes et les plaques bipolaires et sont en contact avec les plaques bipolaires.

Une conduction électronique est réalisée à travers les plaques bipolaires, une conduction ionique étant obtenue à travers la membrane.

On distingue principalement trois modes de circulation des réactifs dans les canaux d'écoulement:

- les canaux en serpentin: un ou plusieurs canaux parcourent l'ensemble de la surface active en plusieurs allers-retours.
- les canaux parallèles: un faisceau de canaux parallèles et traversants parcourt la surface active de part en part. Les canaux d'écoulement peuvent être rectilignes ou légèrement ondulés.
- les canaux interdigités: un faisceau de canaux parallèles et bouchés parcourt la surface active de part en part. Chaque canal est bouché soit du côté de l'entrée, soit du côté de la sortie de fluide. Le fluide entrant dans un canal est alors contraint à traverser localement la couche de diffusion gazeuse pour rejoindre un canal adjacent et ensuite atteindre la sortie de fluide de ce canal adjacent.

Pour favoriser la compacité et les performances, la conception implique de réduire les dimensions des canaux d'écoulement. Le mode de circulation par canaux parallèles est alors favorisé, pour limiter les pertes de charge dans de tels canaux d'écoulement de dimensions réduites, et éviter des problèmes d'écoulement de liquide de refroidissement pouvant conduire à des points chauds.

Avec des canaux d'écoulement parallèles, la distribution des réactifs aux électrodes doit être la plus homogène possible sur toute leur surface, sous peine d'altérer le fonctionnement du réacteur électrochimique. A cet effet, les plaques bipolaires comportant des canaux d'écoulement parallèles utilisent fréquemment des zones d'homogénéisation pour raccorder des collecteurs d'entrée et de sortie aux différents canaux d'écoulement des plaques bipolaires. Les réactifs sont amenés au contact des électrodes à partir de collecteurs d'entrée et les produits sont évacués à partir de collecteurs de sortie connectés aux différents canaux d'écoulement. Les collecteurs d'entrée et les collecteurs

de sortie traversent généralement l'épaisseur de l'empilement de part en part. Les collecteurs d'entrée et de sortie sont usuellement obtenus par :

- des orifices respectifs traversant chaque plaque bipolaire à sa périphérie ;
- 5 -des orifices respectifs traversant chaque membrane à sa périphérie ;
- par des joints, chacun interposé entre une plaque bipolaire et une membrane. Chaque joint entoure un orifice de sa membrane et un orifice de sa plaque bipolaire. La surface de contact avec une membrane est généralement plane pour bien maintenir cette membrane souple.
- 10 Différentes solutions techniques sont connues pour mettre en communication les collecteurs d'entrée et de sortie avec les différents canaux d'écoulement. Il est notamment connu de réaliser des passages entre deux tôles métalliques d'une plaque bipolaire. Ces passages débouchent d'une part dans des orifices de collecteurs respectifs, et d'autre part dans des orifices d'injection.
- 15 Une zone d'homogénéisation comprend des canaux qui mettent en communication des orifices d'injection avec des canaux d'écoulement.

La zone d'homogénéisation comprend : une zone de transfert de fluide de refroidissement, une zone d'homogénéisation de circuit de comburant et une zone d'homogénéisation de circuit de carburant superposées et débouchant
20 respectivement vers un collecteur de liquide de refroidissement, un collecteur de circuit de comburant et un collecteur de circuit de carburant.

En pratique, avec du dihydrogène comme carburant circulant à l'anode et du dioxygène comme comburant dans de l'air circulant à la cathode, une très grande disparité de pertes de charge apparaît entre les deux écoulements pour
25 de mêmes circuits d'écoulement dans les zones d'homogénéisation et dans les canaux d'écoulement de la zone réactive. Le rapport de pertes de charge entre l'écoulement de dihydrogène et d'air est alors généralement compris entre 2 à 10. D'une part, le dihydrogène est généralement moins visqueux que l'air incluant le dioxygène, et d'autre part son débit est plus faible. Les pertes de
30 charge dans l'écoulement d'air peuvent ainsi être très pénalisantes pour les performances du réacteur.

Par ailleurs, en présence de zones d'homogénéisation, on constate que celles-ci génèrent une partie non négligeable des pertes de charge dans les écoulements, en particulier dans des conceptions visant à réduire
35 l'encombrement de ces zones d'homogénéisation qui ne participent pas ou participent seulement en partie à la réaction électrochimique.

L'invention vise à résoudre un ou plusieurs de ces inconvénients. L'invention porte ainsi sur un réacteur électrochimique, comprenant un

empilement de cellules électrochimiques incluant un réacteur électrochimique, comprenant:

- un assemblage membrane/électrodes incluant une membrane échangeuse de protons, une anode sur une première face de la membrane, une cathode sur une deuxième face de la membrane, au moins un premier renfort fixé à une des faces de la membrane et entourant soit l'anode, soit la cathode;
- une plaque bipolaire conductrice traversée par un premier collecteur d'écoulement, une première face comportant des canaux d'écoulement d'une zone réactive cathodique et comportant des canaux d'homogénéisation cathodiques mettant en communication la zone réactive cathodique avec le premier collecteur ;
- au moins un élément parmi ladite membrane et ledit premier renfort ne recouvrant pas les canaux d'homogénéisation cathodiques, et la profondeur des canaux d'homogénéisation cathodiques étant supérieure à la profondeur des canaux d'écoulement de la zone réactive cathodique.

Selon une variante, le premier renfort entoure la cathode, le réacteur comprenant en outre un deuxième renfort fixé à la première face de la membrane et entourant l'anode, au moins deux éléments parmi ladite membrane et lesdits premier et deuxième renforts ne recouvrant pas les canaux d'homogénéisation cathodiques.

Selon encore une variante, les canaux d'écoulement de la zone réactive cathodique s'étendent selon une même direction.

Selon une autre variante, le réacteur électrochimique comprend en outre une couche de diffusion gazeuse en contact avec ladite cathode.

Selon encore une autre variante, la différence de profondeur entre les canaux d'homogénéisation cathodiques et les canaux d'écoulement de la zone réactive cathodique est au moins égale à la somme de l'épaisseur de la couche de diffusion gazeuse et de l'épaisseur dudit élément ne recouvrant pas les canaux d'homogénéisation cathodiques.

Selon une variante, la différence de profondeur entre les canaux d'homogénéisation cathodiques et les canaux d'écoulement de la zone réactive cathodique est au moins égale à la somme de l'épaisseur de la couche de diffusion gazeuse et des épaisseurs desdits deux éléments ne recouvrant pas les canaux d'homogénéisation cathodiques.

Selon encore une variante, ladite plaque bipolaire est traversée par un deuxième collecteur d'écoulement, une deuxième face de la plaque bipolaire comportant des canaux d'écoulement d'une zone réactive anodique et comportant des canaux d'homogénéisation anodiques mettant en communication la zone réactive anodique avec le deuxième collecteur, la

profondeur des canaux d'homogénéisation cathodiques étant supérieure à la profondeur des canaux d'homogénéisation anodiques.

Selon une autre variante, la différence de profondeur entre les canaux d'homogénéisation cathodiques et les canaux d'homogénéisation anodiques est au moins égale à l'épaisseur dudit élément ne recouvrant pas les canaux d'homogénéisation cathodiques.

Selon encore une autre variante, la différence de profondeur entre les canaux d'homogénéisation cathodiques et les canaux d'homogénéisation anodiques est au moins égale à la somme des épaisseurs desdits éléments ne recouvrant pas les canaux d'homogénéisation cathodique.

Selon une variante, des canaux d'écoulement de liquide de refroidissement sont ménagés à l'intérieur de ladite plaque bipolaire.

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

- la figure 1 est une vue en perspective éclatée d'un exemple d'empilement d'assemblages membrane/électrodes et de plaques bipolaires pour une pile à combustible;
- la figure 2 est une vue en perspective éclatée de plaques bipolaires et d'un assemblage membrane/électrodes destinés à être empilés pour former des collecteurs d'écoulement à travers l'empilement ;
- la figure 3 est une vue partielle de dessous d'une tôle d'un exemple de plaque bipolaire ;
- la figure 4 est une vue schématique en coupe suivant un parcours d'écoulement pour un empilement incluant des plaques bipolaires selon un exemple de mise en œuvre de l'invention ;
- la figure 5 est une vue en coupe d'une plaque bipolaire de l'empilement de la figure 4 ;
- la figure 6 est une vue en coupe transversale d'un empilement selon la figure 4 au niveau de zones d'homogénéisation ;
- la figure 7 est une vue de dessus d'un exemple de renfort ne recouvrant pas de zone d'homogénéisation.

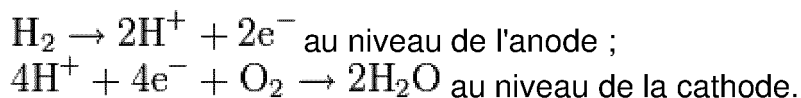
La figure 1 est une vue en perspective éclatée schématique d'un empilement de cellules 1 d'une pile à combustible 4. La pile à combustible 4 comprend plusieurs cellules 1 superposées. Les cellules 1 sont du type à membrane échangeuse de protons ou membrane à électrolyte polymère.

La pile à combustible 4 comprend une source de carburant 40. La source de carburant 40 alimente ici en dihydrogène une entrée de chaque cellule 1. La pile à combustible 4 comprend également une source de comburant 42. La source de comburant 42 alimente ici en air une entrée de chaque cellule 1, l'oxygène de l'air étant utilisé comme oxydant. Chaque cellule 1 comprend également des canaux d'échappement. Une ou plusieurs cellules 1 présentent également un circuit de refroidissement.

Chaque cellule 1 comprend un assemblage membrane/électrodes 110 ou AME 110. Un assemblage membrane/électrodes 110 comprend un électrolyte 113, une cathode 112 et une anode (non illustrée) placées de part et d'autre de l'électrolyte et fixées sur cet électrolyte 113. La couche d'électrolyte 113 forme une membrane semi-perméable permettant une conduction protonique tout en étant imperméable aux gaz présents dans la cellule. La couche d'électrolyte empêche également un passage des électrons entre l'anode et la cathode 112.

Entre chaque couple d'AME adjacents, une plaque bipolaire 5 est disposée. Chaque plaque bipolaire 5 définit des canaux d'écoulement anodiques et des canaux d'écoulement cathodiques. Des plaques bipolaires 5 définissent également des canaux d'écoulement de liquide de refroidissement entre deux assemblages membrane/électrodes successifs.

De façon connue en soi, durant le fonctionnement de la pile à combustible 4, de l'air s'écoule entre une AME et une plaque bipolaire 5, et du dihydrogène s'écoule entre cette AME et une autre plaque bipolaire 5. Au niveau de l'anode, le dihydrogène est ionisé pour produire des protons qui traversent l'AME. Les électrons produits par cette réaction sont collectés par une plaque bipolaire 5. Les électrons produits sont ensuite appliqués sur une charge électrique connectée à la pile à combustible 1 pour former un courant électrique. Au niveau de la cathode, de l'oxygène est réduit et réagit avec les protons pour former de l'eau. Les réactions au niveau de l'anode et de la cathode sont régies comme suit :



Durant son fonctionnement, une cellule de la pile à combustible génère usuellement une tension continue entre l'anode et la cathode de l'ordre de 1V.

La figure 2 est une vue en perspective éclatée schématique de deux plaques bipolaires 5 et d'un assemblage membrane/électrodes destinés à être inclus dans l'empilement de la pile à combustible 4. L'empilement des plaques

bipolaires 5 et des assemblages membrane/électrodes 110 est destiné à former une pluralité de collecteurs d'écoulement, dont la disposition est illustrée ici uniquement de manière schématique. À cet effet, des orifices respectifs sont ménagés à travers les plaques bipolaires 5 et à travers les assemblages

5 membrane/électrodes 110. Les plaques bipolaires 5 comportent ainsi des orifices 591, 593 et 595 au niveau d'une première extrémité, et des orifices 592, 594 et 596 au niveau d'une deuxième extrémité opposée à la première. L'orifice 591 sert par exemple pour former un collecteur d'alimentation en carburant, l'orifice 596 sert par exemple pour former un collecteur d'évacuation de résidus

10 de combustion, l'orifice 595 sert par exemple pour former un collecteur d'alimentation en liquide de refroidissement, l'orifice 592 sert par exemple pour former un collecteur d'évacuation de liquide de refroidissement, l'orifice 594 sert par exemple pour former un collecteur d'alimentation en comburant, et l'orifice 593 sert par exemple pour former un collecteur d'évacuation d'eau.

15 Les orifices des plaques bipolaires 5 et des assemblages membrane/électrodes 110 sont disposés en vis-à-vis afin de former les différents collecteurs d'écoulement. Des orifices 12, 14 et 16 sont par exemple ménagés dans les assemblages membrane/électrodes 110 et sont disposés en vis-à-vis respectivement des orifices 592, 594 et 596. Dans un but de

20 simplification, l'orifice 594 sera assimilé à un collecteur d'alimentation en comburant.

La figure 3 est une vue schématique partielle de dessous d'une tôle 61 d'un exemple de mise en œuvre d'une plaque bipolaire 5 selon l'invention, au niveau des collecteurs 592, 594 et 596. La figure 4 est une vue en coupe d'un

25 empilement incluant des plaques bipolaires 51 et 52 identiques à la plaque 5. Une membrane 113 d'un assemblage membrane/électrodes est disposée entre les plaques bipolaires 51 et 52. La vue en coupe suit ici le trajet d'écoulement de comburant entre des canaux d'écoulement cathodiques et le collecteur 594. Un exemple de plaque bipolaire 5 est davantage détaillé dans la vue en coupe

30 de la figure 5.

Chacune des plaques bipolaires 5, 51 et 52 illustrées inclut deux tôles conductrices 61 et 62 solidarisées. Les tôles conductrices 61 et 62 sont avantageusement (mais non limitativement) réalisées en acier inoxydable, matériau très courant et adapté à de nombreux procédés de transformation

35 industriels largement répandus, par exemple l'emboutissage, l'estampage et/ou le poinçonnage. Les tôles conductrices 61 et 62 sont ici solidarisées par l'intermédiaire de soudures 513.

De façon connue en soi, les différents collecteurs traversant l'empilement communiquent avec des zones d'injection respectives. Dans l'exemple illustré à

la figure 3, le collecteur 596 communique avec une zone d'injection 586, le collecteur 594 communique avec une zone d'injection 584 et le collecteur 592 communique avec une zone d'injection 582. Chaque zone d'injection comporte des orifices d'injection respectifs en communication avec des canaux d'écoulement respectifs. Les zones d'injection 586, 584 et 582 sont décalées latéralement de façon à pouvoir loger plusieurs collecteurs au niveau d'une même extrémité d'une plaque bipolaire.

Des orifices d'injection 512 sont ménagés dans la tôle 62 dans la zone d'injection 586. Des orifices d'injection 514 sont ménagés dans la tôle 61 dans la zone d'injection 584. Comme illustré à la figure 4, les orifices 514 communiquent avec le collecteur 594 notamment par l'intermédiaire d'un passage 511 traversant des nervures de support de joints 2. Les nervures de support et les joints 2 entourent le collecteur 594.

Des communications de fluide non détaillées et non illustrées sont également ménagées d'une part entre le collecteur 596 et la zone d'injection 586, et d'autre part entre le collecteur 592 et la zone d'injection 582.

Les tôles conductrices 61 et 62 sont en relief, de façon à ménager des canaux d'écoulement de fluide au niveau des faces externes de chaque plaque bipolaire, et avantageusement entre les tôles conductrices 61 et 62 à l'intérieur de chacune de ces plaques bipolaires. La tôle conductrice 61 comporte une zone réactive 615 et une zone d'homogénéisation 611 sur sa face externe. La zone réactive 615 comporte des canaux d'écoulement 616. La zone d'homogénéisation 611 comporte des canaux d'homogénéisation 612 mettant en communication la zone d'injection 584 avec la zone réactive 615, comme illustré par la flèche en trait discontinu.

La tôle conductrice 62 comporte une zone réactive 625 et une zone d'homogénéisation 621 sur sa face externe. La zone réactive 625 comporte des canaux d'écoulement 626. La zone d'homogénéisation 621 comporte des canaux d'homogénéisation 622 mettant en communication la zone d'injection 586 avec les canaux d'écoulement 626.

Une zone d'homogénéisation se différencie généralement d'une zone réactive par l'absence d'électrode surplombant cette zone d'homogénéisation dans l'assemblage membrane-électrodes 110, et/ou par la présence de canaux d'homogénéisation présentant une déviation latérale par rapport aux canaux d'écoulement de la zone réactive, de façon à rendre la zone d'homogénéisation plus compacte. La fonction d'une zone d'homogénéisation est notamment de limiter les différences de débits entre les différents canaux d'écoulement de sa zone réactive respective et d'homogénéiser les pertes de charge pour les différents chemins d'écoulement possibles.

L'assemblage membrane/électrodes 110 comporte ici un renfort 116 entourant la cathode 112 et fixé à la membrane 113. Le renfort 116 comporte une ouverture médiane libérant un accès à la cathode 112. Une couche de diffusion gazeuse 114 est ici positionnée en contact avec la cathode 112 à travers cette ouverture médiane. Dans cet exemple, l'assemblage membrane/électrodes 110 comporte également un renfort 117 entourant l'anode 111 est fixée à la membrane 113. Le renfort 117 comporte une ouverture médiane libérant un accès à l'anode 111. Une couche de diffusion gazeuse 115 est ici positionnée en contact avec l'anode 111 à travers cette ouverture médiane.

La ligne en pointillés illustre la limite entre les zones réactives 615,625 et les zones d'homogénéisation 611,621. Selon l'invention, au moins un renfort ou la membrane 113 ne s'étend pas jusque dans les zones d'homogénéisation 611,621 et ne recouvre donc pas les canaux d'homogénéisation 612,622.

Ainsi, l'épaisseur de l'assemblage membrane/électrodes 110 recouvrant les zones d'homogénéisation 611 et 621 est inférieure à l'épaisseur de cet assemblage membrane/électrodes 110 au niveau d'une superposition entre la membrane 113 et les renforts 116 et 117.

Dans l'exemple illustré, deux éléments parmi la membrane 110 et les renforts 116 et 117 ne s'étendent pas jusque dans les zones d'homogénéisation 611,621. En particulier, la membrane 113 et le renfort 116 ne s'étendent pas jusque dans les zones d'homogénéisation 611,621.

Ainsi, l'épaisseur de l'assemblage membrane/électrodes 110 recouvrant les zones d'homogénéisation 611 et 621 est encore davantage réduite par rapport à la superposition entre la membrane 113 et des renforts 116 et 117.

Par conséquent, la profondeur des canaux d'homogénéisation 612 peut être accrue, de façon à réduire les pertes de charges de l'écoulement traversant la zone d'homogénéisation 611. Comme illustré à la figure 5, la profondeur des canaux d'homogénéisation 612 (illustrée par le paramètre h_h) est supérieure à la profondeur des canaux d'écoulement 616 (illustrée par le paramètre h_e). Soit $\Delta h = h_h - h_e$.

La différence de profondeur entre les canaux d'homogénéisation 612 et les canaux d'écoulement 616 est au moins égale à l'épaisseur de la membrane 113 (épaisseur e_m) ou du renfort 116 (épaisseur e_{r116}) ne s'étendant pas jusque dans la zone d'homogénéisation 611 : $\Delta h \geq e_m$ ou $\Delta h \geq e_{r116}$.

La profondeur e_m est typiquement comprise entre 15 et 60 μm .

Si au moins deux éléments parmi la membrane 113 et les renforts 116 et 117 (épaisseur e_{r117}) ne s'étendent pas jusque dans la zone d'homogénéisation 611, la différence de profondeur entre les canaux

d'homogénéisation 612 et les canaux d'écoulement 616 est au moins égale à la somme de l'épaisseur de ces deux éléments : $\Delta h \geq em + er_{116}$ ou $\Delta h \geq em + er_{117}$ ou $\Delta h \geq er_{116} + er_{117}$.

Par ailleurs, en présence d'une couche de diffusion gazeuse 114 en contact avec la cathode 112, les différences de profondeur mentionnées ci-dessus sont encore accrues de l'épaisseur de la couche de diffusion gazeuse 114.

La figure 6 est une vue en coupe transversale d'un empilement au niveau des zones d'homogénéisation 611 et 621. La profondeur hh des canaux d'homogénéisation 612 est avantageusement supérieure à la profondeur hha des canaux d'homogénéisation 622, afin d'équilibrer les pertes de charge de l'écoulement cathodique et de l'écoulement anodique.

Soit $\Delta h_{ca} = hh - hha$.

En fonction des éléments qui ne recouvrent pas la zone d'homogénéisation 611, on peut prévoir $\Delta h_{ca} \geq em$ ou $\Delta h_{ca} \geq er_{116}$ ou $\Delta h_{ca} \geq er_{117}$ ou $\Delta h_{ca} \geq em + er_{116}$ ou $\Delta h_{ca} \geq em + er_{117}$ ou $\Delta h_{ca} \geq er_{116} + er_{117}$.

La profondeur hha des canaux d'homogénéisation 622 est typiquement comprise entre 200 et 500 μm . La largeur des canaux d'homogénéisation 622 et 612 (définie par leur largeur moyenne) est typiquement comprise entre 1 et 3 mm. L'épaisseur em est typiquement comprise entre 15 et 60 μm . Les épaisseurs er_{116} et er_{117} sont typiquement comprises entre 30 et 200 μm .

On peut ainsi envisager, selon les cas de figure, une différence de profondeur Δh_{ca} comprise entre 15 et 400 μm .

Par exemple, avec $em=25\mu m$, $er_{116}=50\mu m$ et $er_{117}=50\mu m$, selon l'exemple illustré à la figure 4, des simulations ont permis de constater une réduction de pertes de charge côté cathodique de 30%.

Sur la figure 6, on distingue également des canaux d'écoulement de liquide de refroidissement 515, ménagés à l'intérieur des plaques bipolaires 51 et 52.

30

La figure 7 est une vue de dessus d'un exemple de renfort 116 pour un empilement selon la figure 4. Le renfort 116 comporte une ouverture médiane traversante 121, destiné à libérer un accès à la cathode 112. Le renfort 116 comporte également des orifices traversants 122 et 123. Les orifices 122 et 123 sont disposés de part et d'autre de l'ouverture médiane 121. Les orifices 122 et 123 sont destinés à être traversés par les parois des canaux d'écoulement 612 de zones d'homogénéisation 611, ménagées de part et d'autre d'une zone réactive 615. Le renfort 116 comporte également des orifices 124, disposés de

35

part et d'autre de l'ouverture médiane 121, pour former des passages pour les collecteurs de l'empilement.

L'assemblage membrane/électrodes 110 recouvre la zone
5 d'homogénéisation 611 de la plaque 52 et la zone d'homogénéisation 622 de la plaque 51 pour séparer un écoulement cathodique d'un écoulement anodique. L'assemblage membrane/électrodes 110 s'étend ici jusqu'à des joints 2 en recouvrant des orifices d'injection 514. Dans cet exemple, seul le renfort anodique 117 de l'assemblage membrane/électrodes 110 recouvre les zones
10 d'homogénéisation.

Les canaux d'écoulement 616 et les canaux d'écoulement 626 sont ici de type parallèle et s'étendent selon une même direction. Ces différents canaux d'écoulement ne sont pas nécessairement rectilignes (ces canaux peuvent présenter une ondulation), leur direction étant définie par une droite reliant leur
15 entrée à leur sortie.

L'invention a été décrite en référence à une injection d'un carburant de type dihydrogène dans une pile à combustible. L'invention s'applique bien en entendu également à l'injection d'autres types de carburants, par exemple du
20 méthanol.

L'invention a été décrite en référence à un réacteur électrochimique de type pile à combustible à membrane échangeuse de protons. L'invention peut bien entendu également s'appliquer à d'autres types de réacteurs électrochimiques, par exemple un électrolyseur comprenant également un
25 empilement de plaques bipolaires et de membranes échangeuse de protons.

REVENDICATIONS

1. Réacteur électrochimique (4), caractérisé en ce qu'il comprend:
 - un assemblage membrane/électrodes (110) incluant une membrane échangeuse de protons (113), une anode (111) sur une première face de la membrane, une cathode (112) sur une deuxième face de la membrane, au moins un premier renfort (116) fixé à une des faces de la membrane et entourant soit l'anode, soit la cathode;
 - une plaque bipolaire conductrice (52) traversée par un premier collecteur d'écoulement (594), une première face comportant des canaux d'écoulement (616) d'une zone réactive cathodique (615) et comportant des canaux d'homogénéisation cathodiques (612) mettant en communication la zone réactive cathodique (615) avec le premier collecteur (594);
 - au moins un élément parmi ladite membrane et ledit premier renfort ne recouvrant pas les canaux d'homogénéisation cathodiques (612), et la profondeur des canaux d'homogénéisation cathodiques étant supérieure à la profondeur des canaux d'écoulement (616) de la zone réactive cathodique (615).
2. Réacteur électrochimique (4) selon la revendication 1, dans lequel le premier renfort (116) entoure la cathode (112), le réacteur comprenant en outre un deuxième renfort (117) fixé à la première face de la membrane et entourant l'anode (111), au moins deux éléments parmi ladite membrane et lesdits premier et deuxième renforts ne recouvrant pas les canaux d'homogénéisation cathodiques (612).
3. Réacteur électrochimique (4) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel les canaux d'écoulement (616) de la zone réactive cathodique (615) s'étendent selon une même direction.
4. Réacteur électrochimique (4) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre une couche de diffusion gazeuse (114) en contact avec ladite cathode (112).
5. Réacteur électrochimique (4) selon la revendication 4, dans lequel la différence de profondeur entre les canaux d'homogénéisation cathodiques (612) et les canaux d'écoulement de la zone réactive cathodique (615) est au moins égale à la somme de l'épaisseur de la couche de diffusion gazeuse (114) et de l'épaisseur dudit élément ne recouvrant pas les canaux d'homogénéisation cathodiques (612).

6. Réacteur électrochimique (4) selon les revendications 2 et 5, dans lequel la différence de profondeur entre les canaux d'homogénéisation cathodiques (612) et les canaux d'écoulement de la zone réactive cathodique (615) est au moins égale à la somme de l'épaisseur de la couche de diffusion gazeuse (114) et des épaisseurs desdits deux éléments ne recouvrant pas les canaux d'homogénéisation cathodiques (612).
5
7. Réacteur électrochimique (4) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite plaque bipolaire (52) est traversée par un deuxième collecteur d'écoulement (596), une deuxième face de la plaque bipolaire comportant des canaux d'écoulement (626) d'une zone réactive anodique (625) et comportant des canaux d'homogénéisation anodiques (622) mettant en communication la zone réactive anodique (625) avec le deuxième collecteur (596), la profondeur des canaux d'homogénéisation cathodiques (612) étant supérieure à la profondeur des canaux d'homogénéisation anodiques (622).
10
15
8. Réacteur électrochimique (4) selon la revendication 7, dans lequel la différence de profondeur entre les canaux d'homogénéisation cathodiques (612) et les canaux d'homogénéisation anodiques (622) est au moins égale à l'épaisseur dudit élément ne recouvrant pas les canaux d'homogénéisation cathodiques (612).
20
9. Réacteur électrochimique (4) selon les revendications 2 et 8, dans lequel la différence de profondeur entre les canaux d'homogénéisation cathodiques (612) et les canaux d'homogénéisation anodiques (622) est au moins égale à la somme des épaisseurs desdits éléments ne recouvrant pas les canaux d'homogénéisation cathodique (612).
25
10. Réacteur électrochimique (4) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel des canaux d'écoulement de liquide de refroidissement sont ménagés à l'intérieur de ladite plaque bipolaire (52).
30

1/3

Fig. 1

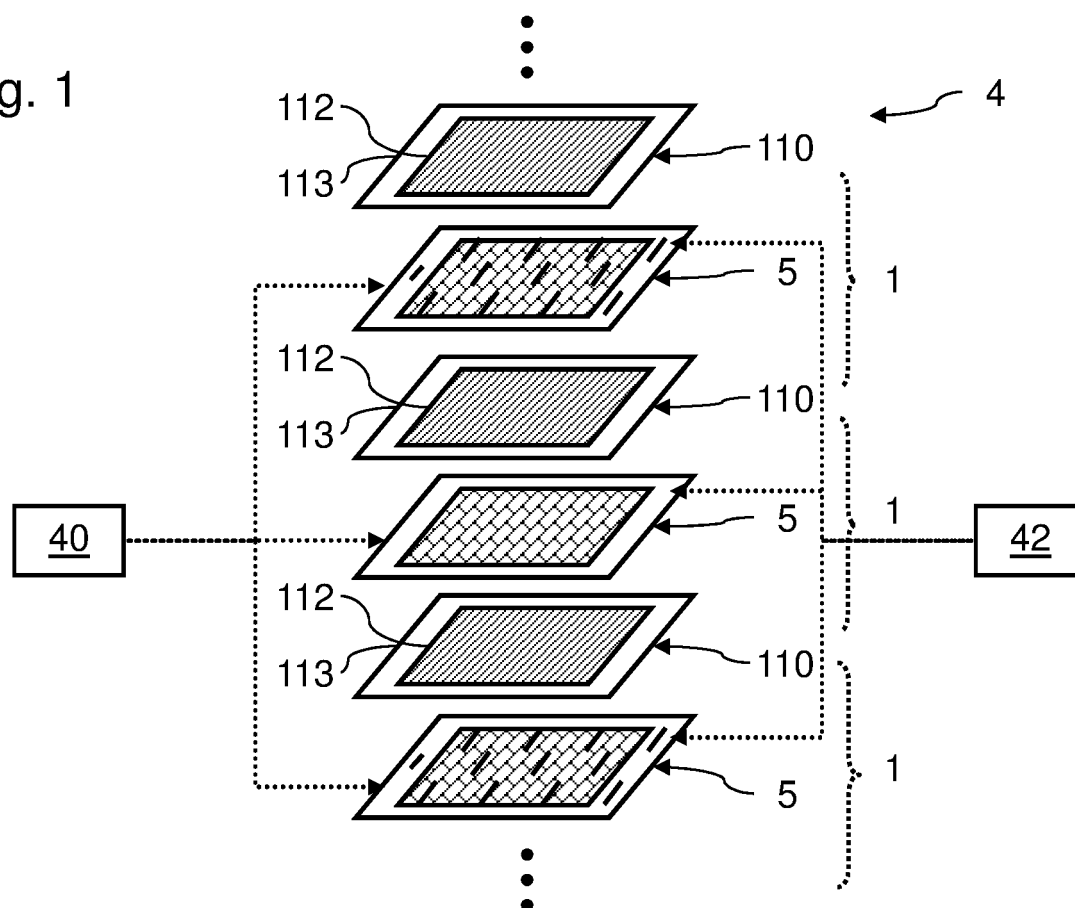
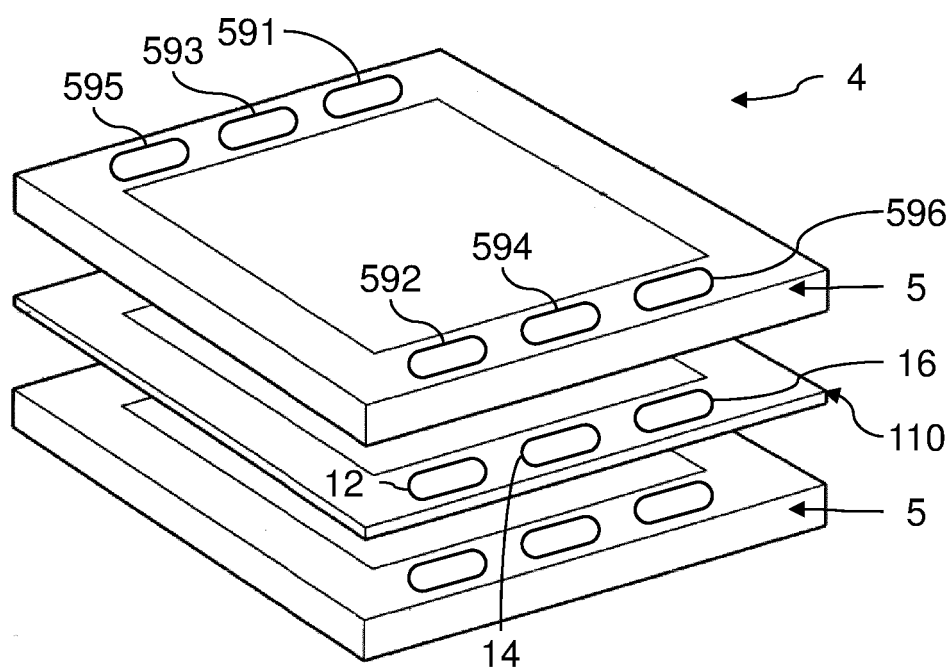


Fig. 2



2/3

Fig. 3

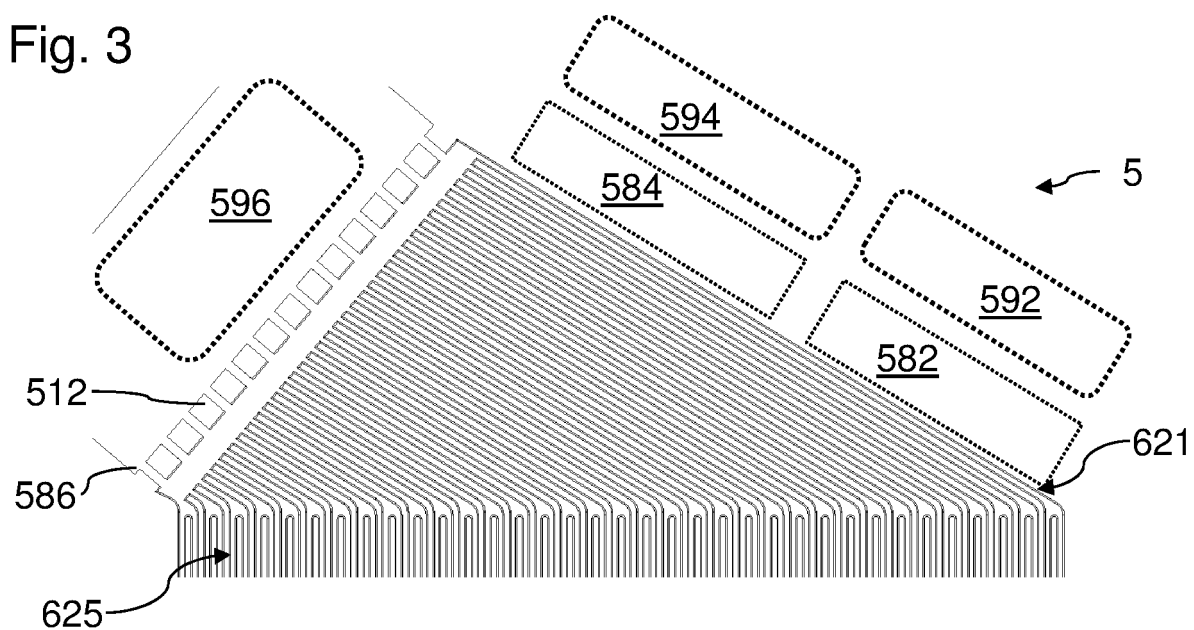


Fig. 4

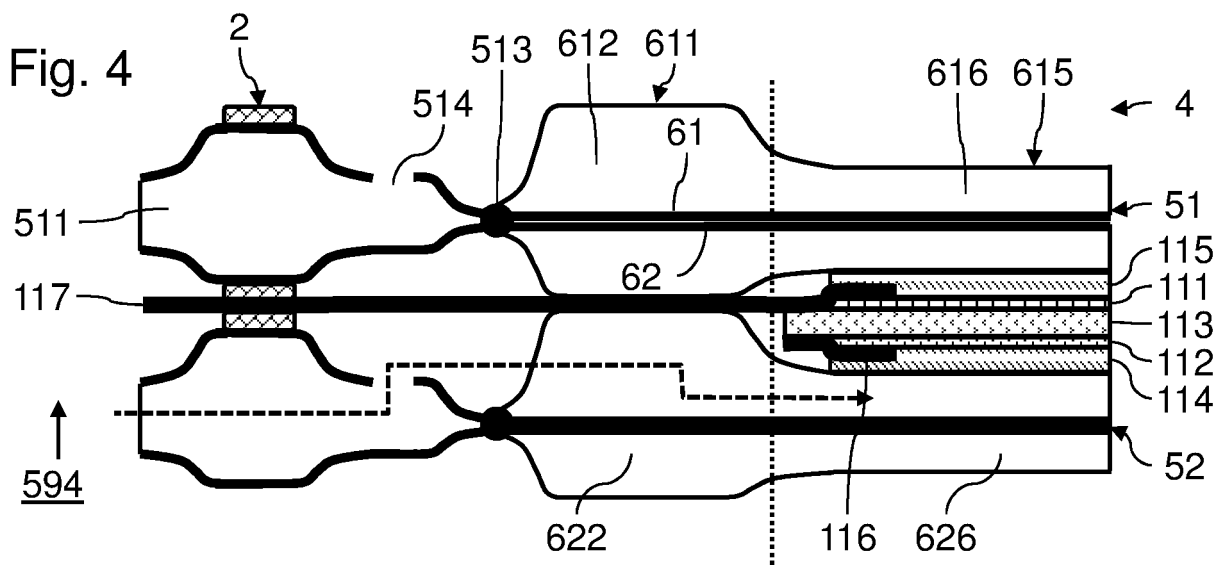


Fig. 5

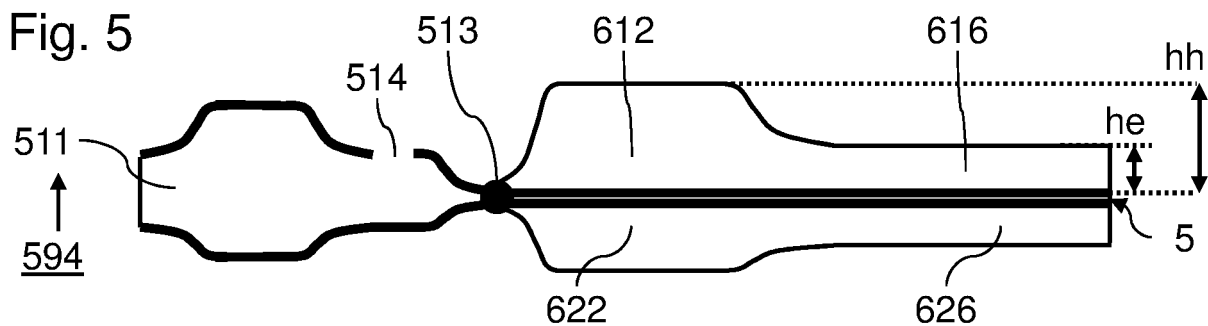


Fig. 6

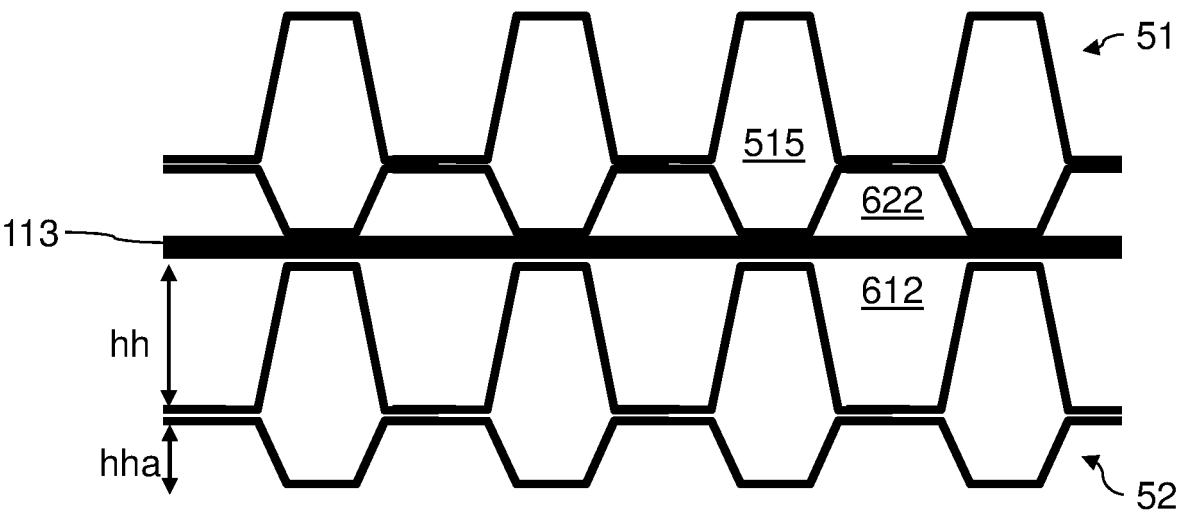
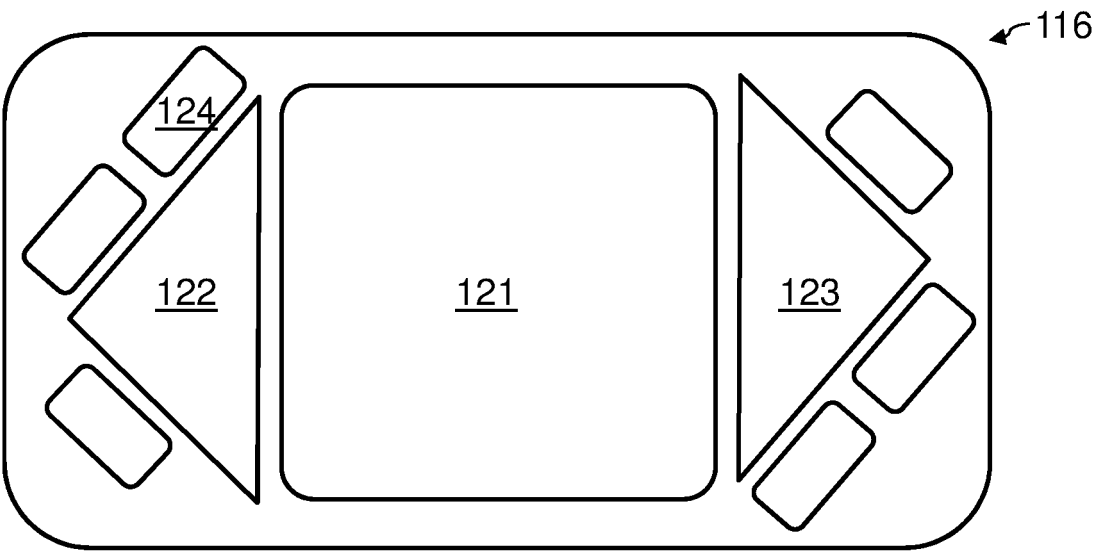


Fig. 7





RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 798024
FR 1457327

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	US 2010/129694 A1 (SUGIURA SEIJI [JP] ET AL) 27 mai 2010 (2010-05-27)	1-6,10	H01M8/04
Y	* abrégé *	7-9	
X	* alinéas [0048] - [0054], [0056] - [0061]; figures 3,6,8 *	1-6,10	
Y	& JP 2010 129265 A (HONDA MOTOR CO LTD) 10 juin 2010 (2010-06-10)	7-9	
Y	* abrégé *	7-9	
Y	US 2006/065520 A1 (BALLANTINE ARNE W [US] ET AL) 30 mars 2006 (2006-03-30)	7-9	
	* abrégé *		
	* alinéas [0026] - [0030] *		
	* figures 3,5 *		
A	JP H08 138696 A (TOYOTA MOTOR CORP) 31 mai 1996 (1996-05-31)	1-10	
	* abrégé *		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H01M
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
25 mars 2015		Haering, Christian	
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 1457327 FA 798024

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 **25-03-2015**

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
US 2010129694 A1		27-05-2010	JP 4903770 B2	28-03-2012
			JP 2010129265 A	10-06-2010
			US 2010129694 A1	27-05-2010

US 2006065520 A1		30-03-2006	JP 4789949 B2	12-10-2011
			JP 2008518387 A	29-05-2008
			US 2006065520 A1	30-03-2006
			US 2010176003 A1	15-07-2010
			WO 2006036606 A2	06-04-2006

JP H08138696 A		31-05-1996	AUCUN	
