(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 143 881***

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

(21) **N° d'enregistrement national :** **22 13370**

(51) Int Cl[8] : ***H 01 M 8/027*** *(2023.01), H 01 M 8/24*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 14.12.22.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 21.06.24 Bulletin 24/25.

(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) :** *SYMBIO FRANCE Société par actions simplifiée à associé unique* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** BELIN Didier et DEJARDIN Thibaut.

(73) **Titulaire(s) :** SYMBIO FRANCE Société par actions simplifiée à associé unique.

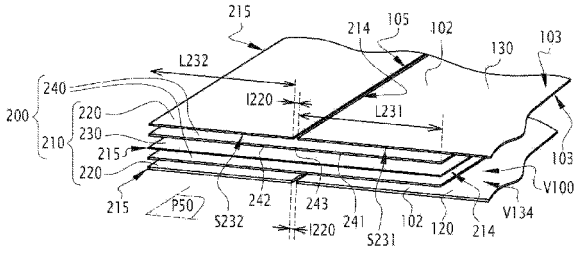
(74) **Mandataire(s) :** Lavoix.

(54) Cellule unitaire de pile à combustible et pile à combustible associée.

(57) Cellule unitaire de pile à combustible et pile à combustible associée

Cette cellule unitaire (100) d'un empilement de pile à combustible comprend plusieurs parois (102), qui sont chacune continues et étanches, qui délimitent des compartiments (V100) de la cellule unitaire et qui sont maintenues par une structure d'étanchéité (200). La structure d'étanchéité est formée d'un empilement de cadres de paroi (220), qui encourent chacun une paroi (102) associée, de cadres de compartiment (230), qui sont chacun agencés en périphérie d'un compartiment (V100) correspondant, et de couches d'adhésifs (240), qui sont intercalées entre chacun des cadres de la structure d'étanchéité de manière à fixer, de manière étanche, les cadres les uns aux autres. Chaque paroi ménage, cadre de paroi associé, un interstice périphérique, qui est obturé de manière étanche, sur au moins un des faces de cette paroi, par un cadre de compartiment agencé en face de cet interstice périphérique.

Figure pour l'abrégé : Figure 5 b)



FR 3 143 881 - A1

Description

Titre de l'invention : Cellule unitaire de pile à combustible et pile à combustible associée

[0001] La présente invention concerne une cellule unitaire de pile à combustible ainsi qu'une pile à combustible comprenant une telle cellule unitaire.

[0002] Une pile à combustible est un dispositif permettant de générer de l'électricité par réaction électrochimique entre un carburant, par exemple du di-hydrogène – dit aussi simplement hydrogène –, et un comburant, par exemple du di-oxygène – dit aussi simplement oxygène – contenu dans l'air. On s'intéresse ici aux piles à combustible du type à membrane échangeuse de protons à électrolyte solide – dite aussi PEMFC en anglais –, qui comprennent habituellement un empilement – dit « *stack* » en anglais – de cellules unitaires constituant chacune un générateur électrochimique.

[0003] Schématiquement, chaque cellule unitaire comprend deux séparateurs, dits aussi plaques polaires, entre lesquels est intercalé un électrolyte solide sous forme de membrane échangeuse de protons. La membrane est réalisée par exemple en un matériau polymère perfluoré sulfuré. Au sein de chaque cellule, chaque séparateur délimite avec la membrane correspondante un compartiment réactif. L'un des deux compartiments réactifs loge un élément cathodique, tandis que l'autre compartiment réactif loge un élément anodique.

[0004] Au sein de l'empilement, les cellules sont empilées de manière à alterner éléments cathodique et anodique. Dans de nombreux types de piles à combustible, pour deux cellules voisines, un séparateur d'une des deux cellules se retrouve dos à dos avec un séparateur de l'autre cellule. Ces deux séparateurs forment ensemble un séparateur bipolaire, aussi appelé plaque bipolaire. Un compartiment de refroidissement, dans lequel circule un fluide de refroidissement tel que de l'eau glycolée, est généralement aménagé entre les deux séparateurs du séparateur bipolaire. Dans d'autres types de piles à combustibles, notamment dans une pile sans refroidissement liquide, un même séparateur est partagé par deux cellules voisines et la pile ne comporte donc pas de compartiment de refroidissement.

[0005] L'hydrogène, l'air et l'éventuel liquide de refroidissement sont des fluides dits « de fonctionnement », qui sont fournis à la pile à combustible pendant son fonctionnement. Selon les phases de fonctionnement de la pile à combustible, la fourniture d'un ou plusieurs des fluides de fonctionnement est faite de manière continue ou de manière intermittente.

[0006] La pile à combustible ménage ainsi des ouvertures pour alimenter en fluides chacun des compartiments réactifs et les fluides entre deux cellules voisines. Ainsi, chaque sé-

parateur bipolaire assure d'un côté l'alimentation en carburant de la cellule adjacente à ce côté et de l'autre côté l'alimentation en comburant de la cellule adjacente à cet autre côté, les alimentations assurées par les séparateurs bipolaires se faisant en parallèle.

[0007] Lorsque la pile à combustible est en fonctionnement, la réaction électrochimique crée une différence de potentiel électrique entre les deux séparateurs de chaque cellule unitaire. La pile à combustible comprend ainsi un dispositif d'isolation électrique, prévu pour éviter les fuites de courant entre deux cellules voisines et entre chaque cellule et le milieu extérieur, ainsi qu'un dispositif d'étanchéité pour éviter les fuites des fluides de fonctionnement, notamment pour éviter que le fluide circulant dans un compartiment réactif ne contamine un compartiment réactif voisin.

[0008] EP-3 618 157-A1 décrit, par exemple, une pile redox, dont le carburant et le comburant sont des électrolytes, c'est-à-dire des liquides. La pile redox comprend des cadres, qui sont réalisés en polypropylène et qui sont agencés autour des plaques bipolaires et des électrodes, de manière à réduire les fuites de courant. Les cadres sont percés pour ménager des canaux de circulation des électrolytes. L'étanchéité est assurée par des joints toriques, qui sont disposés dans des gorges usinées dans l'épaisseur des cadres et qui sont maintenus en compression par une bride de serrage. Une telle structure n'est cependant pas adaptée au passage des fluides gazeux, notamment l'air ou l'hydrogène, utilisés avec une pile à combustible. La mise en place et le contrôle de chaque joint sont en outre des opérations fastidieuses.

[0009] C'est à ces problèmes qu'entend plus particulièrement remédier l'invention, en proposant un empilement de pile à combustible facile à assembler et présentant à la fois une bonne isolation électrique et une bonne étanchéité.

[0010] À cet effet, l'invention concerne une cellule unitaire d'un empilement de pile à combustible, dans laquelle :

- la cellule unitaire comprend plusieurs parois, qui sont chacune continues et étanches et qui sont empilées les unes sur les autres selon un axe d'empilement, ces parois délimitant des compartiments de la cellule unitaire et incluant :
  - un premier séparateur,
  - un deuxième séparateur, et
  - une membrane échangeuse de protons, qui est intercalée entre le premier séparateur et le deuxième séparateur,
- le premier séparateur délimite avec la membrane un premier compartiment réactif , le premier compartiment réactif étant configuré pour recevoir un premier fluide de fonctionnement de la pile à combustible,
- le deuxième séparateur délimite avec la membrane un deuxième compartiment réactif, le deuxième compartiment réactif étant configuré pour

recevoir un deuxième fluide de fonctionnement de la pile à combustible,

- les compartiments de la cellule unitaire incluent le premier compartiment réactif et le deuxième compartiment réactif,
- la cellule comprend aussi une structure d'étanchéité, la structure d'étanchéité comprenant des cadres, qui sont chacun réalisés en un matériau polymère et qui sont empilés selon l'axe d'empilement, les cadres étant agencés en périphérie des parois et des compartiments.

[0011] Selon l'invention, pour au moins un des compartiments de la cellule unitaire, et pour au moins une des deux parois délimitant ce au moins un compartiment :

- les cadres de la structure d'étanchéité incluent :
  - un cadre de paroi, qui est coplanaire à la paroi correspondante et qui entoure cette paroi, un bord interne de chaque cadre de paroi étant agencé en regard d'un bord externe de cette paroi, le bord interne du cadre de paroi et le bord externe de la paroi étant en regard l'un de l'autre et étant séparés par un interstice périphérique,
  - un cadre de compartiment, qui est agencé en périphérie du compartiment correspondant, le cadre de compartiment comprenant une bord interne, qui est orienté vers le compartiment correspondant et qui délimite ce compartiment radialement à l'axe d'empilement, et un bord externe, opposé au bord interne, le bord interne présentant contour interne, tandis que le bord externe présente un contour externe,
  - des couches d'adhésifs, qui sont intercalées chacune entre, d'une part, un cadre de compartiment, et, d'autre part, la paroi et le cadre de paroi adjacents à ce cadre de compartiment, de manière à fixer, de manière étanche, les cadres les uns aux autres,
- le contour interne du cadre de compartiment est inclus, en projection selon l'axe d'empilement, dans un contour externe de la paroi, de manière qu'une portion annulaire de la paroi fait face, selon l'axe d'empilement, à une portion complémentaire du cadre de compartiment et forme un premier recouvrement du cadre de compartiment sur la paroi,
- un contour interne du cadre de paroi est inclus, en projection selon l'axe d'empilement, dans le contour externe du cadre de compartiment, de manière qu'une portion annulaire du cadre de paroi fait face à une portion complémentaire du cadre de compartiment et forme un deuxième recouvrement du cadre de compartiment sur le cadre de paroi,
- les couches d'adhésifs incluent une première portion de couche, qui s'étend face au premier recouvrement entre le cadre de compartiment et la paroi adjacente, de manière à fixer, de manière étanche, le cadre de compartiment à

la paroi, et

– les couches d'adhésifs incluent une deuxième portion de couche, qui s'étend face au deuxième recouvrement entre le cadre de compartiment et le cadre de paroi adjacent, de manière à fixer, de manière étanche, le cadre de compartiment au cadre de paroi.

[0012] Grâce à l'invention, les cadres de la structure d'étanchéité sont assemblés les uns aux autres au moyen des couches d'adhésifs, rendant l'assemblage de la cellule unitaire pratique et rapide à réaliser. En outre, comme le cadre de premier compartiment présente un contour interne inclus dans le contour externe de la membrane, la première portion de couche d'adhésif, intercalée entre la face interne du cadre de premier compartiment et la face externe de la membrane adjacente, empêche les fuites du fluide de fonctionnement circulant dans le premier compartiment réactif vers le deuxième compartiment réactif. De manière analogue, comme le contour interne du cadre de premier compartiment est inclus dans le contour externe du premier séparateur, la deuxième portion de couche d'adhésif, intercalée entre la face interne du cadre de premier compartiment et la face externe du séparateur adjacent, empêche les fuites vers le compartiment de refroidissement. Les première et deuxième portions de couches d'adhésifs offrent une étanchéité sur l'ensemble des surfaces de recouvrement, empêchant le passage des fluides de fonctionnement, liquides comme gazeux, entre les éléments assemblés par ces couches d'adhésifs.

[0013] Selon des aspects avantageux mais non obligatoires de l'invention, une telle cellule unitaire peut incorporer une ou plusieurs des caractéristiques suivantes prises isolément ou selon toute combinaison techniquement admissible :

– le premier séparateur est configuré pour séparer de manière étanche le premier compartiment réactif d'un premier compartiment de refroidissement, qui est configuré pour recevoir un troisième fluide de fonctionnement de la pile à combustible, tandis que les compartiments de la cellule unitaire incluent, outre le premier compartiment réactif et le deuxième compartiment réactif, le premier compartiment de refroidissement.

– La première portion de couche d'adhésif et la deuxième portion de couche d'adhésif font partie d'une même couche d'adhésif, qui s'étend de manière continue sur une face du cadre de compartiment, de manière à obturer l'interstice périphérique adjacent au cadre de compartiment.

– Le premier recouvrement présente une longueur de fuite, qui est égale à une distance minimale, mesurée parallèlement au plan moyen, entre deux points quelconques appartenant respectivement au bord interne du cadre de compartiment correspondant et au bord externe de la paroi adjacente correspondante,

tandis que le deuxième recouvrement présente une longueur de fuite, qui est égal à une distance minimale, mesurée parallèlement au plan moyen, entre deux points quelconques appartenant respectivement au bord externe du cadre de compartiment correspondant et au bord interne du cadre de paroi adjacent correspondant,

et que chaque longueur de fuite est supérieure ou égale à 1 mm, de préférence supérieure ou égale à 2 mm, de préférence encore supérieure ou égale à 3 mm.

– Pour au moins un des cadres de compartiment :

• ce cadre de compartiment comporte un cadre de transfert qui ménage deux passages de fluide, les deux passages étant prévus pour la circulation du fluide de fonctionnement associé entre le compartiment correspondant et l'extérieur de la cellule unitaire,

• chaque passage débouche dans le compartiment associé par une embouchure interne, qui est ménagée sur le bord interne du cadre de transfert, et

• chaque passage débouche à l'extérieur du compartiment par une embouchure externe.

– Chaque passage comprend une portion interne, qui débouche par l'embouchure interne dans le compartiment, la portion interne du passage étant ménagée dans l'épaisseur du cadre de transfert.

– L'embouchure externe est ménagée sur le bord externe du cadre de transfert.

– Pour au moins un cadre de transfert :

• au moins un des deux passages loge des ailettes de guidage du fluide de fonctionnement associé,

• les ailettes sont formées par découpage de ce cadre de transfert et sont réparties à distance les unes des autres au sein du passage correspondant, de manière à orienter l'écoulement du fluide de fonctionnement associé,

• les ailettes sont maintenues au moyen des couches d'adhésifs entre lesquelles est intercalé le cadre de transfert correspondant.

– Pour au moins un des premier et deuxième compartiments réactifs, le cadre de compartiment comprend :

• le cadre de transfert,

• un premier cadre d'étanchéité, qui est intercalé entre, d'une part, le cadre de transfert et, d'autre part, une première des deux parois adjacente au cadre de compartiment et le cadre de paroi en regard de cette première paroi,

• un premier film d'adhésif, qui est intercalé entre le premier cadre d'étanchéité et le cadre de transfert,

[0014] tandis que le premier cadre d'étanchéité est, d'une part, fixé à la première paroi et au cadre de paroi en regard par la couche d'adhésif associée à la première paroi et, d'autre

part, fixé au cadre de transfert par le premier film d'adhésif.

– Le cadre de compartiment comprend, outre le premier cadre d'étanchéité :

• un deuxième cadre d'étanchéité, le premier et le deuxième cadre d'étanchéité étant agencés de part et d'autre du cadre de transfert, le deuxième cadre d'étanchéité étant intercalé entre, d'une part, le cadre de transfert et, d'autre part, une deuxième des deux parois adjacente au cadre de compartiment et le cadre de paroi associé à cette deuxième paroi, la deuxième paroi étant différente de la première paroi,

• un deuxième film adhésif, qui est intercalé entre le deuxième cadre d'étanchéité et le cadre de transfert,

[0015] tandis que le deuxième cadre d'étanchéité est, d'une part, fixé à la deuxième paroi et au cadre de paroi en regard par la couche d'adhésif correspondante et, d'autre part, fixé au cadre de transfert par le deuxième film d'adhésif.

– Pour au moins un cadre d'étanchéité, le film d'adhésif associé à ce cadre d'étanchéité est enduit, de manière continue, sur une face de ce cadre d'étanchéité.

– Pour au moins un cadre d'étanchéité :

• ce cadre d'étanchéité est réalisé en un matériau polymère, par exemple en PET, et présente une épaisseur, mesurée parallèlement à l'axe d'empilement, comprise entre 10 μm et 20 μm, de préférence égale à 12 μm,

• le film d'adhésif intercalé entre ce cadre d'étanchéité et le cadre de transfert correspondant présente une épaisseur, mesurée parallèlement à l'axe d'empilement, comprise entre 6 μm et 30 μm, de préférence comprise entre 8 μm et 20 μm, de préférence comprise entre 10 μm et 15 μm.

– Pour chaque compartiment de la cellule unitaire et pour chacune des parois délimitant ce compartiment, l'interstice périphérique associé à cette paroi est obturé, sur au moins une des faces de cette paroi, par un cadre d'étanchéité.

– Pour au moins un cadre de transfert :

• ce cadre de transfert est réalisé en un matériau polymère, par exemple en PET, et présente une épaisseur, mesurée parallèlement à l'axe d'empilement, comprise entre 50 μm et 200 μm, de préférence comprise entre 80 μm et 150 μm, de préférence encore égale à 100 μm,

• chacune des première portion de couche d'adhésif et chacune des deuxièmes portion de couche d'adhésif présente une épaisseur, mesurée parallèlement à l'axe d'empilement, comprise entre 15 μm et 30 μm, de préférence comprise entre 18 μm et 25 μm, de préférence égale à 20 μm.

[0016] L'invention concerne aussi une pile à combustible, comprenant un empilement formé de plusieurs cellules unitaires empilées selon l'axe d'empilement, chaque cellule

unitaire étant telle que définie précédemment, et une chemise, qui ménage un volume interne dans lequel est logé l'empilement, dans laquelle :

- les cadres de la structure d'étanchéité de chacune des cellules unitaire présentent chacun un bord externe propre, avec un contour externe associé,
- les contours externes de tous les cadres de chaque structure d'étanchéité sont superposés les uns aux autres selon l'axe d'empilement, les bords externes de tous les cadres de toutes les structures d'étanchéité formant ensemble une surface externe de l'empilement, qui présente une forme de cylindre centré sur l'axe d'empilement,
- la surface externe de l'empilement ménage des organes de maintien, qui sont configurés pour coopérer avec des organes complémentaires ménagés dans le volume interne de la chemise, de manière à maintenir l'empilement au sein du volume interne et à ménager un volume périphérique entre l'empilement et la chemise, et
- les organes de maintien et les organes complémentaires sont conçus pour diviser le volume périphérique en plusieurs conduits de circulation des fluides de fonctionnement de la pile à combustible.

[0017] Avantageusement :

- pour chaque compartiment de chaque cellule unitaire, le cadre de compartiment associé comporte un cadre de transfert qui ménage deux passages de fluide, les deux passages étant prévus pour la circulation du fluide de fonctionnement associé entre le compartiment correspondant et l'extérieur de la cellule unitaire,
  tandis que caque passage débouche dans le compartiment associé par une embouchure interne, qui est ménagée sur le bord interne du cadre de transfert,
  et que chaque passage débouche à l'extérieur du compartiment par une embouchure externe.
- L'embouchure externe est ménagée sur le bord externe du cadre de transfert, alors que :

• la pile à combustible ménage deux premières paires de conduits de circulation, qui sont respectivement associés aux premier et deuxième fluides de fonctionnement de la pile à combustible, les cellules unitaires étant telles que définies précédemment,

• pour chaque cellule unitaire :
  chacun des deux compartiments choisi parmi le premier compartiment réactif et le deuxième compartiment réactif, est associé à une paire des premiers conduits respective,
  les cadres de compartiment associés à chacun des deux compartiments réactifs

de cette cellule unitaire comprennent chacun un cadre de transfert avec deux passages chacun, l'embouchure externe de chaque passage étant ménagée sur un bord externe du cadre de transfert correspondant,
les deux passages d'un même cadre de transfert, débouchent chacun dans un conduit distinct parmi les deux conduits de circulation de la paire de conduits associée.

– Pour chaque cellule unitaire, le premier séparateur est configuré pour séparer de manière étanche le premier compartiment réactif d'un premier compartiment de refroidissement, qui est configuré pour recevoir un troisième fluide de fonctionnement de la pile à combustible,
la pile à combustible ménage, outre les deux premières paires de conduits de circulation, une troisième paire de conduits de circulation, les conduits de circulation de la troisième paire étant associés au troisième fluide de fonctionnement,
alors que pour chaque cellule unitaire :

- chacun des trois compartiments choisi parmi le premier compartiment réactif, le deuxième compartiment réactif et le premier compartiment de refroidissement, est associé à une paire respective parmi les trois paires de conduits,
- les cadres de compartiment associés à chacun des trois compartiments de cette cellule unitaire comprennent chacun un cadre de transfert avec deux passages chacun, l'embouchure externe de chaque passage étant ménagée sur un bord externe du cadre de transfert correspondant,
- les deux passages d'un même cadre de transfert, débouchent chacun dans un conduit distinct parmi les deux conduits de circulation de la paire de conduits associée.

[0018] L'invention sera mieux comprise, et d'autres avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement à la lumière de la description qui va suivre, d'un mode de réalisation d'une cellule unitaire et d'une pile à combustible, conformes à son principe, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

[0019] - [Fig.1] la [Fig.1] est une vue en perspective d'une pile à combustible conforme à l'invention ;

[0020] - [Fig.2] la [Fig.2] représente, sur deux inserts a) et b), deux vues schématiques de la pile à combustible de la [Fig.1], observée respectivement en perspective partiellement éclatée et en vue de dessus, certaines pièces étant cachées ;

[0021] - [Fig.3] la [Fig.3] représente respectivement, sur deux inserts a) et b), une chemise et une cellule unitaire de la pile à combustible de la [Fig.1], la cellule unitaire étant conforme à un mode de réalisation ;

[0022] - [Fig.4] la [Fig.4] est une vue en perspective éclatée de la cellule unitaire de la

[Fig.3], certaines pièces étant cachées ;

[0023] - [Fig.5] la [Fig.5] représente, sur deux inserts a) et b), une perspective partielle et éclatée d'un premier compartiment de la cellule unitaire de la [Fig.3], observé à deux échelles différentes et en coupe sur l'insert b) ;

[0024] - [Fig.6] la [Fig.6] représente, sur deux inserts a) et b), une perspective partielle et éclatée d'une cellule unitaire conforme à un autre mode de réalisation, observée à deux échelles différentes et en coupe sur l'insert b),

[0025] - [Fig.7] la [Fig.7] représente une perspective éclatée et partielle d'une cellule unitaire conforme à un autre mode de réalisation ;

[0026] - [Fig.8] la [Fig.8] représente une perspective partielle et éclatée d'un deuxième compartiment de la cellule unitaire de la [Fig.3] ;

[0027] - [Fig.9] la [Fig.9] représente respectivement, sur deux inserts a) et b), une perspective partielle et éclatée d'une cellule unitaire conforme à deux autres modes de réalisation de l'invention ;

[0028] - [Fig.10] la [Fig.10] représente, de manière schématique, une coupe transversale partielle d'un mode de réalisation de la cellule unitaire de la [Fig.3] ;

[0029] - [Fig.11] la [Fig.11] représente, de manière schématique, une coupe transversale partielle d'une cellule unitaire conforme à un autre mode de réalisation ;

[0030] - [Fig.12] la [Fig.12] est une vue en perspective d'une première entretoise d'irrigation de la cellule unitaire de la [Fig.3] ;

[0031] - [Fig.13] la [Fig.13] représente respectivement, sur trois inserts a), b) et c), un détail XIIIa de l'entretoise d'irrigation de la [Fig.12], ce même détail observé en perspective éclatée et un schéma illustrant un principe de fonctionnement de l'entretoise d'irrigation de la [Fig.12] ;

[0032] - [Fig.14] la [Fig.14] est une vue en perspective d'une deuxième entretoise d'irrigation de la cellule unitaire de la [Fig.3] ; et

[0033] - [Fig.15] la [Fig.15] est une vue à plus grande échelle et en perspective éclatée d'un détail XV à la [Fig.14].

[0034] Une pile à combustible 20 est représentée à la [Fig.1]. La pile à combustible 20, dite aussi simplement « pile 20 » dans la suite, comprend un boitier 22, qui comprend une chemise 24. La chemise 24 présente une forme de cylindre creux, qui s'étend selon un axe de pile A20 et qui présente ici une section sensiblement rectangulaire. La chemise 24 ménage un volume interne V24 avec deux ouvertures opposées, les ouvertures étant refermés par deux couvercles 26A et 26B. La chemise 24 et les couvercles 26A et S6B sont de préférence réalisés en matériau électriquement isolant, tel qu'un matériau polymère ou un matériau polymère renforcé de fibre, ou sont recouverts, au moins sur une face interne, d'un matériau électriquement isolant.

[0035] Des conduits fluidiques sont ménagés au travers du boitier 22 pour permettre le

passage de fluides de fonctionnement de la pile 20. Les fluides de fonctionnement comprennent ici trois fluides, donc deux fluides gazeux, ici de l'air et du di-hydrogène, et un fluide caloporteur diélectrique, par exemple liquide, ici de l'eau glycolée. Les conduits fluidiques sont matérialisés par des raccords fluidiques, qui sont ménagés ici sur le couvercle 26A, situé sur le haut des figures 1 et 2. Alternativement, tout ou partie des raccords fluidiques est ménagé sur le couvercle 26B. Alternativement, tout ou partie des raccords fluidiques est implanté sur la chemise 24.

[0036] La pile 20 comprend ainsi trois paires de raccord fluidiques, chaque paire étant destinée à la circulation d'un fluide de fonctionnement propre. Les trois paires de raccords fluidiques incluent une première paire de raccords 28A, une deuxième paire de raccords 28B et une troisième paire de raccords 28C. Pour chaque paire de raccords, un des raccords dit « raccord d'entrée » est destiné à l'admission du fluide de fonctionnement correspondant, tandis que l'autre raccord dit « raccord de sortie » est destiné à l'extraction du fluide de fonctionnement correspondant. Sur les figures, le sens de circulation des fluides de fonctionnement est représenté schématiquement par des flèches orientées de manière arbitraire, sachant qu'il peut en être autrement dans la réalité.

[0037] Sur la [Fig.2], la pile 20 est représentée schématiquement en perspective éclatée, le couvercle 26A étant éloigné de la chemise 24. Les raccords 28A, 28B et 28C sont représentés schématiquement par des ouvertures traversant le couvercle 26A.
La chemise 24 est représentée isolément à la [Fig.3] a).

[0038] Le volume interne V24 de la chemise 24 loge un empilement 50. L'empilement 50 comprend une surface externe S50, qui présente une forme de cylindre centré sur un axe d'empilement A50 et avec une section globalement rectangulaire. Lorsque l'empilement 50 est reçu dans le volume interne V24, l'axe d'empilement A50 est confondu avec l'axe de pile A20.

[0039] L'empilement 50 est formé de plusieurs cellules unitaires 100, qui sont empilées selon l'axe d'empilement A50. Une cellule unitaire 100 est représentée isolément en [Fig.3] b), et en perspective éclatée à la [Fig.4]. Chaque cellule unitaire 100 présente une forme aplatie, qui s'étend selon un plan moyen P50 orthogonal à l'axe d'empilement A50. Autrement dit le plan moyen P50 est un plan transversal à l'axe d'empilement A50. Chaque cellule unitaire 100 – dite aussi simplement « cellule 100 » dans la suite – présente, en projection sur le plan moyen P50, un contour externe C100. On comprend que la section de la surface externe S50 de l'empilement 50 correspond au contour externe C100 de chaque cellule unitaire 100.

[0040] La surface externe S50 de l'empilement 50 ménage des organes de maintien 52, qui sont configurés pour coopérer avec des organes complémentaires 30 ménagés dans le volume interne V24 de la chemise 24, de manière à maintenir l'empilement 50 au sein

du volume interne V24 et à ménager un volume périphérique V50 entre l'empilement 50 et la chemise 24. Le volume périphérique V50 est donc une portion du volume interne V24, qui est répartie autour de l'empilement 50.

[0041] Les organes de maintien 52 et les organes complémentaires 30 sont ménagés, respectivement, le long de la surface externe S50 parallèlement à l'axe d'empilement A50, et le long de la chemise 24 parallèlement à l'axe de pile A20 et incluent des éléments d'étanchéité, de manière à diviser le volume périphérique V50 en plusieurs conduits de circulation pour les fluides de fonctionnement de la pile à combustible 20. Avantageusement, les organes de maintien 52 et les organes complémentaires 30 assurent une isolation électrique entre l'empilement 50 et la chemise 24.

[0042] Chaque conduit de circulation est fluidiquement relié à un raccord 28A, 28B ou 28C respectif, de manière à assurer la circulation des fluides de fonctionnement autour de l'empilement 50, et donc autour de chaque cellule unitaire 100.

[0043] La pile à combustible 20 ménage ici six conduits de circulation, qui sont respectivement associés par paires aux trois fluides de fonctionnement de la pile à combustible. Ces six conduits de circulation incluent ainsi une première paire de conduits 38A, qui sont fluidiquement reliés à la première paire de raccords 28A, une deuxième paire de conduits 38B, qui sont fluidiquement reliés à la deuxième paire de raccords 28B, et une troisième paire de conduits 38C, qui sont fluidiquement reliés à la troisième paire de raccords 28C.

[0044] Chaque conduit de circulation 38A, 38B ou 38C est ainsi séparé, de manière étanche, des conduits voisins. Dans la présente description, par « étanche » on entend étanche à l'un quelconque des fluides de fonctionnement, liquide ou gazeux, de la pile à combustible 20, en particulier étanche à l'hydrogène, qui a le plus tendance à fuir au vu de sa faible taille moléculaire et de sa faible viscosité comparativement aux autres fluides de fonctionnement.

[0045] Dans l'exemple illustré plus particulièrement par les figures 1 et 3, la chemise 24 est donc une paroi externe de la pile 20, la chemise 24 délimitant les conduits de circulation 38A, 38B ou 38C dans lesquels circule un fluide sous une pression supérieure à la pression atmosphérique. Même si cette pression est généralement inférieure à 5 bars absolus, voire même inférieure à 3 bars absolus, il est nécessaire de tenir compte de l'écart de pression avec la pression atmosphérique qui règne à l'extérieur de la chemise 24, en veillant notamment à ce que la chemise 24 ne se déforme pas (notamment en bombement) au point de compromettre l'étanchéité entre les conduits de circulation 38A, 38B ou 38C. Dans l'exemple illustré, pour limiter une déformation par bombement, notamment des faces les plus grandes de la chemise 24, on a prévu des renforts externes. Dans l'exemple, les renforts externes sont indépendants de la chemise 24, sont donc rapportés sur la chemise et sont fixés à l'extérieur de la chemise

24, en appui chacun sur une face (ici une face extérieure plane) de la chemise 24. Chaque renfort externe s'étend le long de l'axe de pile A20 entre deux extrémités. Dans l'exemple, chaque extrémité est fixée, par exemple par vissage, sur le couvercle 26A, 26B correspondant. Alternativement, le ou les renforts externes sont fixés exclusivement sur la chemise 24, voire sont fixés d'un côté sur la chemise 24 et de l'autre côté sur un seul des deux couvercles. Chaque renfort externe comporte un corps central en appui sur la face externe correspondante de la chemise 24. Dans l'exemple illustré, on a prévu seulement deux renforts externes, un sur chacune des deux faces opposées de la chemise 24 qui présentent la plus grande surface, et donc présente le plus grand risque de déformation à cause de la pression dans les conduits de circulation 38A, 38B ou 38C. Cependant, on pourrait aussi prévoir des renforts externes pour chaque face externe, notamment pour chaque face externe plane de la chemise 24. Dans l'exemple illustré, le corps central d'un renfort externe présente une largeur transversale, selon une direction orthoradiale à l'axe de pile A20 et parallèle à la face externe correspondante de la chemise 24, qui est de préférence supérieure ou égale à 50 % de la largeur transversale de la ladite face externe correspondante sur laquelle il est en appui, de sorte qu'un seul renfort externe est nécessaire pour la face externe correspondante. Cependant, on pourrait prévoir, pour une face externe donnée de la chemise 24, plusieurs renforts individuels distincts, décalés les uns des autres selon la direction transversale, et donc chacun de faible largeur transversale. Dans l'exemple illustré, le renfort externe présente des raidisseurs, ici en une seule pièce avec le corps central, formant une surépaisseur sur le corps central selon une direction radiale perpendiculaire à l'axe de pile A20 et perpendiculaire à la face externe correspondante de la chemise 24. Avantageusement, le ou les raidisseurs présentent une épaisseur radiale, selon la direction radiale, qui évolue le long de la direction de l'axe de pile A20, avec une épaisseur radiale moindre aux deux extrémités, et au contraire une épaisseur radiale supérieure au centre selon cette direction. Cela permet d'optimiser la raideur du raidisseur en l'adaptant aux contraintes subis par la chemise 24, en différents points de celle-ci, du fait de la pression à l'intérieur de conduits. Le ou les renforts externes rapportés sont de préférence réalisés en métal, par exemple en aluminium ou alliage d'aluminium, par exemple sous la forme d'une pièce moulée en alliage d'aluminium. En variante, le ou les renforts externes rapportés sont réalisés en matériau polymère, de préférence alors en matériau composite associant une résine polymère et des renforts par exemple sous formes de fibres de verre, de carbone et/ou d'aramide. Selon encore une autre variante, des renforts similaires sont intégrés à la chemise 24, autrement dit réalisés d'une seule pièce avec la chemise, conférant donc à la chemise une géométrie optimisée pour résister aux efforts dus aux pressions des fluides dans les conduits de circulation 38A, 38B ou 38C.

[0046] Les cellules unitaires 100 de l'empilement 50 sont de préférence identiques les unes aux autres. On détaille à présent la cellule unitaire 100.

[0047] Comme illustré à la [Fig.4], la cellule 100 comprend plusieurs parois 102, qui sont continues et étanches et qui sont empilées les unes sur les autres selon l'axe d'empilement A50. Les parois 102 incluent un premier séparateur 110, un deuxième séparateur 120 et une membrane 130 échangeuse de protons. La paroi 102 formée par la membrane 130 est intercalée entre le premier séparateur 110 et le deuxième séparateur 120. Les parois 102 délimitent entre elles des compartiments V100 de la cellule unitaire 100.

[0048] Toujours sur la [Fig.4], le deuxième séparateur 120 est représenté schématiquement en pointillés. Le premier séparateur 110 et le deuxième séparateur 120 sont de préférence identiques l'un à l'autre et sont ici réalisés par découpage d'une tôle métallique, par exemple une tôle d'acier inoxydable.

[0049] La membrane 130, dite aussi PEM pour « *Proton Exchange Membrane* » en anglais, est ici réalisée sous la forme d'une couche polymère 130A. Généralement, on dispose, de part et d'autre de la membrane 130, dans chacun des compartiments V100 délimités par la membrane 130 de part et d'autre de celle-ci, une couche de diffusion de gaz 130B, de telle sorte que la membrane 130 se trouve prise en sandwich entre les deux couches de diffusion de gaz 130B. La couche polymère 130A est ici réalisée en un matériau polymère fluoré, par exemple connu sous le nom commercial de Nafion.

[0050] Dans l'exemple illustré, la couche polymère 130A est recouverte sur ses deux faces d'une couche de catalyseur, la membrane 130 étant dite CCM pour « *Catalyst Coated Membrane* » en anglais. Les couches de catalyseurs ne sont pas représentées. La membrane 130, les couches de diffusion de gaz 130A et 130B et les couches de catalyseurs associés forment ensemble généralement appelé MEA, acronyme de l'anglais « *Membrane Electrode Assembly* ».

[0051] En alternative non illustrée, une au moins des couches de catalyseur est déposée sur l'une ou l'autre de deux couches de diffusion de gaz 130B, entre la couche de diffusion de gaz 130B et la couche polymère 130A qui sont adjacentes.

[0052] La couche polymère 130A est étanche aux gaz réactifs, hydrogène ou oxygène, mais permet la diffusion, à son travers, des protons H+. Les couches de diffusion de gaz 130B, dites aussi GDL pour « *gas diffusion layer* » en anglais, sont poreuses pour les gaz réactifs et sont par exemple réalisées pour l'essentiel en fibres de carbone enchevêtrées et compressées. Les couches de diffusion de gaz 130B peuvent éventuellement être enduites sur leur face au contact de la membrane 130A d'un ionomère qui peut être de même nature que le matériau de la couche polymère 130A. La structure de la membrane 130 n'est pas détaillée plus avant.

[0053] La membrane 130 comprend une première face 132 et une deuxième face 134

opposée à la première face 132. La première face 132 et la deuxième face 134 s'étendent parallèlement au plan moyen P50. La première face 132 est orientée du côté du premier séparateur 110. Le premier séparateur 110 délimite avec la membrane 130 un premier compartiment réactif V132, qui est configuré pour recevoir un premier fluide de fonctionnement de la pile à combustible 20. Le premier compartiment réactif V132 est ici par exemple un compartiment anodique de la cellule unitaire 100, c'est-à-dire que le premier fluide de fonctionnement est de l'hydrogène. Ainsi le premier fluide de fonctionnement est un fluide gazeux. Le premier compartiment réactif V132 est un des compartiments V100 de la cellule 100.

[0054] La deuxième face 134 est orientée du côté du deuxième séparateur 120. Le deuxième séparateur 120 délimite avec la membrane 130 un deuxième compartiment réactif V134, qui est configuré pour recevoir un deuxième fluide de fonctionnement de la pile à combustible. Le deuxième compartiment réactif V134 est par exemple ici un compartiment cathodique de la cellule unitaire 100, c'est-à-dire que le fluide de fonctionnement circulant dans ce compartiment est ici de l'air, qui contient de l'oxygène. Ainsi le deuxième fluide de fonctionnement est un fluide gazeux. Le deuxième compartiment réactif V134 est un autre des compartiments V100 de la cellule 100.

[0055] On comprend que lorsque trois cellules unitaires 100 sont empilées l'une sur l'autre, avec une cellule 100 du bas, une cellule 100 du milieu et une cellule 100 du haut, le premier séparateur 110 de la cellule du milieu se retrouve adjacent au deuxième séparateur 120 de la cellule 100 du haut.

[0056] Dans l'exemple illustré, le premier séparateur 110 de la cellule 100 du milieu et le deuxième séparateur 120 de la cellule du haut délimitent entre eux un premier compartiment de refroidissement V136 de la cellule 100 du milieu.

[0057] Le premier compartiment de refroidissement V136 est donc commun à deux cellules 100 voisines. Le deuxième séparateur 120 de la cellule 100 du milieu et le premier séparateur 110 de la cellule 100 du bas délimitent entre eux un deuxième compartiment de refroidissement V138 de la cellule du milieu. Pour deux cellules unitaires 100 empilées, le premier compartiment de refroidissement V136 de la cellule du bas est donc, pour la cellule du haut, un deuxième compartiment V138.

[0058] Plus généralement, pour la cellule 100 décrite, chaque compartiment de refroidissement V136 et V138 est configuré pour recevoir un troisième fluide de fonctionnement de la pile à combustible 20. Le troisième fluide de fonctionnement est ici un fluide de refroidissement tel que de l'eau liquide glycolée. Ainsi le troisième fluide de fonctionnement est ici un fluide liquide aux températures de fonctionnement de la pile 20. Plus généralement, le premier séparateur 110 est configuré pour séparer de manière étanche le premier compartiment réactif V132 du premier compartiment de refroidissement V136.

[0059] Dans l'exemple illustré, chaque cellule unitaire 100 comprend donc trois compartiments V100, à savoir le premier compartiment réactif V132, le deuxième compartiment réactif V134, et le premier compartiment de refroidissement V136. Chacun de ces compartiment V100 est respectivement associé à un fluide de fonctionnement de la pile à combustible 20.

[0060] La pile à combustible 20 loge ici, dans chacun des compartiment V100 de la cellule unitaire 100, une entretoise d'irrigation. Plus précisément, le deuxième compartiment réactif V134 loge une entretoise d'irrigation 600 d'un premier type, conforme à un premier mode de réalisation, tandis que le premier compartiment réactif V132 loge une entretoise d'irrigation 700 d'un deuxième type, conforme à un autre mode de réalisation. Le premier logement de refroidissement V136 loge aussi un autre exemplaire de l'entretoise 700 du deuxième type.

[0061] Les entretoises d'irrigation 600 ou 700 sont configurées pour définir la circulation, au sein de chaque compartiment V100, du fluide de fonctionnement correspondant. Les entretoises d'irrigation 600 et 700 sont décrites plus loin dans la présente description. Lorsque la pile 20 est assemblée, le premier séparateur 110, le deuxième séparateur 120, la membrane 130, ainsi que les entretoises 600 et 700, sont en appui les uns sur les autres. De préférence, les couches de diffusion de gaz 130B sont empilées, selon l'axe d'empilement 150, avec un serrage axial entre une entretoise d'irrigation 600 ou 700 et la face correspondante de la membrane 130, de manière à assurer une bonne conduction électrique entre ces éléments empilés.

[0062] Selon un autre aspect, la cellule unitaire 100 comprend aussi une structure d'étanchéité 200 ([Fig.5]). La structure d'étanchéité comprend des cadres 210, qui sont chacun réalisés en un matériau polymère et qui sont empilés selon l'axe d'empilement A50. Les cadres 210 sont agencés en périphérie des parois 102 et des compartiments V100 de la cellule unitaire 100.

[0063] Les principes de la structure d'étanchéité 200 sont décrits à l'aide de la [Fig.5], où deux parois 102 de la cellule unitaire 100, délimitant un seul compartiment V100, sont représentées. La paroi 102 sur le haut de la [Fig.5] a) est ici la membrane 130, tandis que la paroi 102 sur le bas de la [Fig.5] a) est le deuxième séparateur 120.
Le compartiment représenté est donc le deuxième compartiment réactif V134, sachant que les principes décrits peuvent être transposés aux autres compartiments V100 de la cellule unitaire 100 et aux parois 102 correspondantes.

[0064] Le reste de la cellule unitaire 100, notamment l'entretoise d'irrigation 600 ou la couche de diffusion 130B, n'est pas représenté pour ne pas surcharger les figures qui visent à représenter plus particulièrement cette structure d'étanchéité. Pour les parties de la description qui concernent les éléments de la structure d'étanchéité 200, lorsque deux de ces éléments comprennent des surfaces qui se font face l'une à l'autre et qui

sont orientées orthogonalement à l'axe d'empilement A50, ces surfaces (et par extension ces éléments) sont dites « adjacentes » l'une à l'autre, tandis que lorsque ces deux surfaces sont parallèles à l'axe d'empilement A50, ces surfaces sont dites « en regard » l'une de l'autre.

[0065] Dans l'exemple illustré, les cadres 210 de la structure d'étanchéité 200 incluent des cadres de paroi 220, chaque cadre de paroi 220 étant coplanaire à une paroi 102 respective et entourant cette paroi 102. Sur la [Fig.5] a), les cadres de paroi 220 et les parois associées sont représentés décalés pour faciliter la distinction entre les pièces, tandis que sur la [Fig.5] b), les cadres de paroi 220 sont représentés coplanaires avec les parois 102 respectives, comme dans la réalité. Chaque cadre de paroi 220 et la paroi 102 correspondante sont ainsi en regard l'un de l'autre. Chaque cadre de paroi 220 présente une épaisseur sensiblement égale, par exemple égale à ±10%, à une épaisseur de la paroi 102 correspondante, les épaisseurs étant mesurées parallèlement à l'axe d'empilement A50.

[0066] Les cadres 210 de la structure d'étanchéité 200 incluent aussi des cadres de compartiment 230. Chaque cadre de compartiment 230 est agencé en périphérie du compartiment V100 correspondant, ici le deuxième compartiment réactif V134. Un seul cadre de compartiment 230 est représenté sur la [Fig.5]. Dans ce mode de réalisation de la structure d'étanchéité 200, chaque cadre de compartiment 230 est formé d'une seule pièce.

[0067] Chaque cadre 210 de la structure d'étanchéité 200 présente globalement une forme d'anneau, dans l'exemple une forme d'anneau rectangulaire, et est ménagé dans une plaque d'un matériau étanche, par exemple par découpage. Les cadres de paroi 220 sont réalisés dans un matériau électriquement isolant, de préférence un matériau polymère, par exemple du polyéthylène téréphtalate, dit aussi PET.

[0068] Chaque cadre 210 comprend deux faces 213, qui sont opposées l'une à l'autre et qui s'étendent parallèlement au plan moyen P50, un bord interne 214, qui relie l'un à l'autre les deux faces 213 et qui est orienté vers un côté intérieur de la cellule unitaire 100, et un bord externe 215, qui est opposé au bord interne 214 et qui relie l'un à l'autre les deux faces 213. Pour chaque cadre 210, le bord interne 214 définit, en projection sur le plan moyen P50, un contour interne de ce cadre 210, tandis que le bord externe 215 définit, en projection sur le plan moyen P50, un contour externe de ce cadre 210.

[0069] Dans le cas des cadres de paroi 220, le bord interne 214 s'étend en regard de la paroi 102 correspondante. Dans le cas des cadres de compartiment 230, le bord interne 214 est orientée vers le compartiment V100 correspondant et délimite ce compartiment V100 radialement à l'axe d'empilement A50.

[0070] De manière analogue, chaque paroi 102 comprend deux faces 103 qui sont opposées

l'une à l'autre et qui s'étendent parallèlement au plan moyen P50 et un bord externe 105 qui relie l'un à l'autre les deux faces 103. Pour chaque paroi 102, le bord externe 105 correspondant est orienté vers l'extérieur de la cellule 100. Le bord externe 105 de chaque paroi 102 définit, en projection sur le plan moyen P50, un contour externe de cette paroi 102.

[0071] Le bord interne 214 de chaque cadre de paroi 220 est agencé en regard du bord externe 105 de la paroi 102 associée, le bord interne 214 du cadre de paroi 220 et le bord externe 105 de la paroi 102 en regard étant séparés, radialement à l'axe d'empilement A50, par un interstice périphérique I220. Chaque paroi 102 est donc associée à un interstice périphérique I220 propre à cette paroi 102 et au cadre de paroi 220 en regard correspondant. Par conséquent, chaque cadre de paroi 220 est donc associé à un interstice périphérique I220 propre à ce cadre de paroi 220 et à la paroi 102 en regard correspondante.

[0072] L'interstice périphérique I220 est le plus petit possible. L'interstice périphérique I220 est typiquement compris entre 0 mm (millimètre) et 0,2 mm. Dans la réalité, l'interstice périphérique I220 n'est pas nul, notamment à cause des tolérances de fabrication et des jeux d'assemblage. Dans l'exemple illustré, I220 est égal à 0,1 mm.

[0073] La structure d'étanchéité 200 comprend aussi des couches d'adhésifs 240, qui sont intercalées entre chacun des cadres 210 de la structure d'étanchéité de manière à fixer, de manière étanche, les cadres 210 les uns aux autres. Chaque couche d'adhésif 240 est ainsi prise entre deux cadres 210 et est donc adjacente à chacun de ces deux cadres 210. Dans l'exemple de la [Fig.5], deux couches d'adhésif 240 sont représentées, chaque couche d'adhésif 240 étant intercalée entre, d'une part, le cadre de compartiment 230 et, d'autre part, une des parois 102 et le cadre de paroi 220 associé à cette paroi 102. Autrement dit, chaque couche d'adhésif 240 est intercalée entre, d'une part, le cadre de compartiment 230 correspondant et, d'autre part, la paroi 102 et le cadre de paroi 220 adjacents à ce cadre de compartiment 230.

[0074] Chaque couche d'adhésif 240 est réalisée en un matériau étanche, de préférence un adhésif de type « contact », dit aussi PSA pour « *Pressure Sensitive Adhésive* » en anglais. Des exemples non limitatifs d'adhésifs incluent des colles acryliques. Chaque couche d'adhésif 240 est réalisée en un matériau électriquement isolant. Ainsi la structure d'étanchéité 200, formée de l'assemblage des cadres 210 assemblés les uns aux autres par des couches d'adhésifs, assure non seulement l'étanchéité entre deux compartiments V100 voisins, mais aussi l'étanchéité et l'isolation électrique de chaque compartiment V100 vis-à-vis de l'extérieur de la cellule unitaire.

[0075] Avantageusement, chaque couche d'adhésif 240 s'étend de manière continue sur les surfaces des cadres 210 et/ou parois 102 que cette couche d'adhésif 240 solidarise. Par exemple, pour l'assemblage de deux faces, la couche d'adhésif 240 est appliquée

par enduction sur une des faces à assembler, puis la deuxième face est pressée sur la couche d'adhésif 240. Sur la [Fig.5] a), les deux couches d'adhésifs 240 présentent une forme identique au cadre de compartiment 230 qui est intercalé entre ces deux couches d'adhésif 240.

[0076] De préférence, le cadre de compartiment 230 subit une enduction d'adhésif sur chacune de ses deux faces opposées avant d'être découpé et assemblé au reste de la structure d'étanchéité 240.

[0077] Dans l'exemple illustré, le cadre de compartiment 230 est intercalé, selon l'axe d'empilement A50, entre deux parois 102, et entre les deux cadres de paroi 220 qui sont coplanaires avec les deux parois 102. Le cadre de compartiment 230 est ainsi adjacent à ces deux cadres de paroi 220.

[0078] Pour chacune de ces parois 102 adjacente au cadre de compartiment 230, le contour interne du cadre de compartiment 230 est inclus, en projection selon l'axe d'empilement A50, dans un contour externe de la paroi 102 adjacente, de manière qu'une portion annulaire de la paroi 102 fait face, selon l'axe d'empilement 102, à une portion complémentaire du cadre de compartiment 230 et forme un premier recouvrement S231 du cadre de compartiment 230 sur cette paroi 102. Schématiquement, le premier recouvrement S231 est une portion d'une face 103 de la paroi 102, qui correspond à la projection, parallèlement à l'axe d'empilement A50, du cadre de compartiment 230 sur la paroi 102 adjacente.

[0079] Pour chacun des cadres de paroi 220 associés aux parois 102 adjacentes au cadre de compartiment 230, un contour interne du cadre de paroi 220 est inclus, en projection selon l'axe d'empilement A50, dans le contour externe du cadre de compartiment 230, de manière qu'une portion annulaire du cadre de paroi 220 fait face à une portion complémentaire du cadre de compartiment 230 et forme un deuxième recouvrement S232 du cadre de compartiment 230 sur ce cadre de paroi 220. Le deuxième recouvrement S232 correspond à la projection, parallèlement à l'axe d'empilement A50, du cadre de compartiment 230 sur le cadre de paroi 220 adjacent. Ainsi le deuxième recouvrement 232 correspond ici à celle des faces 223 du cadre de paroi 220 qui est orientée vers le cadre de compartiment considéré.

[0080] De préférence, les contours externes de tous les cadres 210 de la structure d'étanchéité 200 sont superposés les uns aux autres selon l'axe d'empilement A50, les bords externes de tous les cadres de toutes les structures d'étanchéité formant ensemble une surface externe S100 de la cellule unitaire 100. La surface externe S50 de l'empilement 50 correspond à la réunion des surfaces externes S100 des cellules unitaires 100 qui composent cet empilement 50. Optionnellement, lors de l'assemblage de l'empilement 50, la surface externe S50 est rectifiée après l'assemblage des cellules unitaire 100, de sorte que la surface externe S50 est lisse.

[0081] Pour la couche d'adhésif 240 intercalée entre le cadre de compartiment 230 et la paroi 102 adjacente, cette couche d'adhésif 240 comprend une première portion, dite première portion de couche 241, qui s'étend face au premier recouvrement S231 entre le cadre de compartiment 230 et la paroi 102 adjacente, de manière à fixer, de manière étanche, ce cadre de compartiment 230 à la paroi 102 adjacente.

[0082] De manière analogue, cette couche d'adhésif 240 comprend une deuxième portion, dite deuxième portion de couche 242, qui s'étend face au deuxième recouvrement S232 entre le cadre de compartiment 230 et le cadre de paroi 220 adjacent, de manière à fixer, de manière étanche, ce cadre de compartiment 230 à ce cadre de paroi 220.

[0083] La première portion de couche 241 et la deuxième portion de couche 242 sont agencées dans un même plan transversal à l'axe d'empilement A50. La première portion de couche 241, est, dans ce plan transversal, entourée par la deuxième portion de couche 242.

[0084] Avantageusement, la couche d'adhésif 240 comprend une troisième portion, dite troisième portion de couche 243, qui est intercalée radialement, dans le même plan transversal à l'axe d'empilement A50, entre les première portion de couche 241 et deuxième portion de couche 242 et qui unit donc les première portion de couche 241 et deuxième portion de couche 242 l'une à l'autre. La troisième portion de couche 243 de la couche d'adhésif est située en face, selon l'axe d'empilement A50, de l'interstice périphérique I220. La troisième portion de couche 243 de la couche d'adhésif 240 relie de manière continue la première couche 242 à la deuxième portion de couche 242. Autrement dit, la première portion de couche 241 d'adhésif et la deuxième portion de couche 242 d'adhésif font partie d'une même couche continue, ici la couche d'adhésif 240, qui s'étend sur une face du cadre de compartiment 230, de manière à recouvrir l'interstice périphérique I220 en face du cadre de compartiment 230.

[0085] Le premier recouvrement S231 présente une longueur de fuite L231, qui est égale à une distance minimale, mesurée parallèlement au plan moyen P50, entre deux points quelconques appartenant respectivement au bord interne 214 du cadre de compartiment 230 correspondant et au bord externe 105 de la paroi 102 adjacente correspondante. Dans l'exemple de la [Fig.5], la longueur de fuite L231 est la longueur du chemin le plus court entre le compartiment V100 et l'interstice périphérique I220, en passant entre le cadre de compartiment 230 et la paroi 102 adjacente considérés.

[0086] De manière analogue, le deuxième recouvrement S232 présente une longueur de fuite L232, qui est égal à une distance minimale, mesurée parallèlement au plan moyen P50, entre deux points quelconques appartenant respectivement au bord externe 215 du cadre de compartiment 230 correspondant et au bord interne 214 du cadre de paroi 220 adjacent correspondant. Dans l'exemple de la [Fig.5], la longueur de fuite L232 du deuxième recouvrement S232 est la longueur du chemin le plus court entre l'interstice

périphérique I220 et l'extérieur de la cellule unitaire 100, en passant entre le cadre de compartiment 230 et le cadre de paroi 220 adjacent considérés.

[0087] Chaque longueur de fuite L231 ou L232 est supérieure ou égale à 1 mm, de préférence supérieure ou égale à 2 mm, de préférence encore supérieure ou égale à 3 mm. On assure ainsi une étanchéité supérieure à une valeur minimale, d'une part, entre chacun des compartiments V100 et l'extérieur de la cellule 100 et, d'autre part, entre deux compartiments V100 voisins.

[0088] De préférence, le cadre de compartiment 230 et les deux couches d'adhésifs 240 associées sont fabriquées par enduction d'un matériau adhésif sur les deux faces du cadre de compartiment 230, le cadre de compartiment 230 ainsi enduit étant ensuite découpé à la forme voulue, avant d'être assemblé aux autres éléments de la cellule unitaire 100.

[0089] L'ensemble formé par le cadre de compartiment 230 enduit des deux couches d'adhésif 240 associées forme ainsi un cadre dit « cadre adhésif double face ». Le cadre de compartiment 230 forme ainsi une âme continue et étanche de ce cadre adhésif double-face. Avantageusement, lors de la fabrication de la cellule unitaire 100, une plaque adhésive double-face est fournie, cette plaque adhésive double face comprenant une âme continue étanche, ici en PET, enduite sur ses deux faces d'un matériau adhésif. Le matériau adhésif est par exemple déposé par un procédé d'enduction sur les deux faces de l'âme. Cette plaque adhésive double face est ensuite découpée à la géométrie voulue, de manière à former, en une seule étape, le cadre de compartiment 230 et les deux couches d'adhésifs 240 associées.

[0090] Une telle structure d'étanchéité 200 ne comporte pas de passage d'entrée ni de sortie de fluide dans le compartiment V100 associé. Si une telle entrée et/ou sorte de fluide doit être prévue dans le compartiment, il est nécessaire, avec cette structure d'étanchéité 200, de la ménager par ailleurs, par exemple dans l'une des parois 102 qui délimitent le compartiment.

[0091] Une structure d'étanchéité 300, conforme à un autre mode de réalisation, est représenté sur la [Fig.6]. La structure d'étanchéité 300 diffère de la structure d'étanchéité 200 décrite précédemment, en ce que la structure d'étanchéité 300 comprend un cadre de compartiment qui est réalisé sous la forme d'un cadre de transfert 330 au travers duquel sont ménagés deux passages de fluide 332, de manière à laisser circuler le fluide de fonctionnement correspondant au compartiment V100. Un seul passage de fluide 332 est représenté sur la [Fig.6]. Les cadres de transfert 330 font donc partie des cadres 210. Dans ce mode de réalisation de la structure d'étanchéité 300, chaque cadre de compartiment 330 ne comprend que le cadre de transfert.

[0092] Un des deux passages 332 de fluide est une entrée pour le fluide de fonctionnement, tandis que l'autre passage 332 est une sortie pour le fluide de fonctionnement, les

notions d'« entrée » et de « sortie » dépendant du sens de circulation du fluide de fonctionnement. Les passages de fluide 332 relient ainsi le compartiment V100 et l'extérieur de la cellule 100.

[0093] De préférence, les passages de fluide 332 sont ménagés lors du découpage du cadre de transfert 330, le cadre de transfert 330 étant pris en sandwich entre les deux couches d'adhésif 240, de manière à solidariser, de manière étanche, vis-à-vis de l'extérieur, le cadre de transfert 330 aux cadres de paroi 220 adjacents et aux parois 102 associées.

[0094] En alternative non représentée, un passage de fluide est formé par un décaissement partiel, dans le sens de l'axe d'empilement A50, du cadre de transfert, un tel décaissement ayant une profondeur selon la direction d'empilement inférieure à l'épaisseur du cadre de transfert et une étendue circonférentielle.

[0095] Chaque passage 332 débouche dans le compartiment V100 associé par une embouchure interne 334, qui est ménagée sur le bord interne 214 du cadre de transfert 330. Chaque passage 332 débouche à l'extérieur du compartiment V100 par une embouchure externe 335.

[0096] Chaque passage 332 comprend ainsi une portion interne 334B, qui débouche par l'embouchure interne 334 dans le compartiment V100 correspondant. La portion interne 334B de chaque passage 332 est ménagée dans l'épaisseur du cadre de transfert 330. Un tel agencement permet ainsi de ménager de manière économique les passages 332 dans chacun des cadres de transfert 330, de manière à alimenter chaque compartiment V100 avec le fluide de fonctionnement correspondant.

[0097] Dans l'exemple illustré, l'embouchure externe 335 de chaque passage 332 du cadre de transfert 330 est avantageusement ménagée sur le bord externe 215 du cadre de transfert 335, de manière à communiquer fluidiquement avec l'un des conduits de circulation 38A, 38B ou 38C. L'un des passages 332 d'un cadre de transfert 330 communique ainsi avec l'un des conduits de circulation 38A, 38B ou 38C tandis que l'autre des passages 332 de ce même cadre de transfert 330 communique avec l'autre des conduits de circulation 38A, 38B ou 38C qui appartient à la même paire de conduits.

[0098] Autrement dit, pour chacun des deux passages 332 d'un même cadre de transfert 330, l'embouchure externe 335 associée à ce passage 332 débouche sur le bord externe 215 de ce cadre de transfert 330 dans un conduit distinct parmi les conduits de circulation de la paire associée.

[0099] En variante non illustrée, l'embouchure externe 335 est agencée autrement, par exemple orientée axialement et est agencée sur une des faces 213 du cadre de transfert 330, les embouchures externes étant alors de préférence alignées selon l'axe d'empilement A50 de manière à former des cheminées, qui s'étendent au travers des cadres 210, ces cheminées étant prévues pour la circulation des fluides de fonc-

tionnement, reprenant un agencement connu dans le domaine des plaques polaires dites à « manifold interne ».

[0100] Avantageusement, chaque passage 332 loge des ailettes 336 de guidage du fluide de fonctionnement associé. Alternativement, un seul des deux passage 332 comprend les ailettes 336. Au sein de chaque passage de fluide 332, les ailettes 336 forment des piliers, qui maintiennent à distance les deux couches d'adhésifs 240 associées au cadre de transfert 330 considéré. Deux ailettes voisines 336 délimitent entre elles un canal. Chaque passage de fluide 332 est donc formé de la réunion des canaux délimités entre les ailettes 336. La forme de chaque ailette 336 est choisie de manière à gêner le moins possible l'écoulement des fluides de fonctionnement passant par les passages 332, tout en assurant le transfert des efforts des efforts mécaniques de serrage de l'empilement 50, ces efforts de serrage étant parallèles à l'axe d'empilement A50.

[0101] Les ailettes 336 sont de préférence formées, lors de la fabrication du cadre de transfert 330, par découpage de ce cadre de transfert 330. Les ailettes 336 présentent ainsi une même épaisseur que le reste du cadre de transfert 330. Lorsque la cellule 100 est assemblée, les ailettes 336 sont maintenues au moyen des couches d'adhésifs agencées de part et d'autre du cadre de transfert 330 considéré, ici les couches d'adhésif 240, entre lesquelles est intercalé le cadre de transfert 330. Les ailettes 336 avantageusement sont réparties à distance les unes des autres au sein du passage 332 correspondant, de manière à orienter l'écoulement du fluide de fonctionnement associé. De préférence, les ailettes 336 sont régulièrement réparties dans le passage 332 correspondant.

[0102] Une structure d'étanchéité 400, conforme à un autre mode de réalisation, est représenté sur la [Fig.7]. La structure d'étanchéité 400 diffère de la structure d'étanchéité 300 décrite précédemment, en ce que la structure d'étanchéité 400 comprend un cadre de compartiment 430 qui inclut, outre le cadre de transfert 330 intercalé entre les deux couches d'adhésif 240 correspondantes, un cadre supplémentaire, dit premier cadre d'étanchéité 432, qui est intercalé entre le cadre de transfert 330 et l'une des couches d'adhésif 240 associées à ce cadre de transfert 330. Le premier cadre d'étanchéité 432 est ainsi adjacent à une paroi 102, à laquelle ce premier cadre d'étanchéité 432 est fixé par une des couches d'adhésif 240. Autrement dit le premier cadre d'étanchéité 432 est intercalé entre, d'une part, le cadre de transfert 330 et, d'autre part, une des deux parois 102 adjacente à ce cadre de transfert 330. Dans l'exemple de la [Fig.7], le premier cadre d'étanchéité 432 est associé à la paroi 102 et au cadre de paroi 220 situés sur le bas de la figure.

[0103] Le cadre de compartiment 430 inclut aussi un film adhésif 440, qui est intercalé entre le premier cadre d'étanchéité 432 et le cadre de transfert 330, de manière à fixer le cadre de transfert 330 au premier cadre d'étanchéité 432 adjacent.

[0104] De préférence, le film adhésif 440 est ici réalisé dans un matériau suffisamment dur, choisi de manière à éviter les fluages d'adhésif, notamment entre les ailettes 336, sous l'effet de la pression, et ainsi d'éviter l'obstruction des passages fluidiques 332. Le film adhésif 440 comprend ici des languette 441, qui correspondent aux ailettes 336 du cadre de transfert 330. Les languettes 441 forment ici une portion discontinue du film d'adhésif 440. En variante non représentée, le film adhésif 440 ne comprend pas de languette et est continu selon la direction circonférentielle autour de l'axe d'empilement A50, à la manière des couches d'adhésif 240.

[0105] Le cadre de transfert 330, et en particulier les ailettes 336, sont ainsi fixées au premier cadre d'étanchéité 432 par le premier film adhésif 440, tandis que ce premier cadre d'étanchéité 432 est fixé de manière étanche à la paroi 102 adjacente, et au cadre de paroi 220 en regard de cette paroi 102, par la couche d'adhésif 240 correspondante.

[0106] Le cadre d'étanchéité 432, qui s'étend en continu, selon la direction radiale et selon la direction circonférentielle autour de l'axe d'empilement A50, fait face à l'interstice périphérique I220 ménagé entre cette paroi 102 et le cadre de paroi 210 en regard, offrant ainsi à la couche d'adhésif 240 un support continu, ce qui améliore l'étanchéité du compartiment V100 correspondant par rapport à la situation sans cadre d'étanchéité 432. La présence d'un cadre d'étanchéité 432 est particulièrement avantageuse dans le cas où le fluide de fonctionnement circulant dans le compartiment V100 est un gaz, autrement dit dans le cas où le cadre de transfert 330 est ménagé autour du premier compartiment réactif V132 ou autour du deuxième compartiment réactif V134, où circulent respectivement de l'hydrogène et de l'air.

[0107] De préférence, le cadre d'étanchéité 432 présente la même forme, au sens du même contour interne et externe, que le cadre de transfert dont il fait partie. De même, de préférence, de préférence, le film adhésif 440 présente la même forme, au sens du même contour interne et externe, que le premier cadre d'étanchéité 432 et que le cadre de transfert correspondants.

[0108] Ainsi, les cadres d'étanchéité 432 sont de préférence adjacents à la membrane 130, et au cadre de paroi en regard de la membrane 130, du côté où le fluide de fonctionnement est de l'hydrogène, pour éviter les risques de pollution en hydrogène de l'autre côté de la membrane 130. De préférence encore, des cadres d'étanchéité 432 sont disposés dans chacun des compartiments réactifs V132 et V134, de part et d'autre de la membrane 130, de manière à éviter les transferts de gaz entre les deux compartiments réactifs V132 et V134.

[0109] De préférence, le cadre d'étanchéité 432 et la couche d'adhésif 240 associée sont fabriquées par enduction d'un matériau adhésif sur une des deux faces du cadre d'étanchéité 432, le cadre d'étanchéité 432 ainsi enduit étant ensuite découpé à la forme voulue, avant d'être assemblé aux autres éléments de la cellule unitaire 100.

[0110] L'ensemble formé par le cadre d'étanchéité 432 enduit d'une couche d'adhésif 240 associée forme ainsi un cadre dit « cadre adhésif simple face ». Le cadre d'étanchéité 432 forme ainsi une âme continue et étanche de ce cadre adhésif simple-face, cette continuité étant radiale et circonférentielle. Avantageusement, lors de la fabrication de la cellule unitaire 100, une plaque adhésive simple-face est fournie, cette plaque adhésive simple face comprenant une âme continue étanche, ici en PET, enduite sur une de ses deux faces d'un matériau adhésif. Le matériau adhésif est par exemple déposé par enduction sur une des faces de l'âme. Cette plaque adhésive simple face est ensuite découpée à la géométrie voulue, de manière à former, en une seule étape, le cadre d'étanchéité 432 et la couche d'adhésif 240 associée, les deux étant continus tant radialement que circonférentiellement sur toute l'étendue du cadre d'étanchéité 432.

[0111] Une structure d'étanchéité 500, conforme à un autre mode de réalisation, est représentée sur la [Fig.8]. La structure d'étanchéité 500 diffère de la structure d'étanchéité 400 décrite précédemment, en ce que la structure d'étanchéité 500 comprend, pour chaque cadre de transfert 330, deux cadres d'étanchéité 432, qui sont agencés de part et d'autre du cadre de transfert 330. La structure d'étanchéité 500 comprend aussi un deuxième film adhésif 440, qui est intercalé entre le deuxième cadre d'étanchéité 432 et le cadre de compartiment 330.

[0112] Par rapport aux structures d'étanchéité 300 et 400 décrites précédemment en référence aux figures 6 et 7, dans le cas de la structure d'étanchéité 500 représentée sur la [Fig.8], les surfaces des films adhésifs 440 orientées vers les passages de fluide 332 sont plus réduites, ce qui réduit les risques de pollution du compartiment V100 et du fluide de fonctionnement circulant dans ce compartiment V100. Le risque d'obstruction des passages de fluide 332 par le fluage des films adhésifs 442 est lui aussi réduit.

[0113] Le premier cadre d'étanchéité 432 et le deuxième cadre d'étanchéité 432 sont chacun intercalés entre, d'une part, le cadre de transfert 330 et, d'autre part, une des deux couches d'adhésif 240 respective. Le deuxième cadre d'étanchéité 432 est, d'une part, fixé à la paroi 102 et au cadre de paroi 210 correspondants par la couche d'adhésif 240 correspondante et, d'autre part, fixé au cadre de transfert 330 au moyen du deuxième film adhésif 440. Autrement dit, dans ce mode de réalisation de la structure d'étanchéité 500, le cadre de transfert 330, les deux cadres d'étanchéité 432 et les deux films d'adhésif 440 forment ensemble un cadre de compartiment 530 de cette structure d'étanchéité.

[0114] Avantageusement, pour chacun des deux cadres d'étanchéité 432, la couche d'adhésif 240 associée est enduite sur le cadre d'étanchéité 432, de manière à former un cadre adhésif simple face. Lors de la fabrication, chaque cadre 432 et la couche d'adhésif 240 associée sont formées au cours des mêmes étapes, par découpage d'une

plaque adhésive simple face.

[0115] On comprend que pour chaque paroi 102 de la cellule unitaire 100, lorsque les compartiments situés de chaque côté de cette paroi 102 comprennent des cadres de transfert 330 pris entre deux films d'adhésifs 440, il est particulièrement avantageux d'étancher l'interstice I220, à l'aide d'un cadre d'étanchéité 432 et d'une couche d'adhésif 240 associée, au moins sur une des faces 103 de cette paroi 102, car les films d'adhésifs 440 pourraient ne pas suffire pour garantir une étanchéité suffisante. Lorsque la paroi 102 est la membrane 130, la membrane 130 est de préférence étanchée sur chacune de ses deux faces par un cadre d'étanchéité 432 avec la couche d'adhésif 240 associée, de manière à maintenir la membrane 130, qui est ici réalisée en polymère fluoré et qui est plus fragile et plus difficile à coller que les séparateurs 110 et 120, qui sont ici réalisés en acier inoxydable.

[0116] Dans l'exemple de la [Fig.8], le compartiment V100 considéré est délimité par deux cadres d'étanchéité 432 et par les couches d'adhésifs 240 associées, améliorant encore plus l'étanchéité de ce cadre V100. En particulier, le compartiment V100 où le fluide de fonctionnement est de l'hydrogène est de préférence délimité par une telle structure d'étanchéité comprenant deux cadres d'étanchéité 432 de part et d'autre du cadre de compartiment 330.

[0117] De préférence encore, tous les compartiments V100 où circulent des gaz, soit ici le premier compartiment réactif V132 et le deuxième compartiment réactif V134, sont chacun délimités par deux cadres d'étanchéité 432 de part et d'autre d'un cadre de compartiment 330 associé à ce compartiment réactif.

[0118] La [Fig.9] illustre, pour un compartiment V100 considéré, respectivement, sur les inserts a) et b), deux structures d'étanchéité 500′ et 500″ alternatives de la structure d'étanchéité 500 représentée sur la [Fig.8].

[0119] Par rapport à la structure d'étanchéité 500 représentée à la [Fig.8], dans le cas de la structure d'étanchéité 500′ représentée à la figures 9 a), un des cadre d'étanchéité 432 et la couche d'adhésif 240 associée à ce cadre d'étanchéité 432 sont agencés de l'autre côté d'une des paroi 102 délimitant le compartiment V100, ici de l'autre côté de la paroi 102 située sur le bas de la [Fig.9] a), ce cadre d'étanchéité 432 appartenant donc, dans un empilement, au cadre de compartiment du compartiment voisin du compartiment V100 considéré, situé de l'autre côté de la paroi 102 située sur le bas de la [Fig.9] a). La couche d'adhésif 240 associée à cette paroi 102 est donc intercalée, de l'autre côté de la paroi 102 par rapport au compartiment V100 considéré, entre le cadre d'étanchéité 432 et la paroi 102, de manière à obturer l'interstice I220. L'interstice I220 n'est pas représenté sur la [Fig.9].

[0120] Par rapport à la structure d'étanchéité 500 représentée à la [Fig.8], dans le cas de la structure d'étanchéité 500″ représentée à la [Fig.9] b), les deux cadres d'étanchéité 432

et les couches d'adhésif 240 associées à chacun de ces cadres d'étanchéité 432 sont agencés de l'autre côté des deux paroi 102 délimitant le compartiment V100. Autrement dit, le cadre de transfert 330 associé au compartiment V100 de la [Fig.9] b) est intercalé entre les deux cadres de parois 220 qui l'encadrent immédiatement dans la direction d'empilement A50, sans interposition d'aucun cadre d'étanchéité entre ce cadre de transfert 330 et ces deux cadres de parois 220. En revanche, de tels cadres d'étanchéité 432 sont prévus immédiatement au contact de chacun de ces deux cadres de parois 220 avec, pour chaque cadre de paroi seulement interposition d'une couche d'adhésif 240 entre le cadre d'étanchéité 432 et le cadre de paroi. Dans un empilement, ces deux cadres d'étanchéité 432 appartiennent donc chacun respectivement à l'un des deux cadres de compartiment des deux compartiments voisins du compartiment V100 considéré, situés respectivement de l'autre côté de la paroi 102 située sur le bas de la [Fig.9] b) et de l'autre côté de la paroi 102 située vers le haut de la [Fig.9] b).

[0121] Dans tous les cas dans lesquels le cadre de compartiment comprend un cadre d'étanchéité 432, et notamment dans tous les cas où ce cadre d'étanchéité 432 est intercalé entre un cadre de transfert 330, appartenant au même cadre de compartiment, et un cadre de paroi 220, la couche d'adhésif 240, qui est donc interposée entre, d'une part, le cadre d'étanchéité, et, d'autre part, la paroi 102 et le cadre de paroi 220 associé à cette paroi, inclut nécessairement une première portion de couche, qui s'étend face au premier recouvrement entre le cadre de compartiment (ici le cadre d'étanchéité faisant partie de ce cadre de compartiment) et la paroi, de manière à fixer, de manière étanche, le cadre de compartiment à la paroi. Cette première portion de couche 241 est donc dans ces cas face au et au contact du cadre d'étanchéité 432 et de la paroi. Cette même couche d'adhésif 240 inclut la deuxième portion de couche 242, qui s'étend face au deuxième recouvrement entre le cadre de compartiment (ici encore le cadre d'étanchéité faisant partie de ce cadre de compartiment) et le cadre de paroi, de manière à fixer, de manière étanche, le cadre de compartiment au cadre de paroi. Cette deuxième portion de couche 242 est donc dans ces cas face au et au contact du cadre d'étanchéité 432 et du cadre de paroi 220. Bien entendu, la première portion de couche 241 d'adhésif et la deuxième portion de couche 242 d'adhésif font de préférence partie d'une même couche d'adhésif 240, comme dans les illustrations, qui s'étend de manière continue sur une face du cadre de compartiment, en l'occurrence une face du cadre d'étanchéité 432, les deux première et deuxième portions de couche d'adhésif 241 et 242 étant donc continues tant radialement que circonférentiellement sur toute l'étendue du cadre d'étanchéité 432, de manière à obturer l'interstice périphérique I220 en regard du cadre de compartiment 220.

[0122] Les structures d'étanchéité 500, 500′ et 500″ représentées aux figures 8 et 9 peuvent ainsi être choisies, selon les besoins, pour chacun des compartiments V100 d'une

cellule unitaire 100, et par extension pour l'empilement 50.

[0123] De manière générale, les épaisseurs de chaque élément des structures d'étanchéité 200, 300, 400 ou 500, à savoir les épaisseurs des cadres de paroi 220, des cadres de compartiment 220, des cadres de transfert 330, des cadres d'étanchéité 432, ainsi que les épaisseurs des couches d'adhésif 240 ou des films d'adhésif 440, sont ajustées en fonction de la structure de chaque cellule unitaire 100, en particulier en fonction de la nature de chaque paroi 102 et des divers éléments reçus dans chacun des compartiments V100 de la cellule unitaire 100.

[0124] Ainsi, chaque cadre d'étanchéité 432 est réalisé en un matériau polymère, par exemple en PET, et présente une épaisseur, mesurée parallèlement à l'axe d'empilement A50, comprise entre 10 µm et 20 µm, de préférence égale à 12 µm.

[0125] Le film adhésif 440 intercalé entre chaque cadre d'étanchéité 432 et le cadre de transfert 330 correspondant présente une épaisseur, mesurée parallèlement à l'axe d'empilement A50, comprise entre 6 µm et 30 µm, de préférence comprise entre 8 µm et 20 µm, de préférence comprise entre 10 µm et 15 µm.

[0126] Chaque cadre de transfert 330 est réalisé en un matériau polymère, par exemple en PET, et présente une épaisseur, mesurée parallèlement à l'axe d'empilement A50, comprise entre 50 µm et 600 µm, de préférence comprise entre 80 µm et 150 µm, de préférence encore égale à 100 µm.

[0127] Pour chaque couche d'adhésif 240, la première portion de couche et la deuxième portion de couche présentent chacune une épaisseur, mesurée parallèlement à l'axe d'empilement, comprise entre 15 µm et 30 µm, de préférence comprise entre 18 µm et 25 µm, de préférence égale à 20 µm. De préférence, l'épaisseur est identique pour la première portion de couche et la deuxième portion de couche.

[0128] La cellule unitaire 100 est représentée schématiquement en coupe sur la [Fig.10]. Comme indiqué en pointillé, cette cellule unitaire est répétée dans l'empilement.

[0129] Le premier compartiment réactif V132 loge ici un exemplaire de l'entretoise 700 du deuxième type. En périphérie du premier compartiment réactif V132, les cadres 210 qui forment le cadre de compartiment correspondant à ce compartiment comprennent un cadre de transfert 330, qui ménage les deux passages 332 associés au premier compartiment réactif V132, et deux cadres d'étanchéité 432, un de chaque côté du cadre de transfert 330, qui sont chacun fixés au cadre de transfert 330 par un film d'adhésif 440 respectif.

[0130] Le deuxième compartiment réactif V134 loge ici un exemplaire de l'entretoise 600 du premier type. En périphérie du deuxième compartiment réactif V134, les cadres 210 qui forment le cadre de compartiment correspondant à ce compartiment réactif V134 comprennent un cadre de transfert 330, qui ménage les deux passages 332 associés au deuxième compartiment réactif V132, et deux cadres d'étanchéité 432, un de chaque

côté du cadre de transfert 330, qui sont chacun fixés au cadre de transfert 330 par un film d'adhésif 440 respectif.

[0131] Le compartiment de refroidissement V136 loge ici un deuxième exemplaire de l'entretoise 700 du deuxième type. En périphérie du compartiment de refroidissement V136, les cadres 210 qui forment le cadre de compartiment correspondant à ce compartiment comprennent uniquement un cadre de transfert 330, qui ménage les deux passages 332 associés au compartiment de refroidissement réactif V132.

[0132] On note cependant qu'une structure de d'étanchéité donnée peut être mise en œuvre quel que soit le type de l'entretoise contenue dans un compartiment donné.

[0133] Sur la [Fig.10], les passages 332 sont représentés schématiquement par des flèches en pointillés. En particulier, les passages 332 pour chacun des compartiments V132, V134 et V136 sont représentés comme s'ils étaient alignés selon l'axe d'empilement A50, cette illustration étant schématique. Comme on le voit sur la [Fig.4], l'emplacement et l'étendue selon la direction circonférentielle des passages 332 sont ajustés en fonction du type et de l'orientation des entretoises d'irrigations 600 ou 700. De préférence, comme illustré sur la [Fig.4], les passages 332 pour chacun des compartiments V132, V134 et V136 d'une même cellule unitaire 100 sont décalés les uns des autres sur le périmètre de la cellule, de préférence en étant sensiblement diamétralement opposés l'un par rapport à l'autre. En revanche, les passages 332 de chacun des premiers compartiments réactifs V132 de l'ensemble des cellules unitaire 100 de l'empilement sont de préférence alignés selon l'axe d'empilement A50. De même, les passages 332 de chacun des deuxième compartiments réactifs V134 de l'ensemble des cellules unitaire 100 de l'empilement sont de préférence alignés selon l'axe d'empilement A50, et les passages 332 de chacun des compartiments de refroidissement V136 de l'ensemble des cellules unitaire 100 de l'empilement sont de préférence alignés selon l'axe d'empilement A50.

[0134] Dans l'exemple de la [Fig.10], le premier compartiment réactif V132 et le deuxième compartiment réactif V134 sont chacun délimités par un cadre de compartiment comprenant deux cadres d'étanchéité 432 respectifs, agencés de part et d'autre d'un cadre de transfert 300, chaque cadre d'étanchéité 432 étant adjacent à une 102 paroi respective. Ainsi l'interstice périphérique I220 associé à la paroi 102 séparant les deux compartiments réactifs V132 et V134, autrement dit l'interstice I220 associé à la membrane 130, est obturé, sur les deux faces de la membrane 130, par un cadre d'étanchéité 432 respectif. Pour chaque cadre de compartiment du premier compartiment réactif V132 et du deuxième compartiment réactif V134, chaque cadre d'étanchéité 432 est fixé au cadre de transfert par un film d'adhésif 440. Le cadre de compartiment ainsi formé est associé à deux couches d'adhésif 240 agencées de part et d'autre du cadre de compartiment selon l'axe d'empilement A50. Chacune de ces deux

couches d'adhésif 240 est donc interposée entre, d'une part, un cadre d'étanchéité 432, et, d'autre part, la paroi 102 et le cadre de paroi 220 associé à cette paroi.

[0135] Dans l'exemple de la [Fig.10], le compartiment de refroidissement V136 est délimité par un cadre de compartiment comprenant seulement un cadre de transfert 330, sans cadre d'étanchéité 432. Ainsi, l'interstice périphérique I220 associé au premier séparateur 110 n'est obturé par un cadre d'étanchéité 432 que d'un seul côté du premier séparateur 110, et ce cadre d'étanchéité 432 apparentant au cadre de compartiment du compartiment voisin, à savoir ici au premier compartiment réactif V132. De même, par l'effet de motif dû à l'empilement de cellules identiques, l'interstice périphérique I220 associé au deuxième séparateur 120 n'est obturé par un cadre d'étanchéité 432 que d'un seul côté du premier séparateur 110, ce cadre d'étanchéité 432 apparentant au cadre de compartiment du premier compartiment réactif V132. Bien entendu, pour sécuriser l'étanchéité, on aurait pu prévoir, pour le compartiment de refroidissement V136, un cadre de compartiment comprenant un cadre d'étanchéité d'un seul côté du cadre de transfert 330, ou comprenant deux cadres d'étanchéité, de chaque côté, du cadre de transfert 330.

[0136] Une cellule unitaire 200 conforme à un mode de réalisation alternatif est représentée sur la [Fig.11]. La cellule unitaire 200 comprend le premier compartiment réactif V132 et le deuxième compartiment réactif V134, mais ne comprend pas de compartiment de refroidissement. Le refroidissement de la cellule unitaire 200 est ici assuré par le passage de l'air, qui circule ici dans le deuxième compartiment réactif V134.

[0137] À la différence de la cellule unitaire 100 du mode de réalisation précédent, le deuxième compartiment réactif V134 est ici délimité par un cadre de compartiment comprenant un seul cadre d'étanchéité 432. Dans l'exemple de la [Fig.11], l'interstice périphérique I220 associé à la membrane 130 est obturé d'un seul côté par un cadre d'étanchéité 432. Pour compenser l'absence du cadre d'étanchéité sans que ne soit diminuée la hauteur du compartiment, le cadre de transfert 330 reçu dans le deuxième compartiment réactif présente ici une épaisseur supérieure au cadre de transfert 330 du mode de réalisation précédent, de sorte que le passage de fluide 332 autorise un débit supérieur du fluide de fonctionnement associé – ici l'air –, qui sert à la fois à la réaction électrochimique de la pile à combustible et au refroidissement de la pile.

[0138] Quel que soit le nombre de compartiments V100 de la cellule unitaire 100, avec ou sans compartiment de refroidissement V136, pour chaque compartiment V100, et pour chacune des parois 102 délimitant ce compartiment V100, l'interstice périphérique I220 associé à cette paroi 102 est obturé, sur au moins une des faces de cette paroi 102, par un cadre d'étanchéité 432, qui est fixé à cette paroi par la couche d'adhésif 240 associée. Dit autrement, l'interstice périphérique I220 associé à cette paroi 102 est obturé, sur au moins une des faces de cette paroi, par un cadre continu sur toute la cir-

conférence de cet interstice I220.

[0139] De préférence, le compartiment réactif où circule l'hydrogène, ici le premier compartiment V132, est délimité par un cadre de compartiment comprenant deux cadres d'étanchéité 432 agencés de part et d'autre d'un cadre de transfert 330 selon l'axe d'empilement A50, chacun de ces cadres d'étanchéité 432 obturant un interstice périphérique I220 associé aux deux parois 201 délimitant ce compartiment réactif. Chaque cadre d'étanchéité est fixé au cadre de transfert par un film d'adhésif 440. Le cadre de compartiment ainsi formé est associé à deux couches d'adhésif 240 agencées de part et d'autre du cadre de compartiment selon l'axe d'empilement A50. Chacune de ces deux couches d'adhésif 240 est donc interposée entre, d'une part, un cadre d'étanchéité 432, et, d'autre part, la paroi 102 et le cadre de paroi 220 associé à cette paroi.

[0140] De préférence, chaque cadre d'étanchéité 432 et la couche d'adhésif 240 associée sont réalisés par découpage d'une plaque adhésive simple face.

[0141] De préférence, chaque cadre de transfert 330 et les deux films adhésifs 440 associés sont réalisés par découpage d'une plaque adhésive double face.

[0142] On décrit à présent l'entretoise d'irrigation 600 du premier type à l'aide des figures 12 et 13.

[0143] L'entretoise d'irrigation 600, dite aussi simplement « entretoise 600 », présente une forme globalement rectangulaire, avec deux grands côtés opposés et deux petits côtés opposés, et plane, qui s'étend orthogonalement à un axe de hauteur A600. Lorsque l'entretoise 600 est reçue dans le compartiment V100 correspondant, l'axe de hauteur A600 est parallèle à l'axe d'empilement A50. Les grands côtés s'étendent parallèlement à un axe longitudinal X600 de l'entretoise 600, tandis que les petits côtés s'étendent parallèlement à un axe transversal Y600 de l'entretoise 600. L'axe longitudinal X600, l'axe transversal Y600 et l'axe de hauteur A600 forment ensemble un repère orthogonal.

[0144] L'entretoise 600 comprend deux plaques de distribution 602, incluant une première plaque 602A et une deuxième plaque 602B. Les plaques de distribution 602 comprennent chacune deux faces opposées, incluant une première face 604 et une deuxième face 605.

[0145] Les deux plaques 602 sont empilées à plat l'une sur l'autre selon l'axe de hauteur A600, qui est orthogonal à un plan moyen P600 de l'entretoise d'irrigation 600. Lorsque l'entretoise 600 est reçue dans le compartiment V100, le plan moyen P600 de l'entretoise d'irrigation 600 est donc orthogonal à l'axe d'empilement A50, ou encore parallèle au plan moyen P50 de la cellule unitaire 100 correspondante.

[0146] Chaque plaque de distribution 602 est fabriquée par découpage dans une tôle métallique et présente une épaisseur comprise entre 30 μm et 300 μm, de préférence comprise entre 50 μm et 100 μm, de préférence encore égale, à ±5%, à 75 μm.

De préférence, les plaques de distribution 602 présentent la même épaisseur.

[0147] Chaque plaque de distribution 602 comprend des perforations 610, qui sont formées par découpage de cette plaque de distribution 602. Les perforations 610 sont traversantes, c'est-à-dire que les perforations 610 débouchent sur les deux faces opposées 604 et 605 de cette plaque de distribution 602.

[0148] Les perforations 602 sont agencées de manière à former un réseau 612 de canaux lorsque les deux plaques 602 sont empilées, le réseau 612 de canaux étant configuré pour former un champ d'écoulement d'un fluide de fonctionnement circulant dans le compartiment V100 où l'entretoise d'irrigation 600 est logée.

[0149] L'entretoise d'irrigation 600 comprend une entrée 613A de fluide et une sortie 613B de fluide, l'entrée 613A et la sortie 613B étant fluidiquement reliées l'une à l'autre par le réseau de canaux 612. Les notions d'« entrée » et de « sortie » sont relatives, et dépendent du sens de circulation du fluide d'écoulement. Dans l'exemple illustré, l'entrée 613A et la sortie 613B sont respectivement ménagés sur les petits côtés de l'entretoise 600.

[0150] Les perforations 610 de chaque plaque de distribution 602 présentent une forme allongée, deux perforations voisines 610 s'étendant le long l'une de l'autre et étant séparées l'une de l'autre par une bande 614 de matière. Chaque perforation 610 est délimitée par deux bords longitudinaux 616 opposés, chacun des deux bords longitudinaux 616 correspondant l'un de bord des deux bandes 614 de matière qui délimitent chaque perforation 610.

[0151] Chaque plaque de distribution 602 comprend aussi des traverses 618, qui s'étendent à travers les perforations 610, dans l'épaisseur de la plaque de distribution 602, et qui maintiennent les bandes 614 à distance les unes des autres. Chaque traverse 618 relie ainsi l'un à l'autre les deux bords longitudinaux 616 de la perforation 610 à travers de laquelle s'étend cette traverse 618.

[0152] Chaque bande 614 de la première plaque 602A est superposée, selon l'axe de hauteur A600, avec une bande 614 respective de deuxième plaque 602B, délimitant une première portion 620 du réseau 612 de canaux. Dit autrement, dans la première portion 620 du réseau 612 de canaux, chaque perforation 610 de la première plaque 602A est alignée, selon l'axe de hauteur A600, avec une perforation 610 respective de la deuxième plaque 602B, de manière à former chaque canal du réseau 612. L'entretoise d'irrigation 600 ne comprend ici qu'une seule portion 620, autrement dit la première portion 620 représente l'entièreté du réseau 612 de canaux. La première portion 620 du réseau 612 est représentée par un cadre en pointillés.

[0153] À la première portion 620 du réseau 612 de canaux correspond, sur chacune des plaques de distribution 602, une première portion 621 de ces plaques de distribution 602. Pour chaque plaque 602 de distribution de l'entretoise d'irrigation 600 du premier

type, la première portion 621 de cette plaque 602 représente donc l'entièreté de cette plaque.

[0154] Les traverses 618 de la première plaque 602A sont décalées, dans le plan moyen P600 de l'entretoise 600, par rapport aux traverses 618 de la deuxième plaque 602B, de manière à ne pas empêcher la circulation des fluides de fonctionnement dans les canaux de la première portion 620 du réseau 612 de canaux de l'entretoise d'irrigation 600.

[0155] Sur l'insert c) de la [Fig.13], un détail de l'entretoise 600 est représenté pris en sandwich entre deux éléments de la cellule 100, à savoir entre la membrane 130 et le deuxième séparateur 120. La circulation du fluide de fonctionnement est représentée par une flèche F612. On comprend que le fluide circulant dans chaque canal du réseau 612 s'écoule le long de chaque canal tout en contournant les traverses 618, qui sont décalées les unes des autres selon la direction du canal, deux traverses 618 de l'entretoise 600, qui s'étendent à travers un canal donné et qui n'appartiennent pas à une même plaque de distribution 602, étant donc décalées l'une de l'autre selon la direction du canal.

[0156] Dans la première portion 620 du réseau de canaux, les bandes 614 de chaque plaque de distribution 602 sont de préférence parallèles les unes aux autres. En résultat, les perforations 610, et donc les canaux du réseau 612, sont aussi parallèles les uns aux autres, de manière à réduire les pertes de charge du fluide de fonctionnement circulant dans l'entretoise 600.

[0157] Avantageusement, pour chacune des plaques de distribution 602 pour l'entretoise d'irrigation 600 d'un compartiment donné, chaque bande 614 de matière s'étend de manière continue de l'entrée 613A de fluide jusqu'à la sortie 613B de fluide de l'entretoise 600, de sorte que chaque canal du réseau 612 s'étend de manière continue de l'entrée 613A jusqu'à la sortie 613B. Autrement dit, il n'y a pas de bifurcation ou de jonction des perforations 610, de manière à réduire les pertes de charge du fluide de fonctionnement circulant dans l'entretoise 600.

[0158] De préférence, dans la première portion 620 du réseau 612 de canaux, les bandes 614 de l'entretoise d'irrigation 600 sont rectilignes en projection orthogonale sur le plan moyen P600 de l'entretoise 600. Ainsi les canaux de la première portion du réseau de canaux sont rectilignes.

[0159] De préférence, dans la première portion 620 du réseau 612 de canaux, les perforations 610 présentent chacune une même largeur l610, qui est comprise entre 0,2 mm et 1,1 mm, tandis que les bandes 614 de matière séparant deux perforations 610 voisines présentent chacune une largeur l614 comprise entre 0,2 mm et 0,7 mm. On assure ainsi à la fois un bon écoulement du fluide de fonctionnement, et un bon transfert des forces de compression, parallèles à l'axe de hauteur A600, qui s'exercent

sur l'entretoise 600 lorsque l'entretoise 600 est reçue dans une pile à combustible 20.

[0160] De préférence, dans la première portion 620 du réseau 612 de canaux, chaque traverse 618 présente une hauteur égale à une hauteur des bandes 614 de matière adjacentes à la perforation 610 dans laquelle cette traverse 618 est disposée, la hauteur des traverses et la hauteur des bandes étant mesurée parallèlement à l'axe de hauteur. Le procédé de fabrication est ainsi simplifié, chaque plaque de distribution 602 étant produite par simple découpage.

[0161] On décrit à présent l'entretoise d'irrigation 700 du deuxième type à l'aide des figures 14 et 15. Les éléments identiques à ceux de l'entretoise d'irrigation 600 du premier type portent les mêmes références.

[0162] Alors que pour l'entretoise 600 du premier type, chaque canal du réseau 612 de canaux est rectiligne d'un bout à l'autre, c'est-à-dire de l'entrée 613A jusqu'à la sortie 613B, l'entretoise 700 du deuxième type comprend un réseau de canaux 712, dans lesquels chaque canal est formé de plusieurs portions rectilignes, deux portions consécutives n'étant pas alignées entre elles.

[0163] L'entretoise 700 comprend une entrée 713A et une sortie 713B, qui sont chacune ménagée sur un des grands côtés respectifs du rectangle. Avantageusement, chaque canal du réseau 712 s'étend de manière continue de l'entrée 713A jusqu'à la sortie 713B.

[0164] Le réseau 712 de canaux comprend plusieurs portions distinctes. Au sein de chaque portion, les perforations 610 sont parallèles entre elles, deux perforations 610 adjacentes étant séparées l'une de l'autre par une bande 614 de matière respective

[0165] Dans l'exemple illustré, le réseau 712 de canaux comprend trois portions consécutives, incluant une première portion 714A, une deuxième portion 714B, et une troisième portion 714C, les contours des trois portions 714A, 741B et 714C étant matérialisés en pointillés sur les figures 14 et 15. Plus généralement, le nombre de portions est choisi en fonction de la géométrie de l'entretoise, de l'agencement de l'entrée de fluide et de la sortie de fluide, etc. Ce qui est valable pour les première et deuxième portions 714A et 714B du réseau 712 de canaux est transposable à deux portions consécutives quelconques du réseau 712 du réseau de canaux.

[0166] L'entretoise 700 comprend deux plaques de distribution 702, incluant une première plaque 702A et une deuxième plaque 702B. Les portions 714A, 714B et 714C du réseau 712 de canaux se retrouvent, avec les références 724A, 724B et 724C, sur chacune des plaques 702. Sur la [Fig.14], seules les première et deuxième portions 724A et 724B de chacune des première et deuxième plaques de distribution 702A et 702B sont visibles. On décrit le principe de fonctionnement de l'entretoise 700 en référence aux première et deuxième portions 714A et 714B du réseau 712 de canaux.

[0167] Pour chacune des première et deuxième plaques de distribution 702A et 702B, dans

chacune des première et deuxièmes portions 724A et 724B, les perforations 610 sont parallèles entre elles, deux perforations 610 adjacentes étant séparées l'une de l'autre par une bande 614 de matière respective.

[0168] Chaque bande 614 de la deuxième portion 724B de la première plaque 702A est superposée, selon l'axe de hauteur A600, avec une bande 614 respective de la deuxième portion 724B de la deuxième plaque 702B, de manière à former des canaux d'une deuxième portion 714B du réseau 712 de canaux de l'entretoise d'irrigation 700, les canaux de la deuxième portion 714B du réseau 712 de canaux étant parallèles entre eux.

[0169] Pour chaque plaque de distribution 702A ou 702B, chaque bande 614 de la première portion 724A de cette plaque de distribution se prolonge, de manière continue, avec une bande 614 de la deuxième portion 724B de cette même plaque de distribution.

[0170] Pour chaque plaque de distribution 702A ou 702B, les bandes 614 de la première portion 724A sont rectilignes et parallèles les unes aux autres, les canaux de la première portion 714A du réseau 712 s'étendant selon un premier axe d'écoulement 716A, tandis que les bandes 614 de la deuxième portion 724B sont rectilignes et parallèles les unes aux autres, les canaux de la deuxième portion 714B du réseau 712 s'étendant selon un deuxième axe d'écoulement 716B. Le premier axe d'écoulement 716A et le deuxième axe d'écoulement 716B sont chacun représentés par une flèche respective aux figures 14 et 15. Le premier axe d'écoulement 716A est ici parallèle à l'axe transversal Y600, tandis que le deuxième axe d'écoulement 716B est ici parallèle à l'axe longitudinal X100.

[0171] Le premier axe d'écoulement 716A et le deuxième axe d'écoulement 716B sont distincts, c'est-à-dire que le fluide de fonctionnement circulant dans chaque canal du réseau 712 change de direction au passage de la première portion 714A à la deuxième portion 714B.

[0172] Le premier axe d'écoulement 716A et le deuxième axe d'écoulement 716B forment entre eux un angle compris entre 1 et 179°, de préférence compris entre 30°et 150°, de préférence encore compris entre 60° et 120°. Dans l'exemple illustré, le premier axe d'écoulement 716A et le deuxième axe d'écoulement 716B forment entre eux un angle égal à 90°.

[0173] Dans les exemples illustrés, chacun des compartiments parmi le premier compartiment réactif V132, le deuxième compartiment réactif V134 et le premier compartiment de refroidissement V126 loge une entretoise d'irrigation 600 ou 700 conforme à l'invention.

[0174] En variante non représentée, un seul des logements V100 de la cellule unitaire 100 reçoit une entretoise d'irrigation d'un autre type, les deux autres logements V100 recevant chacun une entretoise d'irrigation conforme à l'invention. Selon une autre

variante non représentée, un seul des logements V100 de la cellule unitaire 100 reçoit une entretoise d'irrigation conforme à l'invention, les deux autres logements V100 recevant chacun une entretoise d'irrigation d'un autre type.

[0175] Les modes de réalisation et les variantes mentionnées ci-dessus peuvent être combinés entre eux pour générer de nouveaux modes de réalisation de l'invention.

Revendications

[Revendication 1] Cellule unitaire (100) d'un empilement (50) de pile à combustible (20), dans laquelle :

- la cellule unitaire comprend plusieurs parois (102), qui sont chacune continues et étanches et qui sont empilées les unes sur les autres selon un axe d'empilement (A50), ces parois (102) délimitant des compartiments (V100) de la cellule unitaire et incluant :
  - un premier séparateur (110),
  - un deuxième séparateur (120), et
  - une membrane (130) échangeuse de protons, qui est intercalée entre le premier séparateur et le deuxième séparateur,
- le premier séparateur délimite avec la membrane un premier compartiment réactif (V132), le premier compartiment réactif (V132) étant configuré pour recevoir un premier fluide de fonctionnement de la pile à combustible,
- le deuxième séparateur délimite avec la membrane (130) un deuxième compartiment réactif (V134), le deuxième compartiment réactif (V132) étant configuré pour recevoir un deuxième fluide de fonctionnement de la pile à combustible,
- les compartiments (V100) de la cellule unitaire incluent le premier compartiment réactif (V132) et le deuxième compartiment réactif (V134),
- la cellule comprend aussi une structure d'étanchéité (200 ; 300 ; 400 ; 500), la structure d'étanchéité comprenant des cadres (210), qui sont chacun réalisés en un matériau polymère et qui sont empilés selon l'axe d'empilement (A50), les cadres étant agencés en périphérie des parois (102) et des compartiments,

caractérisée en ce que, pour au moins un des compartiments (V100) de la cellule unitaire (100), et pour au moins une des deux parois (102) délimitant ce au moins un compartiment :

- les cadres (210) de la structure d'étanchéité incluent :
  - un cadre de paroi (220), qui est coplanaire à la paroi

correspondante et qui entoure cette paroi, un bord interne (214) de chaque cadre de paroi (220) étant agencé en regard d'un bord externe (105) de cette paroi (102), le bord interne du cadre de paroi (220) et le bord externe de la paroi étant en regard l'un de l'autre et étant séparés par un interstice périphérique (I220),

- un cadre de compartiment (230 ; 330 ; 430 ; 530), qui est agencé en périphérie du compartiment (V100) correspondant, le cadre de compartiment comprenant un bord interne (214), qui est orienté vers le compartiment (V100) correspondant et qui délimite ce compartiment radialement à l'axe d'empilement (A50), et un bord externe (215), opposé au bord interne, le bord interne présentant un contour interne, tandis que le bord externe présente un contour externe,
- des couches d'adhésifs (240), qui sont intercalées chacune entre, d'une part, un cadre de compartiment, et, d'autre part, la paroi et le cadre de paroi adjacents à ce cadre de compartiment, de manière à fixer, de manière étanche, les cadres les uns aux autres,

- le contour interne du cadre de compartiment (230 ; 330 ; 430 ; 530) est inclus, en projection selon l'axe d'empilement (A50), dans un contour externe de la paroi, de manière qu'une portion annulaire de la paroi fait face, selon l'axe d'empilement, à une portion complémentaire du cadre de compartiment et forme un premier recouvrement (S231) du cadre de compartiment sur la paroi,
- un contour interne du cadre de paroi (220) est inclus, en projection selon l'axe d'empilement, dans le contour externe du cadre de compartiment, de manière qu'une portion annulaire du cadre de paroi fait face à une portion complémentaire du cadre de compartiment et forme un deuxième recouvrement (S232) du cadre de compartiment sur le cadre de paroi,
- les couches d'adhésifs incluent une première portion de couche (241), qui s'étend face au premier recouvrement

(S231) entre le cadre de compartiment et la paroi adjacente, de manière à fixer, de manière étanche, le cadre de compartiment à la paroi, et

- les couches d'adhésifs incluent une deuxième portion de couche (242), qui s'étend face au deuxième recouvrement entre le cadre de compartiment et le cadre de paroi adjacent, de manière à fixer, de manière étanche, le cadre de compartiment au cadre de paroi.

[Revendication 2] Cellule unitaire (100) selon la revendication 1, dans laquelle :

- le premier séparateur (110) est configuré pour séparer de manière étanche le premier compartiment réactif (V132) d'un premier compartiment de refroidissement (V136), qui est configuré pour recevoir un troisième fluide de fonctionnement de la pile à combustible (20),
- les compartiments (V100) de la cellule unitaire incluent, outre le premier compartiment réactif (V132) et le deuxième compartiment réactif (V134), le premier compartiment de refroidissement (V136).

[Revendication 3] Cellule unitaire (100) selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, dans laquelle la première portion de couche (241) d'adhésif et la deuxième portion de couche (242) d'adhésif font partie d'une même couche d'adhésif (240), qui s'étend de manière continue sur une face du cadre de compartiment (230 ; 330 ; 430 ; 530), de manière à obturer l'interstice périphérique (I220) adjacent au cadre de compartiment.

[Revendication 4] Cellule unitaire (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans laquelle :

- le premier recouvrement (S231) présente une longueur de fuite (L231), qui est égale à une distance minimale, mesurée parallèlement au plan moyen (P50), entre deux points quelconques appartenant respectivement au bord interne (214) du cadre de compartiment correspondant et au bord externe (105) de la paroi (102) adjacente correspondante,
- le deuxième recouvrement (S232) présente une longueur de fuite (L232), qui est égal à une distance minimale, mesurée pa-

rallèlement au plan moyen (P50), entre deux points quelconques appartenant respectivement au bord externe (215) du cadre de compartiment correspondant et au bord interne (214) du cadre de paroi (220) adjacent correspondant,

- chaque longueur de fuite est supérieure ou égale à 1 mm, de préférence supérieure ou égale à 2 mm, de préférence encore supérieure ou égale à 3 mm.

[Revendication 5] Cellule unitaire (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans laquelle, pour au moins un des cadres de compartiment :

- ce cadre de compartiment comporte un cadre de transfert (330) qui ménage deux passages (332) de fluide, les deux passages étant prévus pour la circulation du fluide de fonctionnement associé entre le compartiment (V100) correspondant et l'extérieur de la cellule unitaire (100),
- chaque passage (332) débouche dans le compartiment (V100) associé par une embouchure interne (334), qui est ménagée sur le bord interne (214) du cadre de transfert, et
- chaque passage (332) débouche à l'extérieur du compartiment (V100) par une embouchure externe (335).

[Revendication 6] Cellule unitaire (100) selon la revendication 5, dans laquelle :

- chaque passage (332) comprend une portion interne (334B), qui débouche par l'embouchure interne (334) dans le compartiment (V100), la portion interne (334B) du passage étant ménagée dans l'épaisseur du cadre de transfert (330).

[Revendication 7] Cellule unitaire (100) selon l'une quelconque des revendications 5 ou 6, dans laquelle l'embouchure externe (335) est ménagée sur le bord externe (215) du cadre de transfert (330).

[Revendication 8] Cellule unitaire (100) selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, dans laquelle, pour au moins un cadre de transfert (330) :

- au moins un des deux passages (332) loge des ailettes (336) de guidage du fluide de fonctionnement associé,
- les ailettes sont formées par découpage de ce cadre de transfert (330) et sont réparties à distance les unes des autres au sein du

passage correspondant, de manière à orienter l'écoulement du fluide de fonctionnement associé,

- les ailettes (336) sont maintenues au moyen des couches d'adhésifs (240) entre lesquelles est intercalé le cadre de transfert correspondant.

[Revendication 9] Cellule unitaire (100) selon la revendication 5 à 8, dans laquelle,

- pour au moins un des premier et deuxième compartiments réactifs (V132, V134), le cadre de compartiment (430 ; 530) comprend :
  - le cadre de transfert (330),
  - un premier cadre d'étanchéité (432), qui est intercalé entre, d'une part, le cadre de transfert et, d'autre part, une première des deux parois (102) adjacente au cadre de compartiment et le cadre de paroi (220) en regard de cette première paroi,
  - un premier film d'adhésif (440), qui est intercalé entre le premier cadre d'étanchéité (432) et le cadre de transfert (330),
- le premier cadre d'étanchéité (432) est, d'une part, fixé à la première paroi (102) et au cadre de paroi (220) en regard par la couche d'adhésif (240) associée à la première paroi et, d'autre part, fixé au cadre de transfert (330) par le premier film d'adhésif (440).

[Revendication 10] Cellule unitaire (100) selon la revendication 9, dans laquelle :

- le cadre de compartiment (530) comprend, outre le premier cadre d'étanchéité (432) :
  - un deuxième cadre d'étanchéité (432), le premier et le deuxième cadre d'étanchéité étant agencés de part et d'autre du cadre de transfert (330), le deuxième cadre d'étanchéité étant intercalé entre, d'une part, le cadre de transfert et, d'autre part, une deuxième des deux parois (102) adjacente au cadre de compartiment et le cadre de paroi (220) associé à cette deuxième paroi, la deuxième paroi étant différente de la première

paroi,

- un deuxième film adhésif (440), qui est intercalé entre le deuxième cadre d'étanchéité (432) et le cadre de transfert (330),

- le deuxième cadre d'étanchéité (432) est, d'une part, fixé à la deuxième paroi (102) et au cadre de paroi (220) en regard par la couche d'adhésif (240) correspondante et, d'autre part, fixé au cadre de transfert (330) par le deuxième film d'adhésif (440).

[Revendication 11] Cellule unitaire (100) selon l'une quelconque des revendication 9 ou 10, dans laquelle, pour au moins un cadre d'étanchéité (432), le film d'adhésif (240) associé à ce cadre d'étanchéité est enduit, de manière continue, sur une face de ce cadre d'étanchéité (432).

[Revendication 12] Cellule unitaire (100) selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, dans laquelle, pour au moins un cadre d'étanchéité (432) :

- ce cadre d'étanchéité est réalisé en un matériau polymère, par exemple en PET, et présente une épaisseur, mesurée parallèlement à l'axe d'empilement (A50), comprise entre 10 μm et 20 μm, de préférence égale à 12 μm,
- le film d'adhésif (440) intercalé entre ce cadre d'étanchéité et le cadre de transfert (330) correspondant présente une épaisseur, mesurée parallèlement à l'axe d'empilement, comprise entre 6 μm et 30 μm, de préférence comprise entre 8 μm et 20 μm, de préférence comprise entre 10 μm et 15 μm.

[Revendication 13] Cellule unitaire (100) selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, dans laquelle :

- pour chaque compartiment (V100) de la cellule unitaire et pour chacune des parois (110, 120, 130) délimitant ce compartiment (V100), l'interstice périphérique (I200) associé à cette paroi est obturé, sur au moins une des faces de cette paroi, par un cadre d'étanchéité (432).

[Revendication 14] Cellule unitaire (100) selon l'une quelconque des revendications 5 à 13, dans laquelle, pour au moins un cadre de transfert (330) :

- ce cadre de transfert est réalisé en un matériau polymère, par exemple en PET, et présente une épaisseur, mesurée parallèlement à l'axe d'empilement (A50), comprise entre 50 µm et 200 µm, de préférence comprise entre 80 µm et 150 µm, de préférence encore égale à 100 µm,
- chacune des première portion de couche (241) d'adhésif et chacune des deuxièmes portion de couche (242) d'adhésif présente une épaisseur, mesurée parallèlement à l'axe d'empilement (A50), comprise entre 15 µm et 30 µm, de préférence comprise entre 18 µm et 25 µm, de préférence égale à 20 µm.

[Revendication 15] Pile à combustible (20), comprenant un empilement (50) formé de plusieurs cellules unitaires (100) empilées selon l'axe d'empilement (A50), chaque cellule unitaire étant conforme à l'une quelconque des revendications précédentes, et une chemise (24), qui ménage un volume interne (V24) dans lequel est logé l'empilement, dans laquelle :

- les cadres (210) de la structure d'étanchéité (200 ; 300 ; 400 ; 500) de chacune des cellules unitaire présentent chacun un bord externe (215) propre, avec un contour externe associé,
- les contours externes de tous les cadres de chaque structure d'étanchéité sont superposés les uns aux autres selon l'axe d'empilement (A50), les bords externes de tous les cadres de toutes les structures d'étanchéité formant ensemble une surface externe (S50) de l'empilement, qui présente une forme de cylindre centré sur l'axe d'empilement,
- la surface externe (S50) de l'empilement ménage des organes de maintien (52), qui sont configurés pour coopérer avec des organes complémentaires (30) ménagés dans le volume interne (V24) de la chemise, de manière à maintenir l'empilement (50) au sein du volume interne et à ménager un volume périphérique (V50) entre l'empilement (50) et la chemise (24), et
- les organes de maintien et les organes complémentaires sont conçus pour diviser le volume périphérique (V50) en plusieurs conduits (38A, 38B, 38C) de circulation des fluides de fonctionnement de la pile à combustible.

[Revendication 16] Pile à combustible selon la revendication 15, dans laquelle :

- pour chaque compartiment (V100) de chaque cellule unitaire (100), le cadre de compartiment (330) associé comporte un cadre de transfert qui ménage deux passages (332) de fluide, les deux passages étant prévus pour la circulation du fluide de fonctionnement associé entre le compartiment (V100) correspondant et l'extérieur de la cellule unitaire (100),
- chaque passage (332) débouche dans le compartiment (V100) associé par une embouchure interne (334), qui est ménagée sur le bord interne (214) du cadre de transfert, et
- chaque passage (332) débouche à l'extérieur du compartiment (V100) par une embouchure externe (335).

[Revendication 17] Pile à combustible (20) selon la revendication 16, dans laquelle :

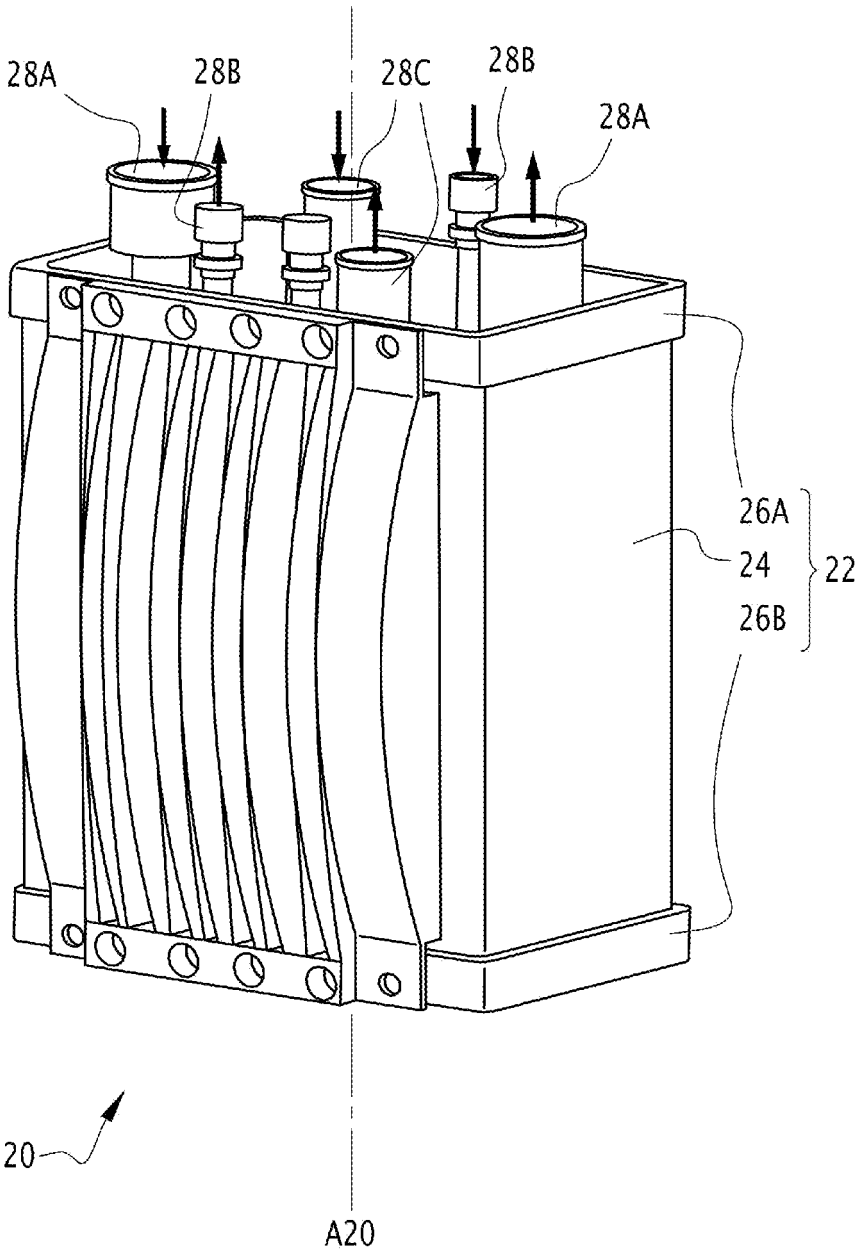
- l'embouchure externe (335) est ménagée sur le bord externe (215) du cadre de transfert (330),
- la pile à combustible ménage deux premières paires de conduits de circulation (38A, 38B), qui sont respectivement associés aux premier et deuxième fluides de fonctionnement de la pile à combustible,
- les cellules unitaires (100) sont conformes à l'une quelconque des revendications 5 à 14
- pour chaque cellule unitaire :
  - chacun des deux compartiments (V100) choisi parmi le premier compartiment réactif (V132) et le deuxième compartiment réactif (V134), est associé à une paire des premiers conduits (38A, 38B) respective,
  - les cadres de compartiment (330 ; 430 ; 530) associés à chacun des deux compartiments réactifs (V132, V134) de cette cellule unitaire comprennent chacun un cadre de transfert (330) avec deux passages (332) chacun, l'embouchure externe (335) de chaque passage étant ménagée sur un bord externe (215) du cadre de transfert correspondant,
  - les deux passages (332) d'un même cadre de transfert, débouchent chacun dans un conduit distinct parmi les

deux conduits de circulation de la paire de conduits associée.

[Revendication 18] Pile à combustible (20) selon la revendication précédente, dans laquelle :

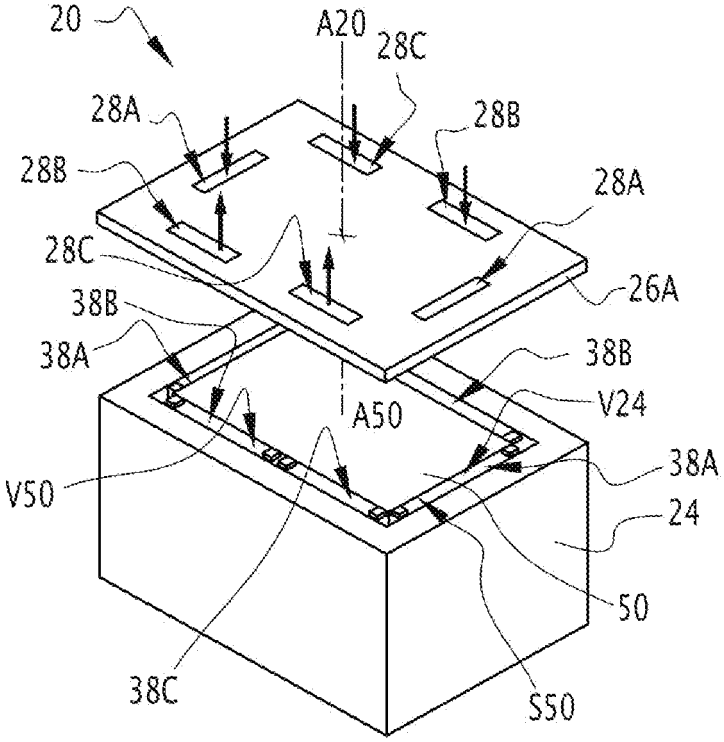
- pour chaque cellule unitaire (100), le premier séparateur (110) est configuré pour séparer de manière étanche le premier compartiment réactif (V132) d'un premier compartiment de refroidissement (V136), qui est configuré pour recevoir un troisième fluide de fonctionnement de la pile à combustible,
- la pile à combustible ménage, outre les deux premières paires de conduits de circulation (38A, 38B), une troisième paire de conduits de circulation (38C), les conduits de circulation (38C) de la troisième paire étant associés au troisième fluide de fonctionnement,
- pour chaque cellule unitaire :
  - chacun des trois compartiments (V100) choisi parmi le premier compartiment réactif (V132), le deuxième compartiment réactif (V134) et le premier compartiment de refroidissement (V136), est associé à une paire respective parmi les trois paires de conduits (38A, 38B, 38C),
  - les cadres de compartiment (330 ; 430 ; 530) associés à chacun des trois compartiments (V132, V134, V136) de cette cellule unitaire comprennent chacun un cadre de transfert (330) avec deux passages (332) chacun, l'embouchure externe (335) de chaque passage étant ménagée sur un bord externe (215) du cadre de transfert correspondant,
  - les deux passages (332) d'un même cadre de transfert, débouchent chacun dans un conduit distinct parmi les deux conduits de circulation de la paire de conduits associée.

[Fig. 1]

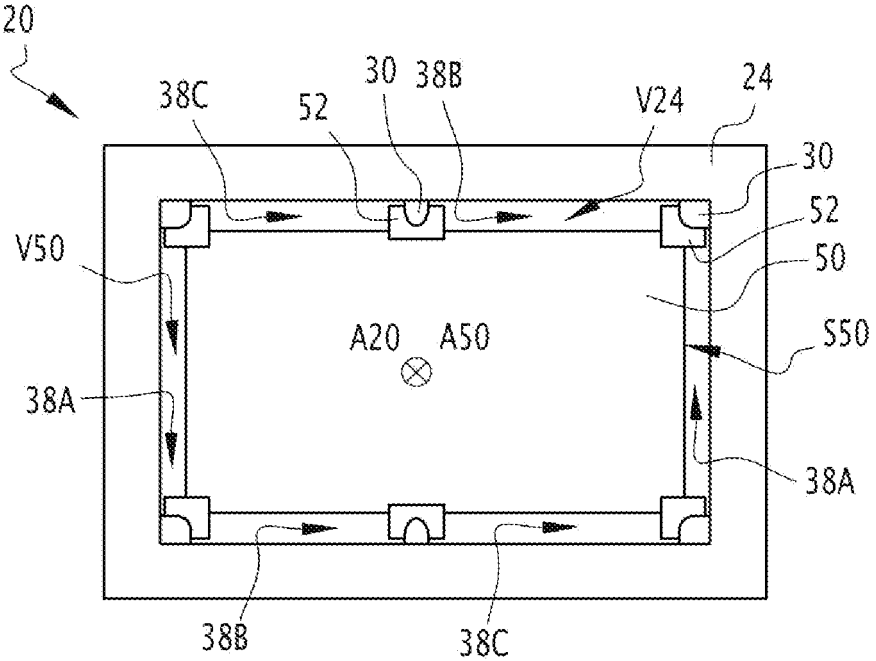


[Fig. 2]

a)

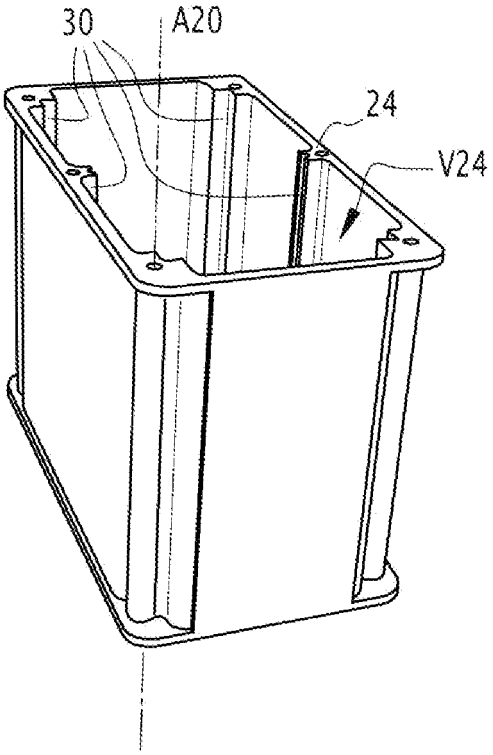

20
A20
28C
28A
28B
28B
28A
28C
26A
38B
38A
38B
V24
A50
38A
V50
24
50
38C
S50

b)

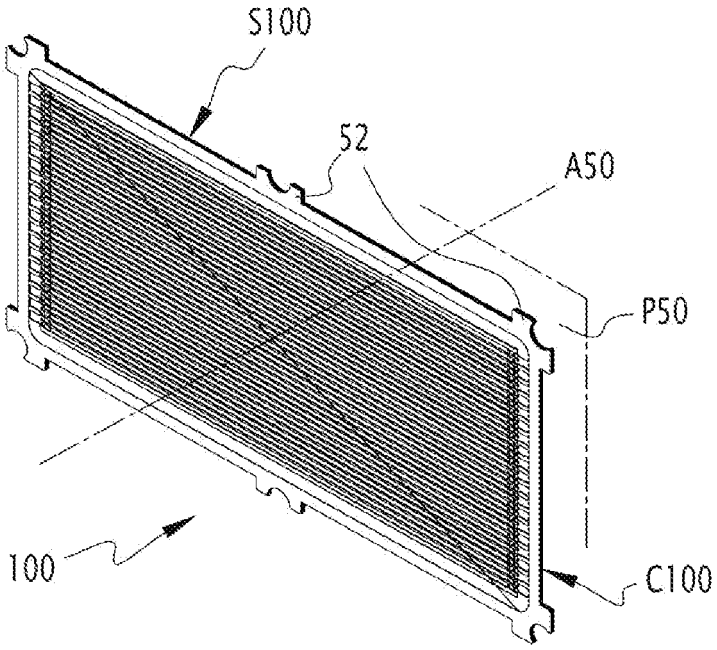

20
38C
52
30
38B
V24
24
30
52
50
V50
A20
A50
S50
38A
38A
38B
38C

[Fig. 3]

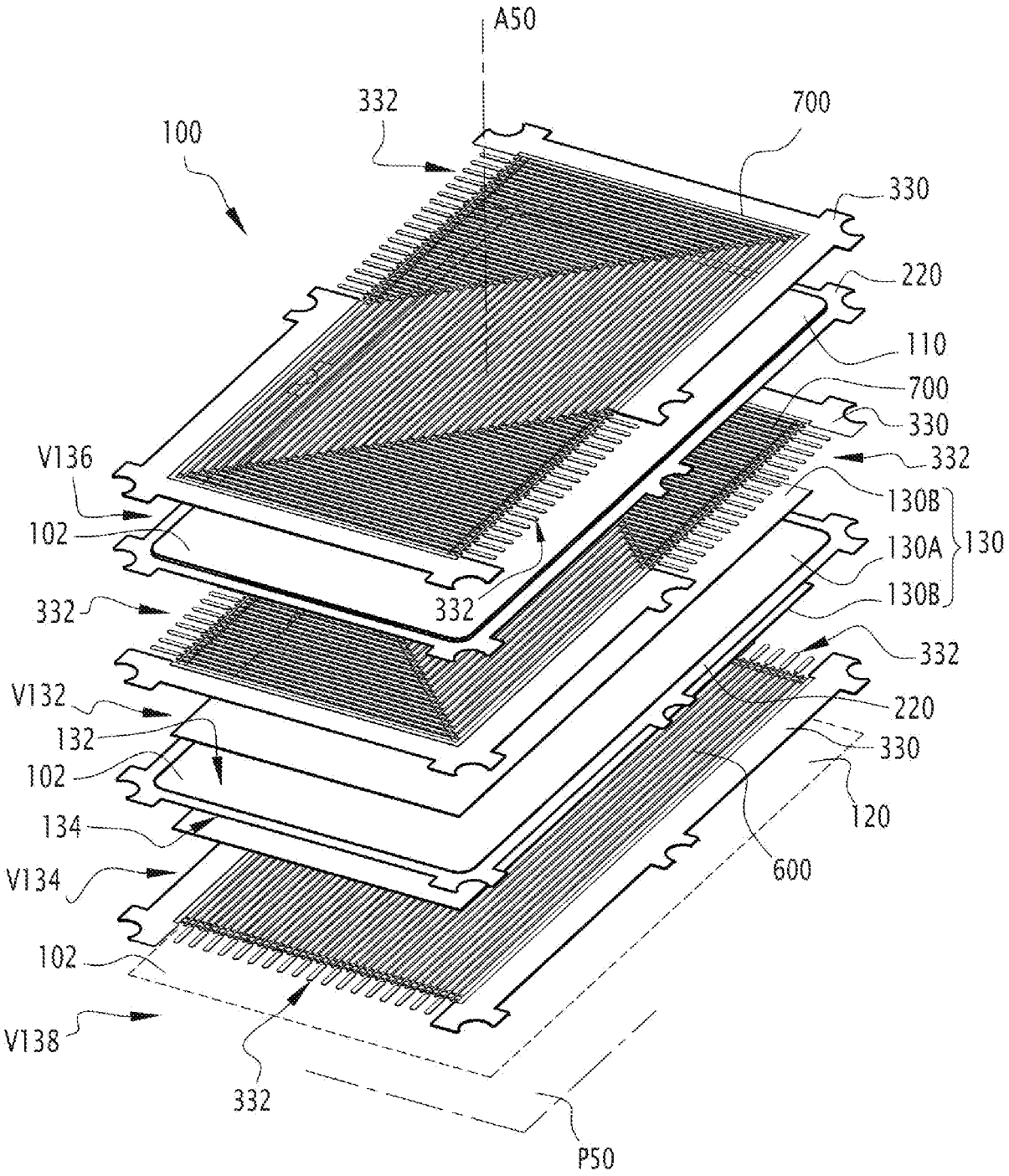
a)



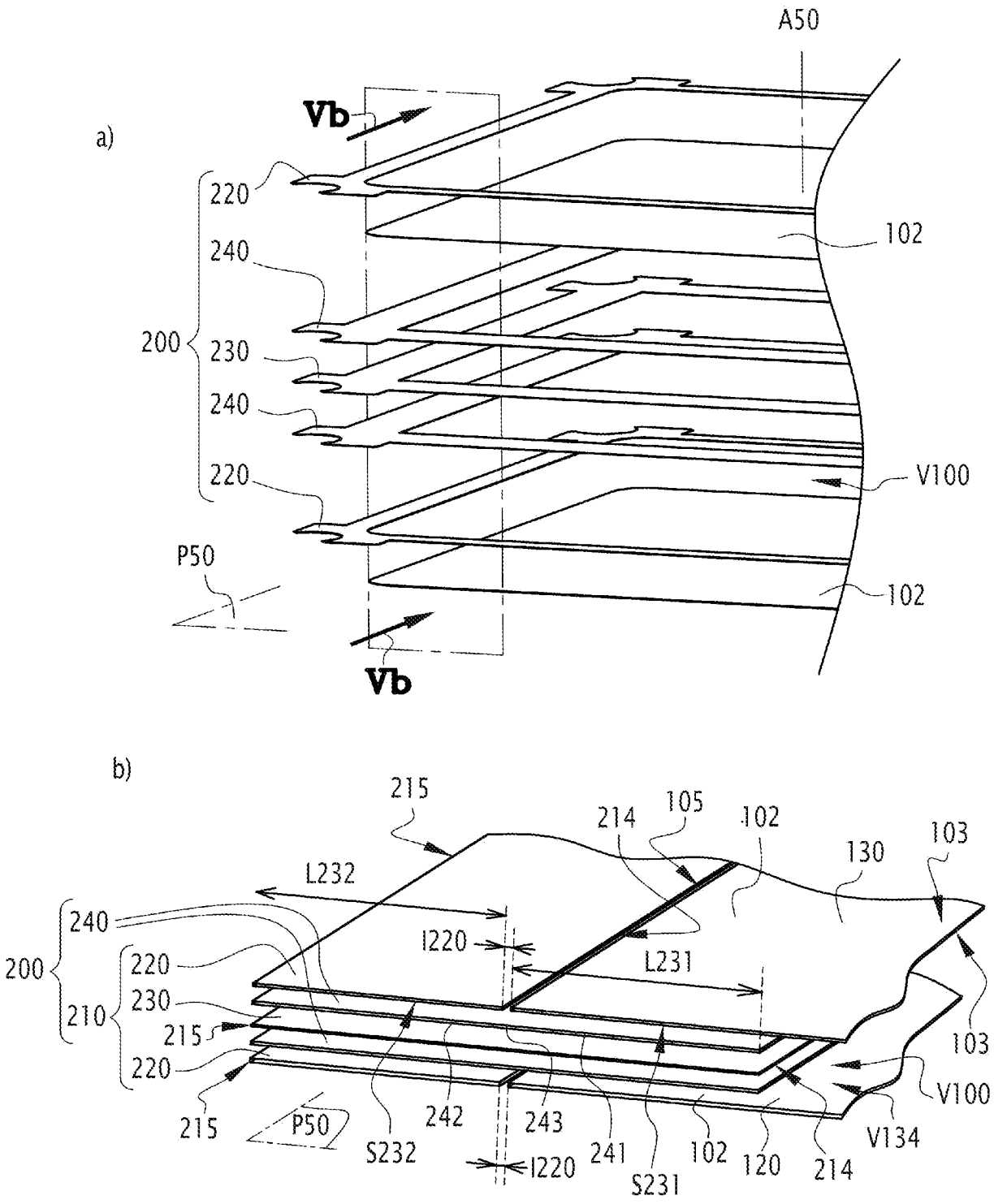
b)



[Fig. 4]

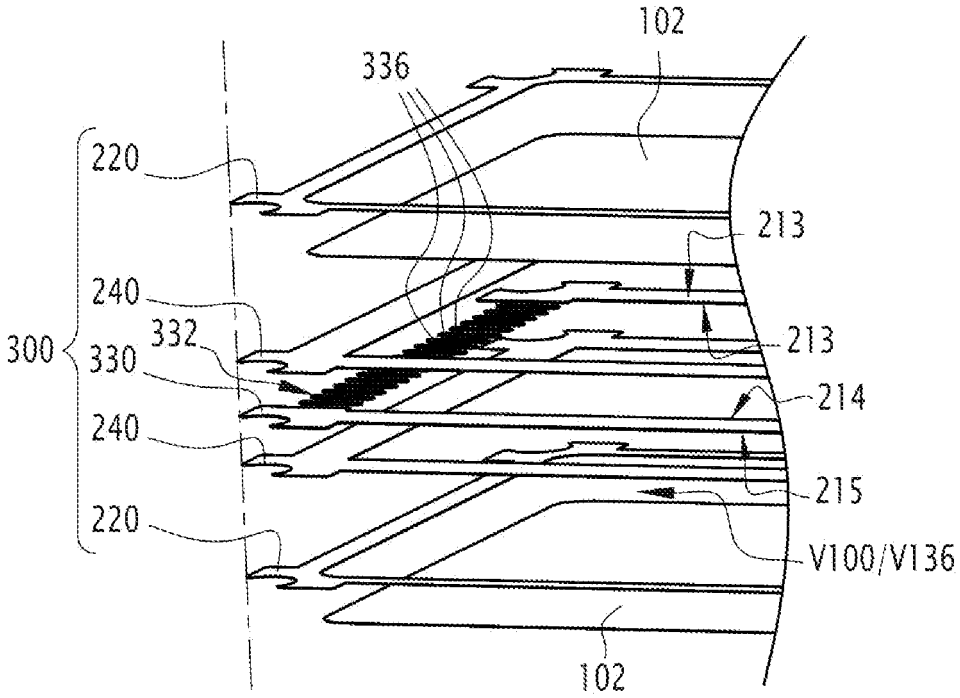

A50
332
700
100
330
220
110
700
330
V136
332
102
130B
130A
130
332
130B
332
V132
220
132
330
102
120
134
600
V134
102
V138
332
P50

[Fig. 5]

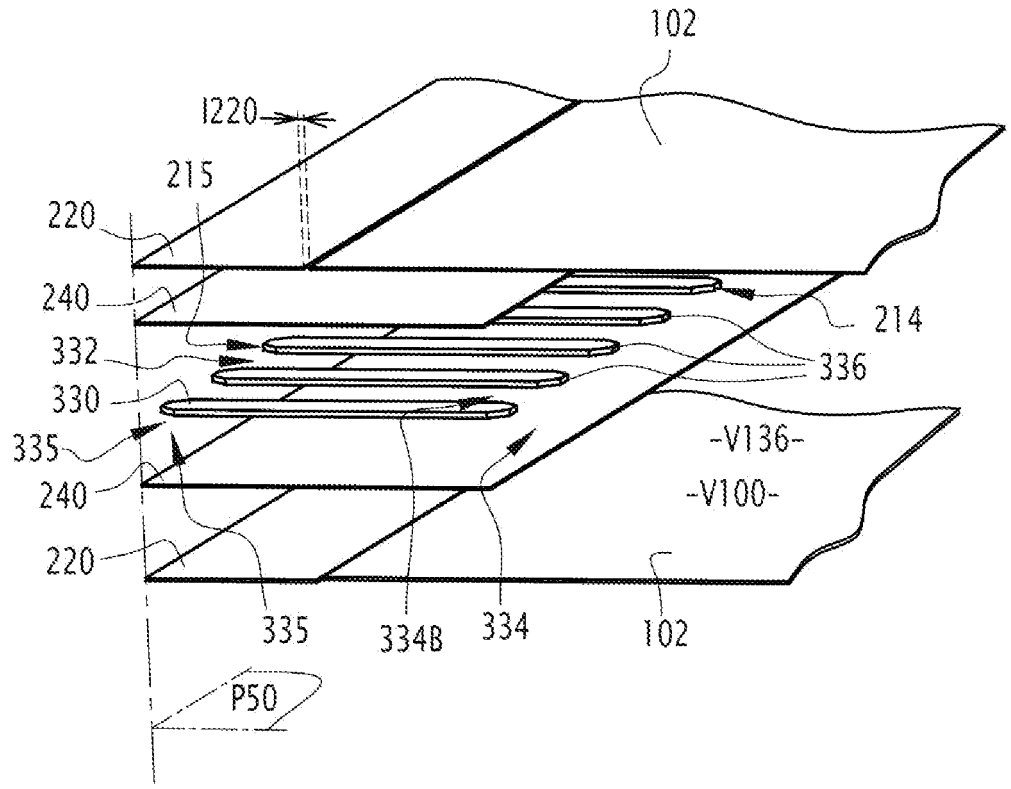

a)
A50
Vb
220
240
200
230
240
220
102
V100
P50
102
Vb
b)
215
214
105
102
130
103
L232
240
200
220
210
230
215
220
l220
L231
103
V100
V134
215
P50
242
243
241
S232
l220
S231
102
120
214

[Fig. 6]

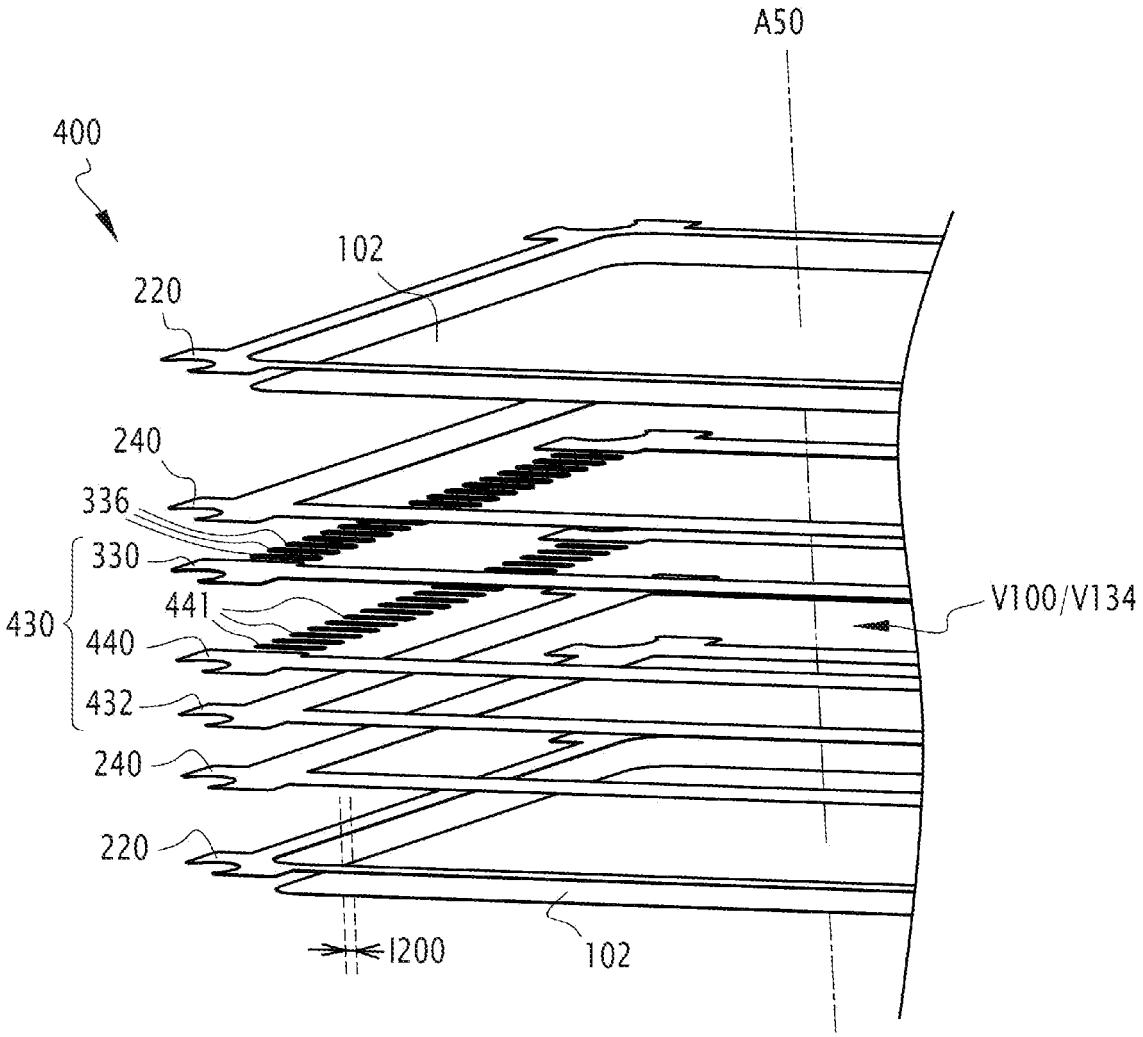
a)


102
336
220
213
240
300
332
213
330
214
240
215
220
V100/V136
102

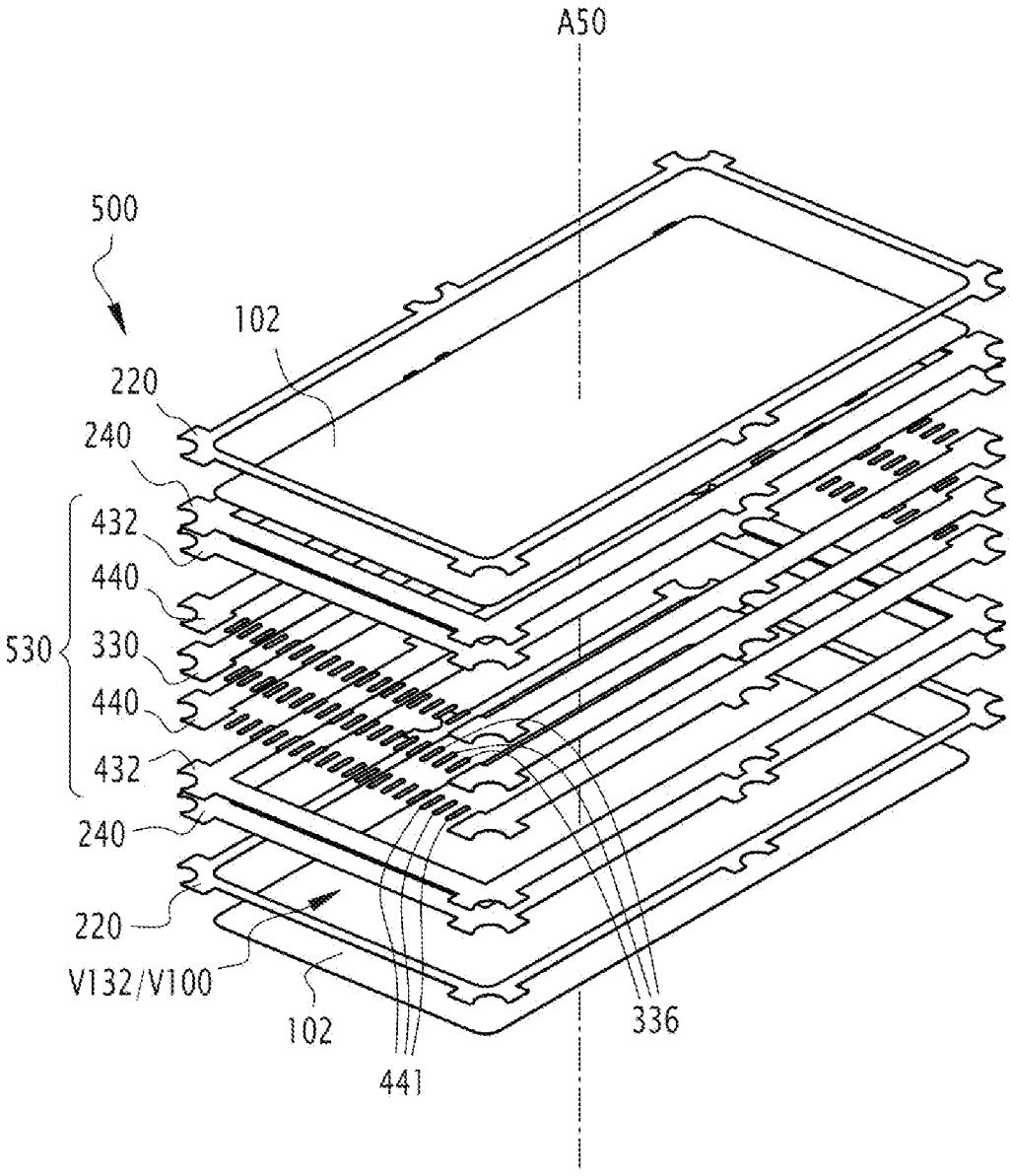
b)


102
l220
215
220
240
214
332
336
330
335
-V136-
-V100-
240
220
335
334B
334
102
P50

[Fig. 7]

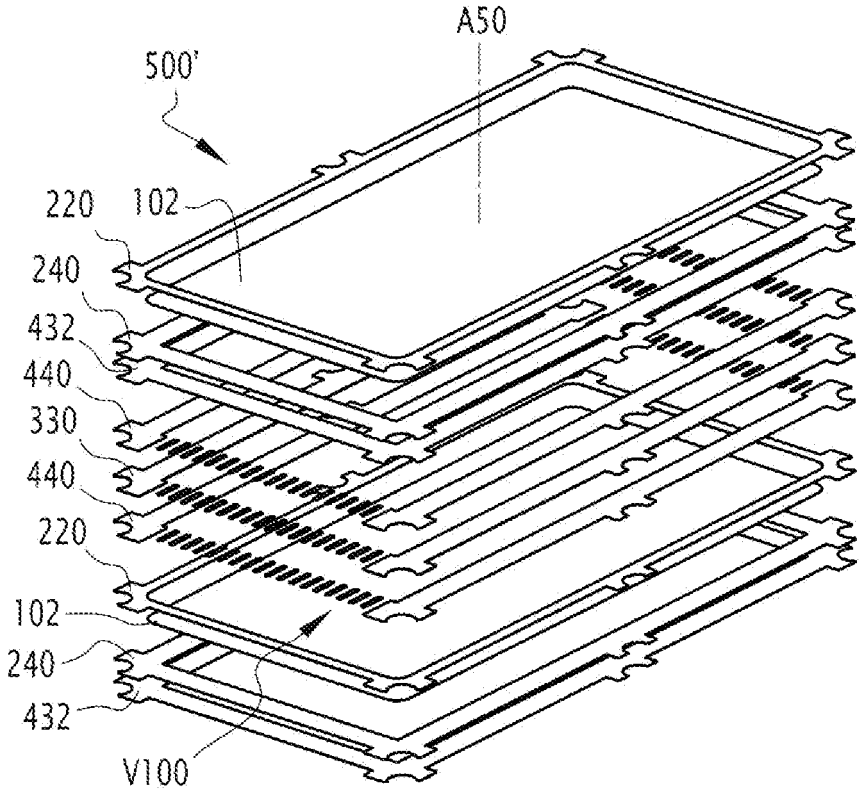

A50
400
102
220
240
336
330
430
441
440
432
240
220
V100/V134
l200
102

[Fig. 8]

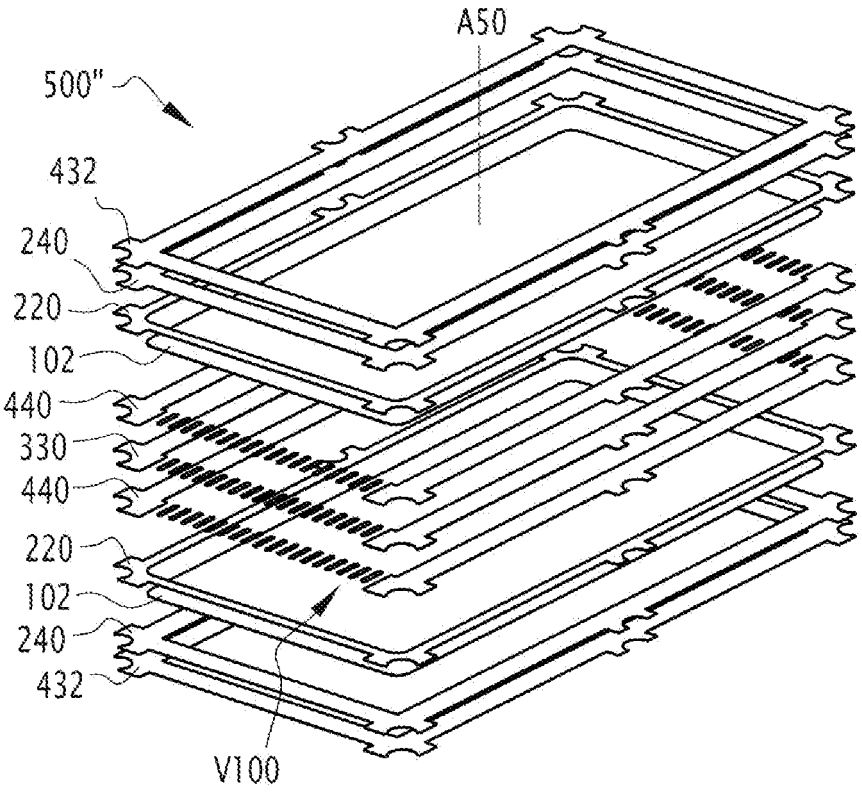

A50
500
102
220
240
530
432
440
330
440
432
240
220
V132/V100
102
441
336

[Fig. 9]

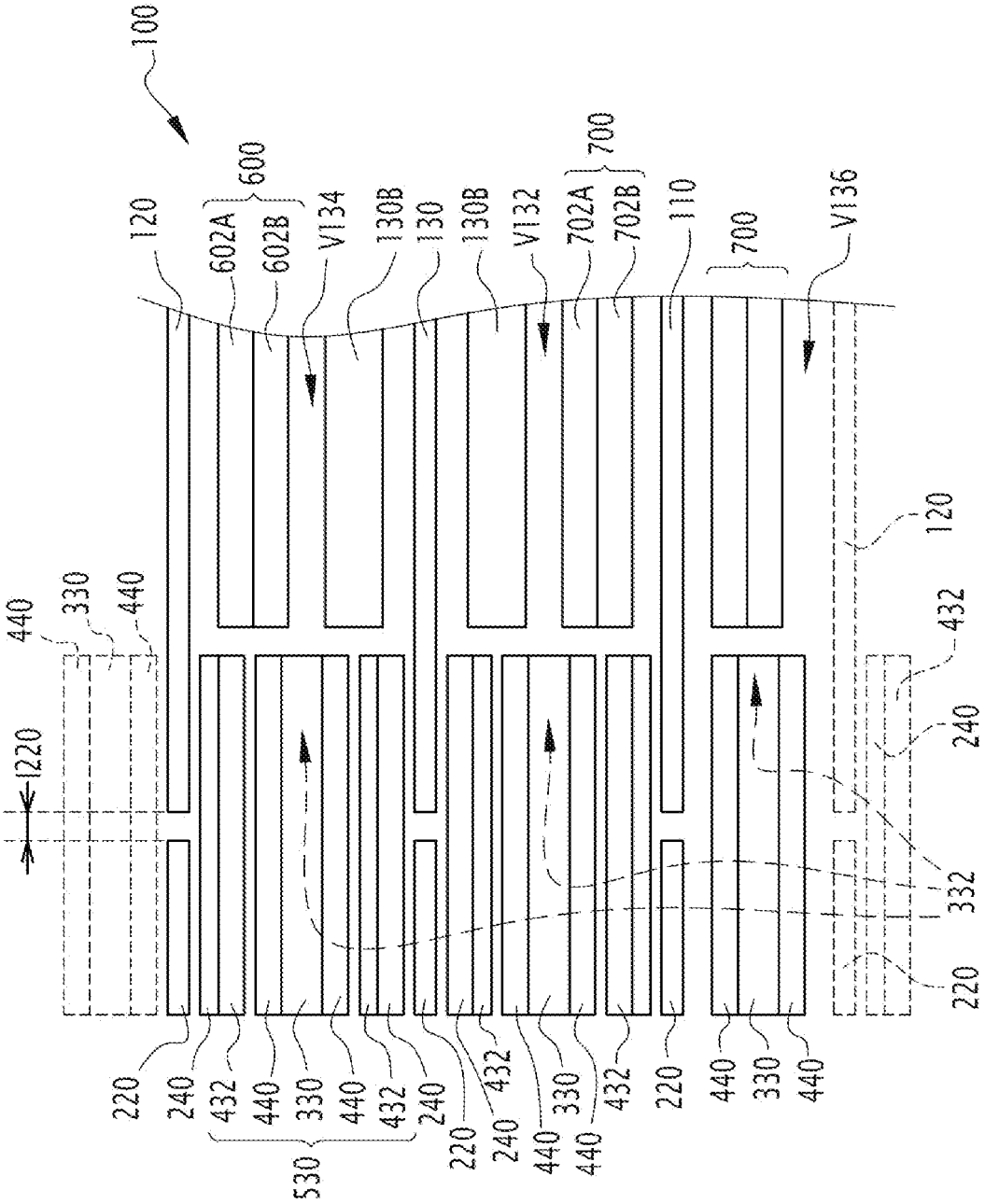
a)


A50
500'
220
102
240
432
440
330
440
220
102
240
432
V100

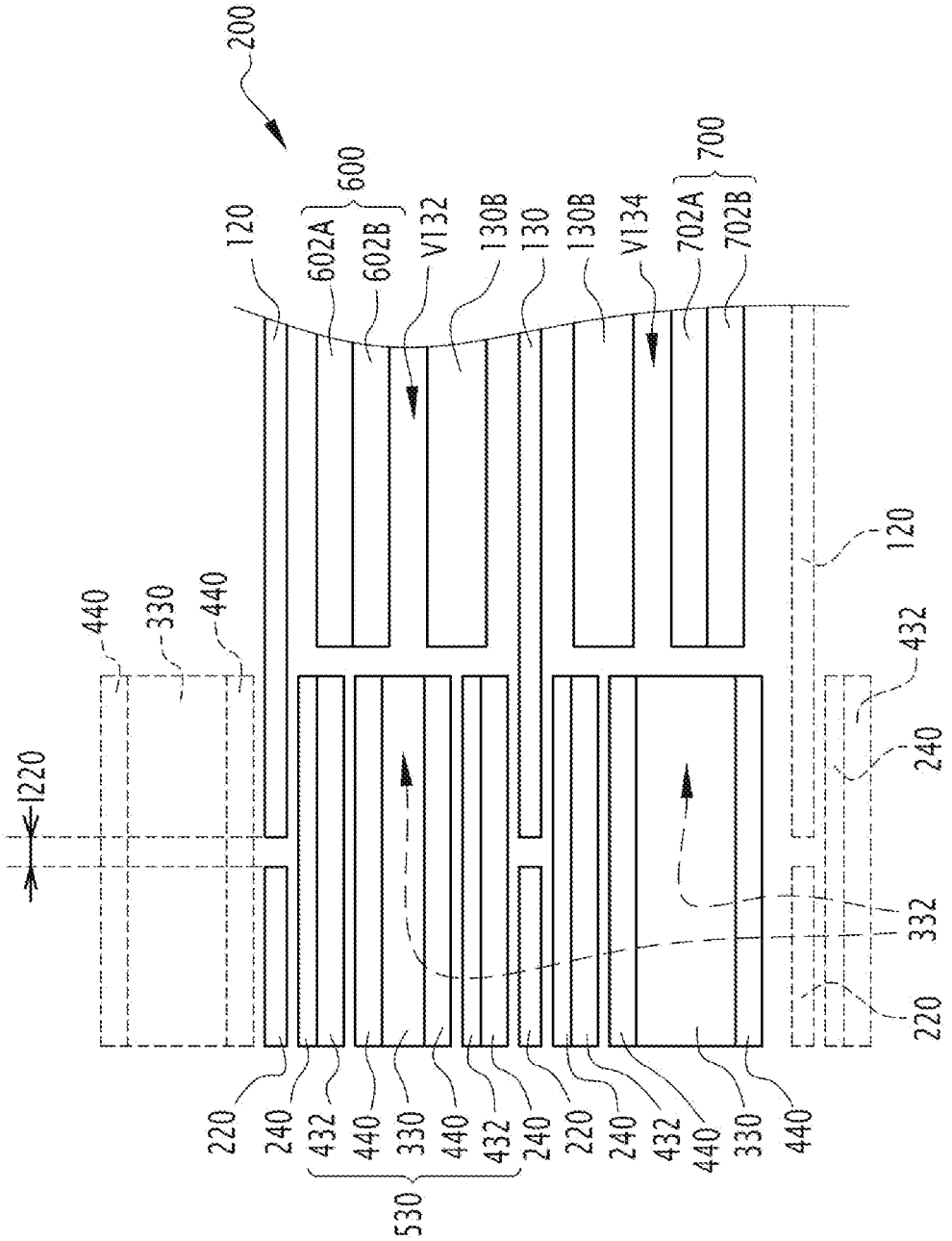
b)


A50
500"
432
240
220
102
440
330
440
220
102
240
432
V100

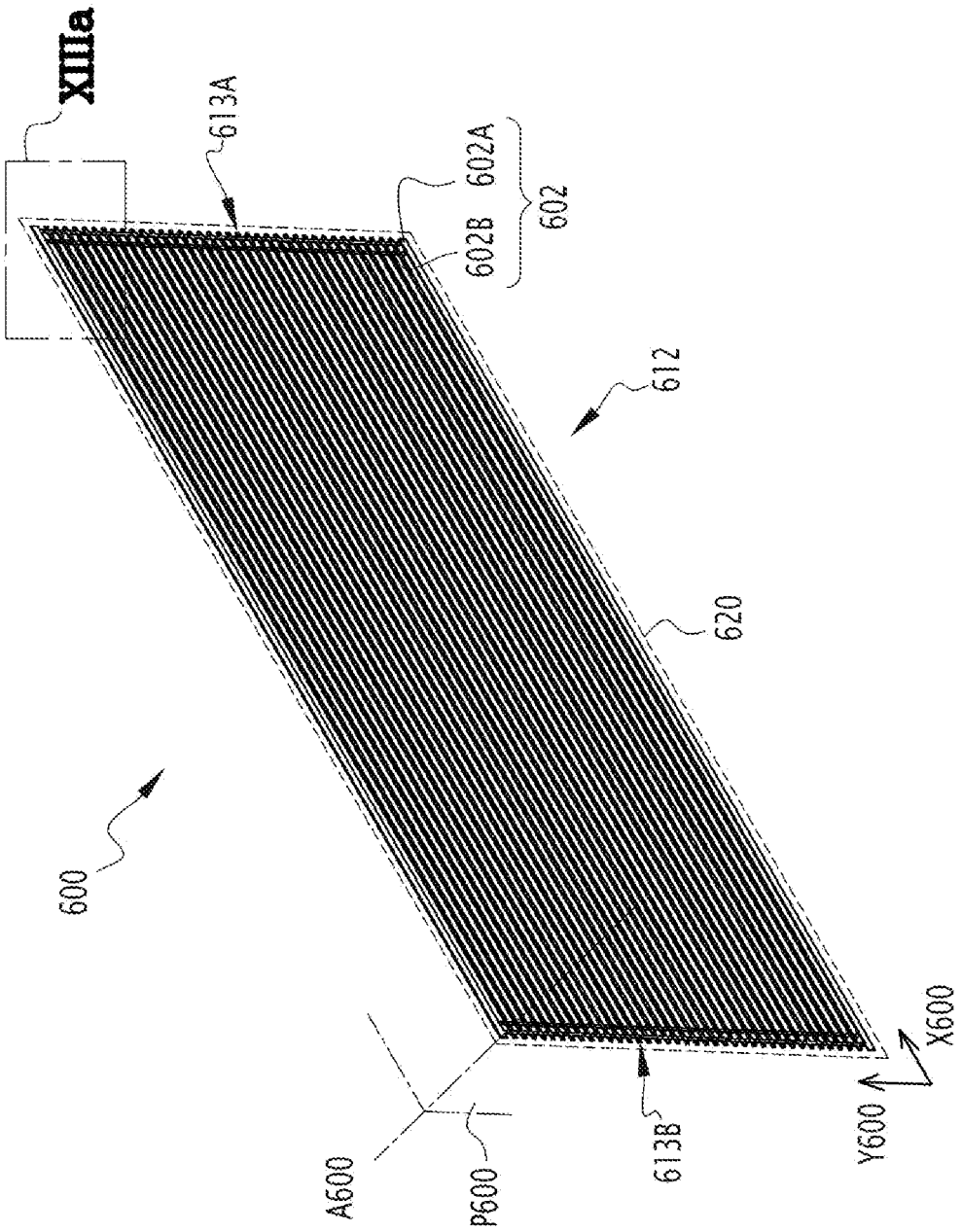
[Fig. 10]


100
120
602A
602B
600
V134
130B
130
130B
V132
702A
702B
700
110
700
V136
120
440
330
440
220
240
432
440
330
440
432
240
220
240
432
440
330
440
432
220
440
330
440
530
120
432
240
332
220

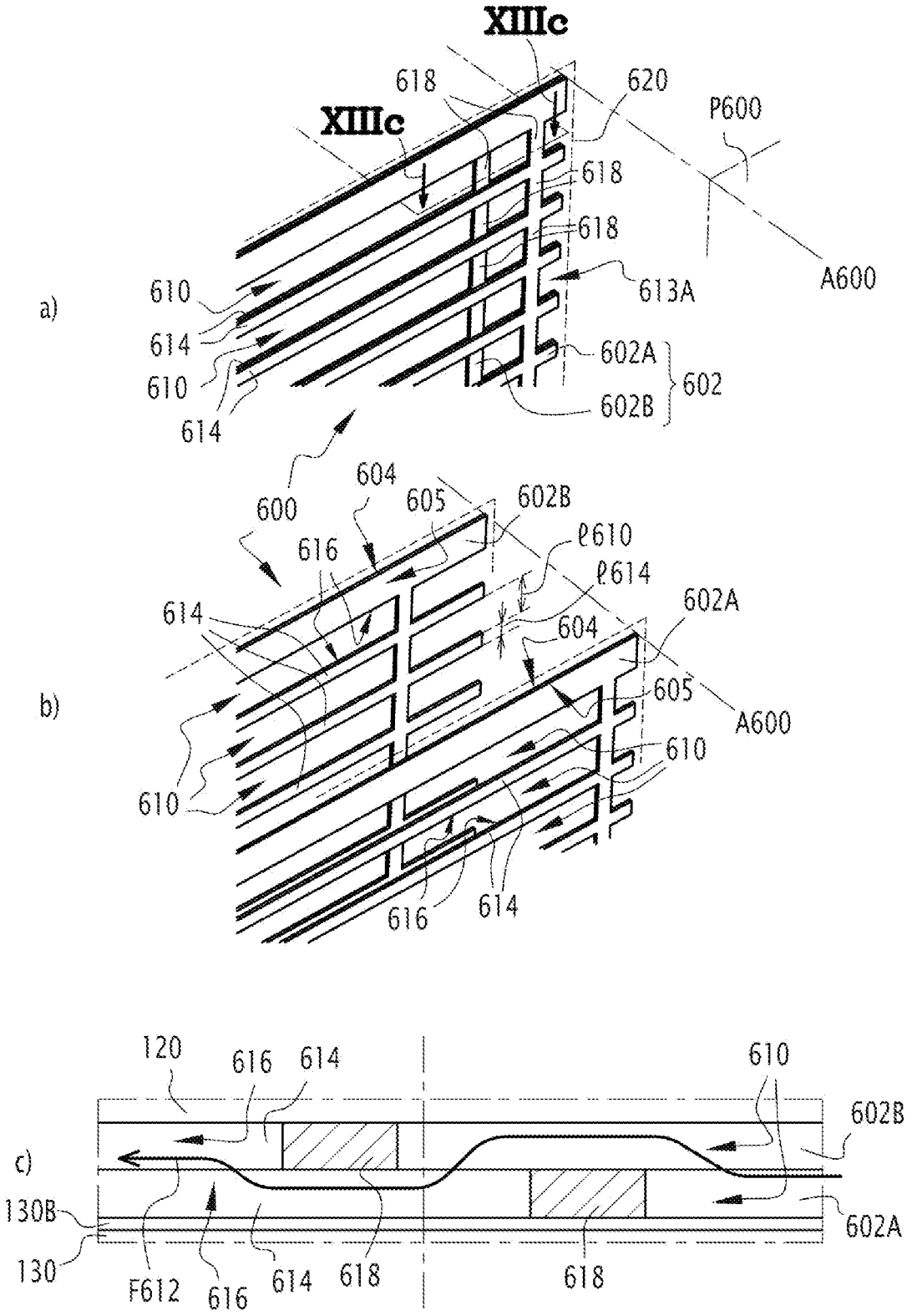
[Fig. 11]


200
600
700
120
602A
602B
V132
130B
130
130B
V134
702A
702B
1220
440
330
440
120
432
240
332
220
220
240
432
440
330
440
432
240
220
240
432
440
330
440
530

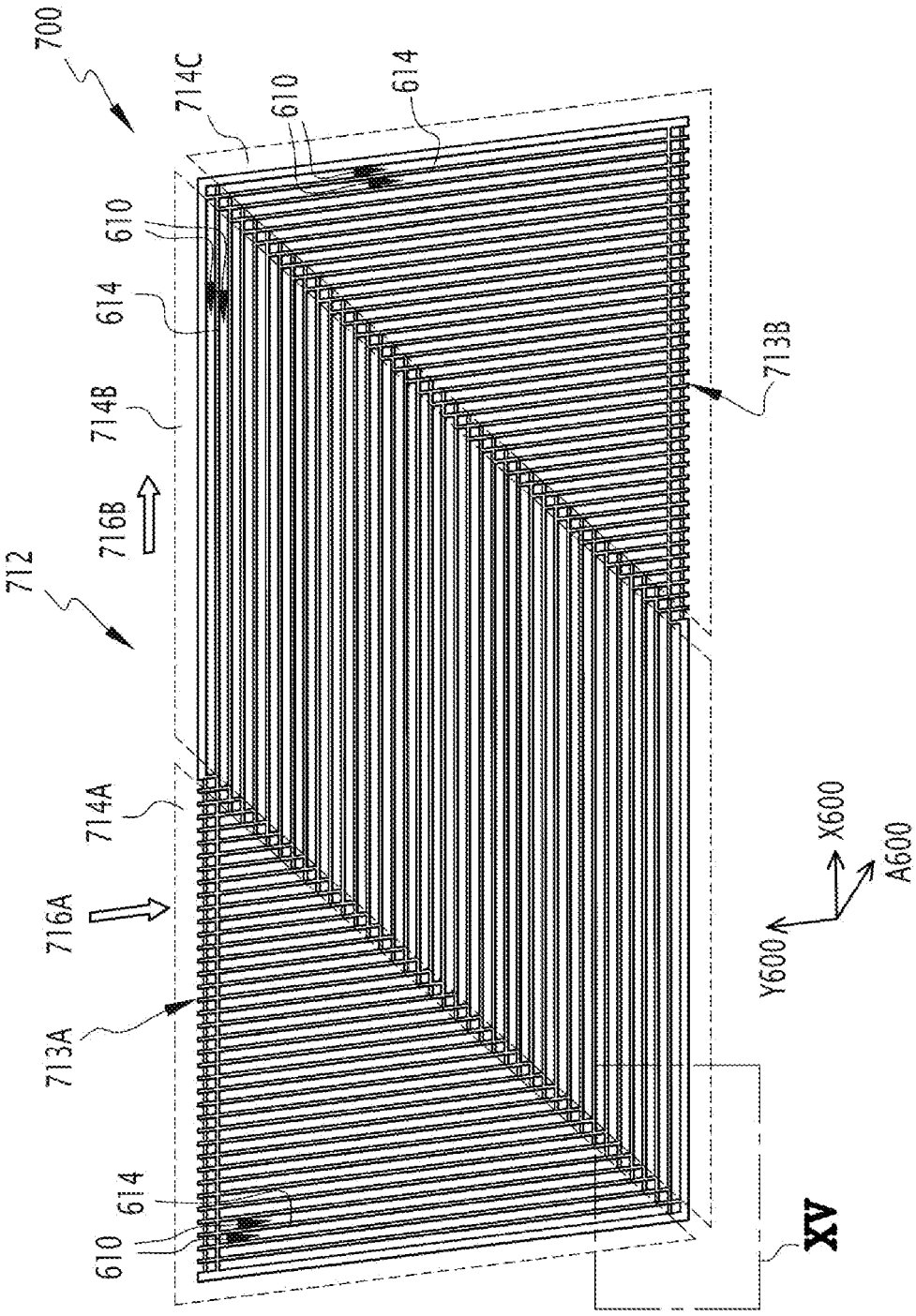
[Fig. 12]



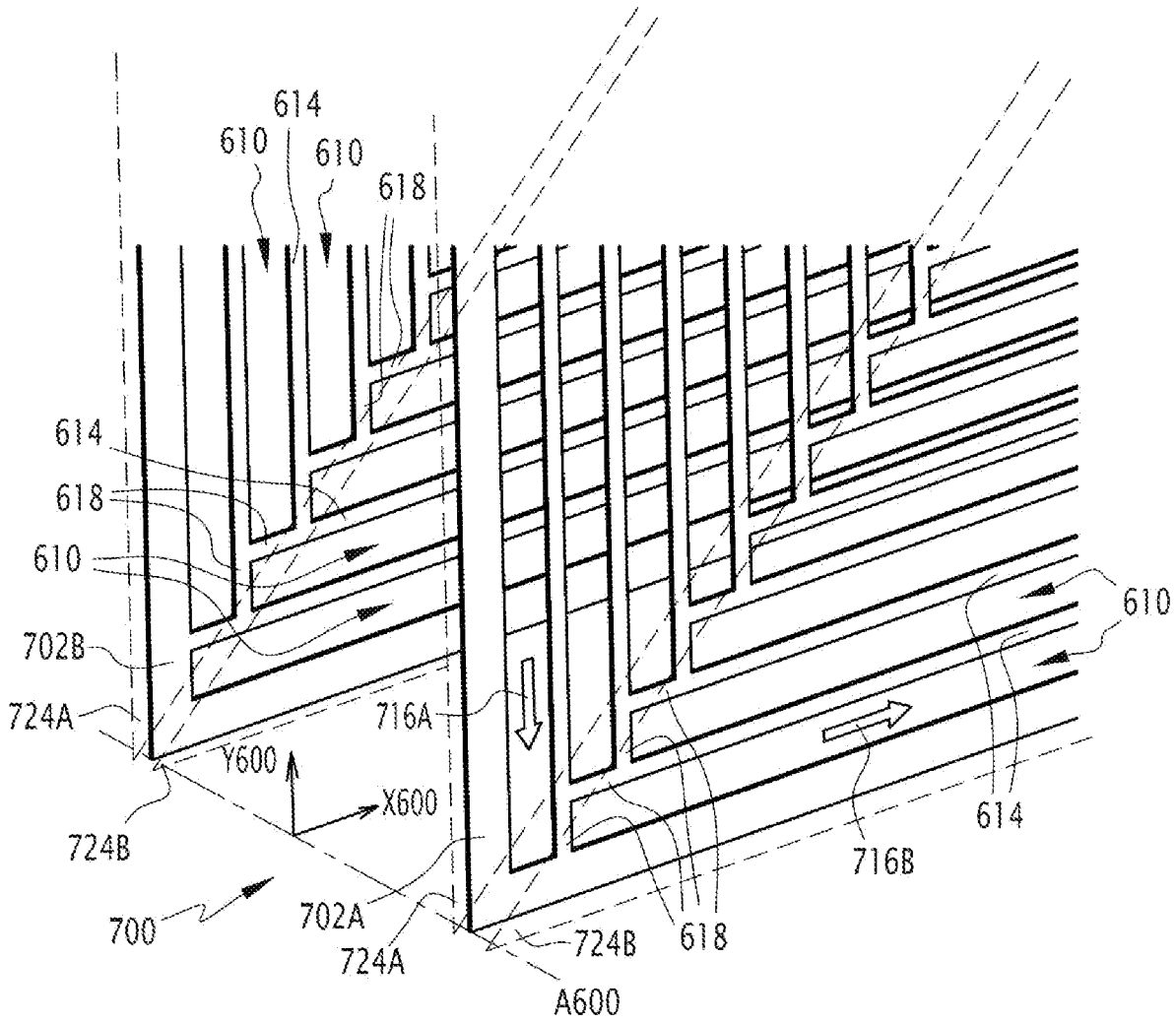
[Fig. 13]


a)
XIIIc
XIIIc
618
620
P600
618
618
613A
A600
610
614
610
614
602A
602B
602
600
604
605
602B
616
ℓ610
ℓ614
614
602A
604
605
A600
b)
610
610
616
614
c)
120
616
614
610
602B
130B
130
602A
F612
616
614
618
618

[Fig. 14]


700
714C
610
614
610
614
714B
716B
712
713B
714A
716A
713A
614
610
X600
A600
Y600
XV

[Fig. 15]


614
610
610
618
614
618
610
702B
724A
716A
610
Y600
X600
724B
614
716B
700
702A
724A
724B
618
A600

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 914712
FR 2213370

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	JP 5 330135 B2 (TOSHIBA CORP; TOSHIBA FUEL CELL POWER SYS) 30 octobre 2013 (2013-10-30)	1-6,8-14	H01M8/0273 H01M8/24
Y	* figures 4,5,7,8,12 *	15,16	
A		7,17,18	

X	WO 2007/026797 A1 (NISSAN MOTOR [JP]; NUMAO YASUHIRO; OHMA ATSUSHI; OBIKA MOTOHARU) 8 mars 2007 (2007-03-08) * alinéa [0031]; figures 1A, 1F *	1,3	

A	US 2020/280076 A1 (DOLLINGER PETER [DE] ET AL) 3 septembre 2020 (2020-09-03) * alinéa [0055]; figures 10,16 *	7,17,18	

Y	DE 10 2018 125788 A1 (DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT [DE]) 12 mars 2020 (2020-03-12) * figure 3 *	15,16	

			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H01M

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
27 juin 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

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2213370 FA 914712

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 **27-06-2023**
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 5330135 B2	30-10-2013	JP 5330135 B2	30-10-2013
		JP 2011028907 A	10-02-2011
WO 2007026797 A1	08-03-2007	JP 2007095669 A	12-04-2007
		WO 2007026797 A1	08-03-2007
US 2020280076 A1	03-09-2020	CN 111357142 A	30-06-2020
		DE 102017220354 A1	16-05-2019
		US 2020280076 A1	03-09-2020
		WO 2019096480 A1	23-05-2019
DE 102018125788 A1	12-03-2020	AUCUN	

EPO FORM P0465