

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) : ROSSIGNOL Vincent, Fabrice et SAN-
TINI Clément, Guillaume.

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

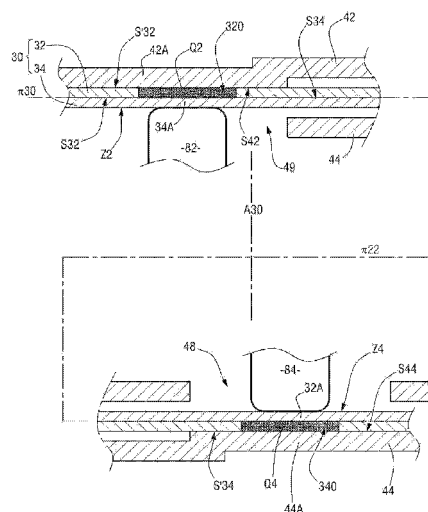
74 Mandataire(s) : Lavoix.

54 Sous-ensemble pour empilement de pile à combustible, pile à combustible comprenant un tel sous-ensemble et procédé de fabrication d'un tel sous-ensemble.

57 Sous-ensemble pour empilement de pile à combustible, pile à combustible comprenant un tel sous-ensemble et procédé de fabrication d'un tel sous-ensemble

Ce sous-ensemble pour empilement de pile à combustible comprend au moins une première demi-plaque bipolaire (42) et un assemblage membrane-électrode incluant une membrane et un cadre bipartite (30) formé par un premier demi-cadre (32) et un deuxième demi-cadre (34). Au moins le deuxième demi-cadre (34) est enduit, sur une première surface (S34) en regard d'une première surface (S32) du premier demi-cadre, d'une couche de colle de solidification. Des premiers orifices (320) aménagés à travers le premier demi-cadre (32) sont disposés chacun en regard d'une portion pleine (42A) de la première demi-plaque bipolaire et en regard d'une portion pleine (34A) du deuxième demi-cadre, selon une direction perpendiculaire à un plan principal de la membrane ($\pi 22$). La première demi-plaque bipolaire (42) est solidarisée au cadre (30) par une quantité (Q2) de colle qui s'étend à travers les premiers orifices (320) et qui provient de la colle enduite sur la première surface (S34) du deuxième demi-cadre (34).

Figure pour l'abrégié : 4



Description

Titre de l'invention : Sous-ensemble pour empilement de pile à combustible, pile à combustible comprenant un tel sous-ensemble et procédé de fabrication d'un tel sous-ensemble

- [0001] La présente invention concerne un sous-ensemble destiné à être intégré à un empilement de cellules électrochimiques, au sein d'une pile à combustible. L'invention concerne également une pile à combustible comprenant un empilement de cellules électrochimiques dont l'une au moins comprend, ou est constituée par, un tel sous-ensemble. L'invention concerne enfin un procédé de fabrication d'un sous-ensemble tel que mentionné ci-dessus.
- [0002] Dans le domaine des piles à combustible, il est connu d'insérer un empilement de cellules électrochimiques entre deux plaques terminales, situées de part et d'autre de cet empilement dans une direction d'empilement, et éventuellement de disposer cet empilement dans un carter. Les cellules électrochimiques sont formées par des assemblages membrane-électrode et des plaques bipolaires. Un assemblage membrane-électrode est parfois dénommé MEA, de l'Anglais « Membrane-Electrode Assembly », et comprend généralement une membrane de base, qui peut être revêtue sur l'une ou sur ses deux faces, d'une couche catalytique comprenant un catalyseur, ainsi qu'un cadre qui supporte cette membrane. Le cadre peut comporter des ouvertures qui, dans l'empilement, définissent des galeries d'écoulement de fluide au sein de l'empilement de cellules électrochimiques pour la distribution et la récupération de ces fluides dans les compartiments fluidiques correspondants de chaque cellule. Ce cadre est le plus souvent associé à au moins un joint, parfois dénommé « gasket », avec lequel il assure également une fonction d'étanchéité à l'écoulement des fluides au sein de l'empilement.
- [0003] La membrane, lorsqu'elle est revêtue de couches comprenant un catalyseur, est parfois dénommée CCM, de l'Anglais « Catalyst Coated Membrane » et comprend dans ce cas trois couches à savoir, une membrane proprement dite, une couche catalytique côté anode et une couche catalytique côté cathode.
- [0004] Dans l'empilement, un assemblage membrane-électrode est intercalé entre deux plaques bipolaires et délimite ainsi un compartiment anodique et un compartiment cathodique. De chaque côté, la membrane revêtue de catalyseur est recouverte par une couche de diffusion de gaz qui est donc reçue dans le compartiment anodique ou cathodique correspondant et favorise la mise en contact de la ou les espèces chimiques, présentes dans le compartiment anodique ou cathodique correspondant, avec la membrane. Chaque couche de diffusion de gaz a aussi un rôle de conduction des

électrons. Ces couches de diffusion sont parfois dénommées GDL, de l'Anglais « Gas Diffusion Layer ».

- [0005] Il est connu de fabriquer un assemblage membrane-électrode en rapportant la membrane revêtue de catalyseur sur le cadre, ce qui permet notamment de rigidifier cette membrane et d'en faciliter la manipulation. Ceci a lieu en collant de manière étanche la membrane sur le cadre.
- [0006] Il est connu de réaliser, au cours de la fabrication d'une pile à combustible, des plaques bipolaires formées de deux demi-plaques ou feuillards de tôle qui appartiennent à deux cellules électrochimiques adjacentes. Ceci nécessite de manipuler de façon distincte, les assemblages membrane-électrode, d'une part, et les plaques bipolaires, d'autre part lors de leur mise en place au sein de l'empilement d'une pile à combustible. Cette solution impose de solidariser entre elles les deux demi-plaques ou feuillards d'une plaque bipolaire. Cette solidarisation peut être effectuée par soudage laser ou brasage, notamment point par point, par déformation plastique des feuillards, notamment au moyen d'un outil électrique créant un impact, ou par collage. Cependant, on connaît aussi la possibilité d'avoir des plaques bipolaires formées de deux demi-plaques ou feuillards de tôle qui appartiennent à deux cellules électrochimiques adjacentes, les deux demi-plaques étant seulement maintenues au contact l'une de l'autre, par la compression de l'empilement, avec généralement interposition d'un ou plusieurs joints d'étanchéité, qui peuvent être des joints libres ou des joints intégrés à l'une ou l'autre des demi-plaques.
- [0007] Une fois que les assemblages membrane-électrode, d'une part, et les plaques bipolaires, d'autre part, sont constitués, il convient de les disposer alternativement le long de la direction d'empilement, ce qui s'avère en pratique long et délicat à mettre en œuvre.
- [0008] Il est connu de WO-A-2014/111745 et de US-B-8399150 de coller un cadre de cellule électrochimique sur une plaque bipolaire, au moyen d'une couche d'adhésif intercalée entre ces pièces. Cette approche nécessite de solidariser les feuillards des plaques bipolaires selon l'une des techniques mentionnées ci-dessus et de prévoir une quantité d'adhésif dédiée à la création de la liaison entre le cadre et la plaque bipolaire. Cette approche impose la façon de constituer ensuite l'empilement de cellules électrochimique de la pile à combustible et renchérit son prix de revient, d'une part en termes d'investissement pour les moyens de dépose de l'adhésif et d'autre part en termes de coût de cet adhésif ajouté.
- [0009] C'est à ces inconvénients qu'entend plus particulièrement remédier l'invention en proposant un nouveau sous-ensemble pour un empilement de pile à combustible, dont la fabrication est simplifiée et dont le prix de revient peut être diminué par rapport aux matériels antérieurs.

- [0010] A cet effet, l'invention concerne un sous-ensemble pour empilement de pile à combustible comprenant un assemblage membrane-électrode incluant une membrane et un cadre bipartite formé par un premier demi-cadre disposé sur un premier côté de la membrane et un deuxième demi-cadre disposé sur un deuxième côté de la membrane. L'assemblage membrane-électrode inclut également au moins une première demi-plaque bipolaire. Au moins le deuxième demi-cadre est enduit, sur une première surface en regard d'une première surface du premier demi-cadre, d'une couche de colle pour la solidarisation des demi-cadres.
- [0011] Conformément à l'invention, des premiers orifices aménagés à travers le premier demi-cadre sont disposés chacun en regard d'une portion pleine de la première demi-plaque bipolaire et en regard d'une portion pleine du deuxième demi-cadre, selon une direction perpendiculaire à un plan principal de la membrane. En outre, la première demi-plaque bipolaire est solidarisée au cadre par une quantité de colle qui s'étend à travers les premiers orifices et qui provient de la colle enduite sur la première surface du deuxième demi-cadre.
- [0012] Grâce à l'invention, la structure du sous-ensemble permet d'utiliser la couche de colle prévue à titre principal pour solidariser entre eux les deux cadres de l'assemblage membrane-électrode pour assurer une fonction supplémentaire d'immobilisation de la première demi-plaque bipolaire. Ceci permet de manipuler ce sous-ensemble de façon unitaire lors de la fabrication d'une pile à combustible incorporant celui-ci, ce qui facilite le travail d'un opérateur ou d'un robot et permet d'augmenter les cadences de production, donc de diminuer le prix de revient de la pile à combustible. En outre, le mode de solidarisation entre la première demi-plaque bipolaire et le cadre est précis puisque la quantité de colle qui s'étend à travers les premiers orifices est bien positionnée dans l'espace, grâce à ces premiers orifices. En particulier, cette quantité de colle ne risque pas de s'écouler à l'extérieur du sous-ensemble de l'invention. En outre, dans le cas où le sous-ensemble comprend une deuxième demi-plaque bipolaire, il constitue une cellule électrochimique unitaire qui peut être testée, voire pré-activée, avant son incorporation dans un empilement de cellules, ce qui fiabilise un procédé de fabrication d'une telle pile.
- [0013] Selon des aspects avantageux mais non obligatoires de l'invention, un tel sous-ensemble peut incorporer une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises selon toute combinaison techniquement admissible :
- [0014] - Le sous-ensemble comprend une deuxième demi-plaque bipolaire disposée, par rapport à la membrane, à l'opposé de la première plaque bipolaire. Le premier demi-cadre est enduit, sur sa première surface, d'une couche de colle pour la solidarisation des demi-cadres. Des deuxièmes orifices aménagés à travers le deuxième demi-cadre sont disposés chacun en regard d'une portion pleine de la deuxième demi-plaque

bipolaire et regard d'une portion pleine du premier demi-cadre, selon la direction perpendiculaire à un plan principal de la membrane. En outre, la deuxième plaque bipolaire est solidarisée au cadre par une quantité de colle qui s'étend à travers les deuxièmes orifices et qui provient de la colle enduite sur la première surface du premier demi-cadre.

- [0015] - Les premiers et deuxièmes orifices sont décalés les uns par rapport aux autres selon au moins une direction parallèle au plan principal de la membrane, de sorte qu'il n'existe pas de superposition entre ces orifices selon la direction perpendiculaire au plan principal de la membrane.
- [0016] - La première demi-plaque bipolaire est pourvue de découpes alignées avec les deuxièmes orifices et/ou en ce que la deuxième demi-plaque bipolaire est pourvue de découpes alignées avec les premiers orifices, selon la direction perpendiculaire au plan principal de la membrane.
- [0017] - Une découpe débouche sur au moins un bord longitudinal de la plaque bipolaire dans laquelle elle est ménagée.
- [0018] - Chaque orifice aménagé à travers un demi-cadre présente une section dont l'aire est supérieure ou égale à 5 mm², de préférence à 10 mm², avec une forme préférentiellement circulaire, rectangulaire ou oblongue.
- [0019] - La colle est thermo-activable et à base de polymère thermoplastique, notamment de copolymère EVA.
- [0020] - L'un au moins des premiers orifices aménagés à travers le premier demi-cadre est agencé dans une zone externe périphérique du sous-ensemble qui est située vers l'extérieur par rapport à un joint d'étanchéité périphérique du sous ensemble.
- [0021] - L'assemblage membrane électrode comporte quatre coins, alors que le sous-ensemble comporte au moins quatre premiers orifices aménagés à travers le premier demi-cadre et agencés dans une zone externe périphérique du sous-ensemble qui est située vers l'extérieur par rapport à un joint d'étanchéité périphérique du sous ensemble, chacun dans un coin de l'assemblage membrane électrode.
- [0022] - L'un au moins des premiers orifices aménagés à travers le premier demi-cadre et la portion pleine en regard appartenant à la première demi-plaque bipolaire sont agencés dans une zone d'encadrement de galerie, agencée autour d'une ouverture de la première demi-plaque bipolaire, et isolée fluidiquement d'au moins un compartiment fluidique anodique ou cathodique délimité dans le sous ensemble, entre l'assemblage membrane électrode et la première demi-plaque bipolaire.
- [0023] Selon un autre aspect, l'invention concerne une pile à combustible comprenant un empilement de cellules électrochimiques, avec chacune un assemblage membrane-électrode et deux demi-plaques bipolaire, l'une au moins de ces cellules comprenant, ou étant constituée par, un sous-ensemble tel que mentionné ci-dessus.

- [0024] Cette pile à combustible présente les mêmes avantages que ceux mentionnés ci-dessus.
- [0025] Selon un troisième aspect, l'invention concerne un procédé de fabrication d'un sous-ensemble, notamment un sous-ensemble tel que mentionné ci-dessus, comprenant un assemblage membrane-électrode incluant une membrane et un cadre bipartite formé par un premier demi-cadre disposé sur un premier côté de la membrane et un deuxième demi-cadre disposé sur un deuxième côté de la membrane.
- L'assemblage membrane-électrode inclut également au moins une première demi-plaque bipolaire. Ce procédé comprenant au moins une étape préalable d'enduction d'au moins une première surface du deuxième demi-cadre avec une colle et une étape de solidarisation du cadre et de la membrane par application de la première surface du deuxième demi-cadre, enduite de colle, contre la première surface du premier demi-cadre.
- [0026] Conformément à l'invention ce procédé comprend au moins une étape d'application de la première demi-plaque bipolaire contre une deuxième surface du premier demi-cadre opposée à la première surface de ce premier demi-cadre et une étape de solidarisation de la première demi-plaque bipolaire et du cadre par migration de la colle enduite sur la première surface du deuxième demi-cadre, vers une surface de la première demi-plaque bipolaire, à travers des premiers orifices aménagés dans le premier demi-cadre, entre ses première et deuxième surfaces.
- [0027] Ce procédé permet de former des cellules électrochimiques ou des parties de cellules électrochimiques qui peuvent être facilement intégrées à un empilement de cellules de pile à combustible, selon une technique qui peut être bien maîtrisée, avec des cadences de production élevées.
- [0028] De façon avantageuse, le sous-ensemble comprend une deuxième demi-plaque bipolaire et le procédé comprend au moins une étape préalable d'enduction d'au moins une première surface du premier demi-cadre avec une colle, une étape d'application de la deuxième demi-plaque bipolaire contre une deuxième surface du deuxième demi-cadre opposée à la première surface de ce deuxième demi-cadre et une étape de solidarisation de la deuxième demi-plaque bipolaire et du cadre par migration de la colle enduite sur la première surface du premier demi-cadre, vers une surface de la deuxième demi-plaque bipolaire, à travers des premiers orifices aménagés dans le deuxième demi-cadre, entre ses première et deuxième surfaces.
- [0029] On peut en outre prévoir que, au cours de l'étape de solidarisation, la colle enduite sur la première surface du deuxième demi-cadre, et éventuellement sur la première surface du premier demi-cadre, est chauffée au moins au voisinage des premiers orifices, et éventuellement au niveau des deuxièmes orifices.
- [0030] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages de celle-ci apparaîtront plus

clairement à la lumière de la description qui va suivre de quatre modes de réalisation d'un sous-ensemble, d'une pile à combustible et d'un procédé conforme à son principe, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- [0031] [Fig.1] La [Fig.1] est une vue en perspective partiellement éclatée d'un sous-ensemble conforme à un premier mode de réalisation de l'invention, ce sous-ensemble constituant une cellule électrochimique appartenant à un empilement d'une pile à combustible ;
- [0032] [Fig.2] La [Fig.2] est une vue en perspective éclatée d'un assemblage membrane-électrode appartenant au sous-ensemble représenté à la [Fig.1] ;
- [0033] [Fig.3] La [Fig.3] est une vue de face du sous-ensemble représenté à la [Fig.1] ;
- [0034] [Fig.4] La [Fig.4] est une coupe longitudinale du sous-ensemble représenté aux figures 1 et 3, selon la ligne IV-IV à la [Fig.3], lors d'une étape de fabrication d'une pile à combustible incluant ce sous-ensemble ;
- [0035] [Fig.5] La [Fig.5] est une est une vue partielle, analogue à la [Fig.4], pour un sous-ensemble conforme à un deuxième mode de réalisation de l'invention.
- [0036] [Fig.6] La [Fig.6] est une vue de face simplifiée, analogue à la [Fig.3], pour un sous-ensemble conforme à un troisième mode de réalisation de l'invention ;
- [0037] [Fig.7] La [Fig.7] représente, sur deux inserts A) et B) et à plus grande échelle, des coupes partielles au niveau des lignes de coupe A-A et B-B à la [Fig.6] dans le cas où le sous-ensemble est intégré à un empilement de cellules électrochimiques ; et
- [0038] [Fig.8] La [Fig.8] est une vue de face simplifiée, analogue à la [Fig.6], pour un sous-ensemble conforme à un quatrième mode de réalisation de l'invention.
- [0039] Afin de bien montrer les caractéristiques de l'invention, les proportions ne sont pas forcément respectées entre les objets représentés sur les figures.
- [0040] Un assemblage membrane-électrode 2 est représenté de façon partiellement éclatée à la [Fig.1]. Cet assemblage 2 est associé à une première demi-plaque bipolaire 42 et à une deuxième demi-plaque bipolaire 44 pour former un sous ensemble 6 destiné à constituer une cellule électrochimique, prévue pour faire partie d'un empilement, cet empilement constituant une partie d'une pile à combustible. Un tel empilement est représenté avec la référence 60, à la [Fig.7], au sein d'une pile à combustible 8 partiellement visible, pour le troisième mode de réalisation de l'invention.
- [0041] Les demi-plaques bipolaires 42 et 44 peuvent également être dénommées plaques polaires.
- [0042] On note A2 un axe longitudinal de l'assemblage membrane-électrode 2, qui est confondu avec un axe longitudinal A6 du sous-ensemble 6.
- [0043] L'assemblage membrane-électrode 2 peut être dénommé MEA et comprend une membrane de base 22 qui, dans l'exemple décrit ci-après, est revêtue de catalyseur.

Plus précisément, la membrane de base 22 est une membrane polymère échangeuse de protons. La structure de l'assemblage membrane électrode 2 est la même que celle visible à la [Fig.7] pour le troisième mode de réalisation. Elle est décrite en référence à cette [Fig.7]. La membrane de base 22 est donc, dans l'exemple, revêtue, sur un premier côté orienté vers le haut aux [Fig.1], 2 et 7, d'une première couche catalytique 23 formant cathode et, sur un deuxième côté opposé au premier côté et orienté vers le bas aux [Fig.1], 2 et 7, d'une deuxième couche catalytique 24 formant anode. La membrane 22 et les couches catalytiques 23 et 24 forment ensemble une membrane revêtue de catalyseur 25, autrement dénommée CCM. Dans la suite de la présente description, cette membrane revêtue de catalyseur 25 est dénommée membrane CCM.

- [0044] Ici, la membrane de base 22 est réalisée en matériau polymère, notamment du type NAFION (marque déposée), et présente une épaisseur de l'ordre de 0,005 à 0,050 mm, de préférence 0,008 à 0,015 mm. Les couches catalytiques 23 et 24 sont réalisées à partir d'une base de platine et présentent chacune une épaisseur de l'ordre de 0,001 à 0,010 mm, de préférence 0,002 à 0,005 mm. L'épaisseur de la membrane CCM 25 est, de préférence, compris entre 0,008 et 0,050 mm, de préférence de l'ordre de 0,017 mm.
- [0045] On note $\pi 22$ un plan médian de la membrane de base 22, qui est également un plan médian de la membrane CCM 25. L'axe longitudinal A2 est inclus dans le plan médian $\pi 22$.
- [0046] La membrane CCM 25 est montée sur un cadre 30 constitué de deux demi-cadres 32 et 34 qui sont destinés à venir en appui plan l'un contre l'autre qui sont, par exemple, réalisés en film polymère, par exemple en poly(téréphtalate d'éthylène) ou PET ou en poly(naphtalate d'éthylène) ou PEN.
- [0047] On note $\pi 30$ un plan d'appui des deux demi-cadres 32 et 34 l'un contre l'autre. Le plan $\pi 30$ est également un plan médian du cadre 30 et il inclut l'axe longitudinal A2. Les deux demi-cadres 32 et 34 sont configurés pour emprisonner entre eux un bord périphérique 22a de la membrane 22 lorsqu'ils sont en appui l'un contre l'autre suivant le plan $\pi 30$. Dans cette configuration, les demi-cadres 32 et 34 forment une zone, appelée aussi « chevauchement », entre la membrane 22 et les deux demi-cadres 32, 34. Le long de chaque bord longitudinal ou chaque bord transversal du cadre, le chevauchement présente une largeur par exemple incluse dans la gamme allant de 1 à 5 mm, préférentiellement dans la gamme allant de 2 à 4 mm.
- [0048] Le demi-cadre 32 est disposé sur un premier côté de la membrane CCM 25, dans l'exemple au-dessus de la membrane aux figures 1, 2 et 7, alors que le demi-cadre 34 est disposé sur un deuxième côté de la membrane CCM 25, dans l'exemple au-dessous de la membrane aux figures 1, 2 et 7. Ceci a pour effet d'immobiliser la membrane 22, c'est-à-dire en pratique la membrane CCM 25, en la pinçant entre les demi-cadres 32 et 34, au sein du cadre 30.

- [0049] Avantageusement, l'épaisseur de chacun des demi-cadres 32 et 34 est comprise entre 0,020 et 0,030 mm, de préférence, de l'ordre de 0,025 mm.
- [0050] Le cadre 30 permet de rigidifier la membrane CCM 25 et de la maintenir en position au sein de l'empilement.
- [0051] En pratique, les demi-cadres 32 et 34 sont solidarisés l'un contre l'autre au niveau du plan d'appui π_{30} , de préférence au moyen d'une colle.
- [0052] On note S32 la surface du demi-cadre 32 tournée vers le demi-cadre 34. On note S34 la surface du demi-cadre 34 tournée vers le demi-cadre 32. En configuration montée du cadre 30 autour de la membrane 22, les surfaces S32 et S34 sont en contact surfacique l'une contre l'autre, alignées sur le plan π_{30} et solidarisées l'une à l'autre au moyen de la colle.
- [0053] Dans cette configuration, le plan médian π_{22} de la membrane 22 est également aligné sur le plan π_{30} .
- [0054] La colle utilisée pour assembler les demi-cadres 32 et 34 est, de préférence, une colle thermo-activable à base de polymère thermoplastique, par exemple une colle à base de copolymère EVA, telle que la colle commercialisée sous la référence AP12 par la société Micel.
- [0055] Avantageusement, l'épaisseur de la couche de colle enduite, c'est-à-dire déposée, sur la surface S32 ou S34 de chacun des demi-cadres est comprise entre 0,01 à 0,02 mm, de préférence, de l'ordre de 0,013 mm, avant application des surfaces S32 et S34 l'une contre l'autre.
- [0056] Avantageusement, le cadre 30 définit des ouvertures 36 destinées à former des galeries de circulation et de distribution/collecte de fluide au sein de l'empilement, lorsque plusieurs sous-ensemble 6 sont juxtaposés au sein de l'empilement, selon une direction perpendiculaire à leurs plans médians π_{30} .
- [0057] Les ouvertures 36 sont constituées en alignant, selon des directions parallèles à l'axe A30, des ouvertures individuelles 36₂ et 36₄ formées respectivement dans les demi-cadres 32 et 34.
- [0058] En variante, notamment dans le cas d'une pile à combustible dite avec « manifolds externes », le cadre 30 est dépourvu d'ouvertures du type des ouvertures 36.
- [0059] On note A30 un axe perpendiculaire au plan π_{30} et passant par le centre géométrique du cadre 30. L'axe A30 est perpendiculaire à la membrane de base 22, ainsi qu'à la membrane CCM 25, donc à leur plan médian π_{22} .
- [0060] Au sein de l'empilement, les axes A30 des différents cadres 30 sont confondus et les cadres 30 sont orientés autour de cet axe de façon à ce que les ouvertures 36 constituent ensemble des galeries de circulation et de distribution/collecte de fluide, notamment d'hydrogène, d'air ou de fluide caloporteur, au sein de l'empilement.
- [0061] Chaque demi-plaque bipolaire 42 ou 44 est équipée d'ouvertures 46 de même

géométrie que les ouvertures 36 et qui participent également à la définition de ces galeries.

[0062] On note respectivement 32A et 32B les extrémités longitudinales du demi-cadre 32. On note respectivement 34A et 34B les extrémités longitudinales du demi-cadre 34.

[0063] On note respectivement A32 et A34 un axe longitudinal du demi-cadre 32 et un axe longitudinal du demi-cadre 34. En configuration montée de l'assemblage membrane-électrode 2, les axes A2, A32 et A34 sont perpendiculaires à l'axe A30, parallèles entre eux et, de préférence quasi-confondus, à l'épaisseur près des demi-cadres. On note respectivement B32 et B34 un axe transversal du demi-cadre 32 et un axe transversal du demi-cadre 34, respectivement perpendiculaires aux axes A32 et A34. En configuration montée de l'assemblage membrane-électrode 2, les axes B32 et B34 sont perpendiculaires à l'axe A30, parallèles entre eux et, de préférence quasi-confondus, à l'épaisseur près des demi-cadres.

[0064] Les demi-cadres 32 et 34 définissent chacun une ouverture centrale 32C, respectivement 34C, qui les traverse de part en part et en regard desquels est disposée la membrane CCM 25 en configuration montée de cette membrane sur le cadre 30. Les ouvertures centrales 32C et 34C des demi-cadres 32 et 34 sont donc délimitées par des bords internes de ces demi-cadres. La réunion des ouvertures centrales 32C et 34C définit une ouverture centrale 30C du cadre 30, qui est obturée par la membrane CCM en configuration montée de l'assemblage membrane-électrode 2. Les demi-cadres 32 et 34, et donc le cadre 30 qu'ils constituent, présentent un contour fermé autour de l'ouverture centrale correspondante.

[0065] On note 32D les bords transversaux de l'ouverture centrale 32C du demi-cadre 32, chaque bord transversal étant parallèle à l'axe B32. On note 34D les bords transversaux de l'ouverture centrale 34C du demi-cadre 34, chaque bord transversal étant parallèle à l'axe B32.

[0066] Avantageusement, l'assemblage membrane-électrode 2 comprend également une première couche de diffusion de gaz 28 et une deuxième couche de diffusion de gaz 29 qui peuvent être dénommées GDL et qui ont pour fonction de favoriser les échanges entre la membrane CCM 25 et les fluides circulant entre les deux demi-plaques bipolaires 42 et 44 d'un sous-ensemble 6 auquel appartient cet assemblage membrane-électrode.

[0067] Avantageusement, l'épaisseur des couches de diffusion 28 et 29 est comprise entre 0,050 et 0,320 mm, de préférence de l'ordre de 0,250 mm.

[0068] En configuration montée de l'assemblage membrane-électrode 2, les couches de diffusion 28 et 29 recouvrent la membrane CCM 25 et une partie du cadre 30, au voisinage de l'ouverture centrale 30C, chacune d'un côté de la membrane CCM25.

[0069] Pour permettre l'immobilisation des demi-plaques bipolaires 42 et 44 sur le cadre 30

équipé de la membrane CCM 25, chacun des demi-cadres 32 et 34 est équipé de premiers orifices 320, respectivement de deuxièmes orifices 340, qui sont disposés de part et d'autre de son ouverture centrale 32C ou 34C, selon son axe longitudinal A32 ou A34, et de part et d'autre de ses ouvertures individuelles 36₂ ou 36₄ selon son axe transversal B32 ou B34. Les premiers orifices 320 sont destinés à être recouverts par la demi-plaque bipolaire 42, alors que les deuxièmes orifices 340 sont destinés à être recouverts par la demi-plaque bipolaire 44, en configuration montée du sous-ensemble 6. Ainsi, en configuration montée du sous-ensemble 6, les orifices 320 et 340 sont disposés en regard des demi-plaques bipolaires 42 et 44, selon une direction parallèle à l'axe A30, c'est-à-dire selon une direction perpendiculaire aux plans π_{22} et π_{30} .

- [0070] Dans l'exemple, les orifices 320 du demi-cadre 32 sont au nombre de 4, de même que les orifices 340 du demi-cadre 34.
- [0071] En variante non représentée, un nombre différent d'orifices 320 et 340 peut être prévu, voire des orifices en nombres différents sur les deux demi-cadres.
- [0072] Le demi-cadre 32 comprend deux rangées de deux orifices 320 qui s'étendent respectivement à proximité des extrémités 32A et 32B du demi-cadre 32, de part et d'autre des ouvertures individuelles 36₂, et qui relient la surface S32 du demi-cadre 32 à une surface S'32 du demi-cadre 32 qui est opposée à la surface S32 et sur laquelle viennent en appui la première demi-plaque bipolaire 42 et la couche de diffusion 28. Les orifices 320 traversent donc l'épaisseur du demi-cadre 32.
- [0073] De la même façon, le demi-cadre 34 comprend deux rangées de deux orifices 340 qui s'étendent respectivement à proximité des extrémités 34A et 34B du demi-cadre 34, de part et d'autre des ouvertures individuelles 36₄, et qui relient la surface S34 du demi-cadre 34 à une surface S'34 du demi-cadre 34 qui est opposée à la surface S34 et sur laquelle vient en appui la deuxième demi-plaque bipolaire 42 et la couche de diffusion 28. Les orifices 340 traversent donc l'épaisseur du demi-cadre 34.
- [0074] Avantagusement, les orifices 320 sont répartis sur le premier demi-cadre 32 de façon symétrique par rapport aux axes A32 et B32. De la même façon, les orifices 340 sont répartis sur le premier demi-cadre 34 de façon symétrique par rapport aux axes A34 et B34.
- [0075] Avantagusement, les orifices 320 sont plus éloignés des bords transversaux 32D que les orifices 340 sont éloignés des bords transversaux 34D. Ainsi, les orifices 320 et 340 sont décalés les uns par rapport aux autres, selon une direction parallèle aux axes longitudinaux A32 et A34, de sorte qu'il n'existe pas de superposition entre ces orifices selon la direction de l'axe A30.
- [0076] On note d32 une distance mesurée parallèlement à l'axe A32 entre l'axe B32 et une droite passant par les centres géométriques des orifices 320. On note d34 une distance mesurée parallèlement à l'axe A34 entre l'axe B34 et une droite passant par les centres

géométriques des orifices 340. Les distances d_{32} et d_{34} sont différentes. Dans l'exemple, la distance d_{32} est supérieure, d'un écart Δ_{24} non nul, par rapport à la distance d_{34} et cet écart Δ_{24} induit un décalage entre les orifices 320 et 340, parallèle aux axes longitudinaux A32 et A34, tel qu'il n'existe pas de superposition entre eux.

- [0077] Selon une variante non représentée de l'invention, en plus ou à la place du décalage selon une direction parallèle aux axes longitudinaux A32 et A34, les orifices 320 et 340 sont décalés les uns par rapport aux autres, selon une direction parallèle aux axes transversaux B32 et B34, ce qui évite également une superposition entre ces orifices selon une direction parallèle à l'axe A30.
- [0078] On note S42 la surface de la première demi-plaque bipolaire 42 tournée vers le cadre 30 en configuration assemblée du sous-ensemble 6. On note S44 la surface de la deuxième plaque bipolaire 44 tournée vers le cadre 30 en configuration assemblée du sous-ensemble 6.
- [0079] En configuration assemblée du sous-ensemble 6, chaque orifice 320 s'étend, à travers le demi-cadre 32, entre les surfaces S34 et S42, alors que chaque orifice 340 s'étend, à travers le demi-cadre 34, entre les surfaces S32 et S44.
- [0080] Au voisinage de deux de ses coins opposés, la première demi-plaque bipolaire 42 est pourvue de deux découpes 48 qui débouchent sur deux bords longitudinaux opposés de cette demi-plaque et qui donnent accès, par le dessus à la [Fig.1], à deux zones Z2 du premier demi-cadre 32 qui sont opposées par rapport aux axes A32 et B32 et qui recouvrent par le dessus les orifices 340 du deuxième demi-cadre 34, lorsque le sous-ensemble 6 est monté. De même, la deuxième demi-plaque bipolaire 44 est pourvue, au niveau de deux de ses coins opposés, de deux découpes 49 qui débouchent sur deux bords longitudinaux et deux bords transversaux opposés de cette demi-plaque et qui donnent accès, par le dessous à la [Fig.1], à deux zones Z4 du deuxième demi-cadre 34 qui sont opposées par rapport aux axes A34 et B34 et qui recouvrent par le dessous les orifices 320 du premier demi-cadre 32, lorsque le sous-ensemble 6 est monté.
- [0081] Un système de joints d'étanchéité périphériques 50 est disposé entre le cadre 30 et les demi-plaques bipolaires 42 et 44, de chaque côté du cadre. En pratique, deux joints d'étanchéité périphériques 50 sont prévus, l'un sur la surface S'32, l'autre sur la surface S'34. Ces joints d'étanchéité 50 entourent à la fois l'ouverture centrale 30C et les ouvertures 36 du cadre, de sorte qu'ils assurent l'étanchéité, par rapport à l'extérieur du sous ensemble 6, pour chacun de fluides opérationnels de la pile, à avoir l'hydrogène, l'oxygène, l'air et l'éventuel fluide de refroidissement. Ces joints d'étanchéité périphériques 50 isolent donc fluidiquement le compartiment cathodique de l'extérieur et le compartiment anodique de l'extérieur.
- [0082] Chacune des ouvertures 36, 46 est elle aussi entourée par un système de joints d'étanchéité d'ouverture 51 qui ne permettent, pour un compartiment fluide donné,

à savoir l'un parmi le compartiment anodique, le compartiment cathodique et un éventuellement compartiment de refroidissement entre deux cellules adjacentes, la communication fluide de ce compartiment donné qu'avec les ouvertures 36, 46 qui permettent l'entrée et la sortie du fluide dans ce compartiment. En pratique, deux séries de joints d'étanchéité d'ouverture 51 sont prévues, l'une sur la surface S'32, l'autre sur la surface S'34.

- [0083] A la [Fig.3], les joints 50 et 51 sont représentés en pointillés, vus à travers la demi-plaque bipolaire 42. Les joints 50 entourent une zone interne Z_{int} du sous-ensemble 6 dans laquelle sont situés la membrane CCM 25, les couches de diffusion de gaz 28 et 29 et les portions de galeries formées par les ouvertures 36 et 46. Une zone externe périphérique Z_{ext} du sous-ensemble 6 est définie autour des joints 50, entre ces joints et les bords externes du sous-ensemble. Les joints 50 entourent les différents joints 51 qui se raccordent sur les joints 50. En d'autres termes, les joints 51 sont situés dans la zone interne Z_{int} .
- [0084] On définit une zone externe périphérique Z_{ext30} du cadre 30 comme la zone de ce cadre qui appartient à la zone externe périphérique Z_{ext} du sous-ensemble 6 en configuration montée de cette cellule. La zone externe périphérique Z_{ext30} entoure donc les joints 50, sur chacun des demi-cadres 32 et 34.
- [0085] Afin de ne pas rompre l'étanchéité assurée par les joints 50, et comme visible aux figures 1 à 3, les premiers et deuxièmes orifices 320 et 340 sont, de préférence, ménagés dans la zone externe périphérique Z_{ext30} du cadre 30, donc dans la zone externe périphérique Z_{ext} du sous-ensemble 6.
- [0086] On décrit ci-après un procédé de fabrication d'un sous ensemble 6 tel que mentionné ci-dessus.
- [0087] Lors d'une première étape préalable, les surfaces S32 et S34 sont enduites de colle. Cette étape préalable peut être effectuée sur le site de fabrication de l'assemblage membrane-électrode 2, juste avant les étapes suivantes ou de façon anticipée. En variante, cette étape préalable peut être effectuée sur un site distant, à partir duquel les demi-cadres enduits de colles sont acheminés sur le site de fabrication de l'assemblage membrane-électrode. L'opération d'enduction des surfaces S32 et S34 avec la colle peut donc être réalisée par un industriel différent de celui qui fabrique l'assemblage membrane-électrode. Dans un tel cas, un film de protection peut être prévu sur la couche de colle pour l'acheminement, ce film de protection étant alors ôté avant la deuxième étape décrite ci-après.
- [0088] Lors d'une deuxième étape, les deux demi-cadres 32 et 34 sont mis en appui par leurs surfaces S32 et S34 le long du plan π_{30} , alors que la membrane 22 est disposée entre eux, ce qui a pour effet de pincer le bord 22a de la membrane 22 et de solidariser le cadre 30 et la membrane 22, c'est-à-dire le cadre 30 et la membrane CCM 25. Le cadre

30 est constitué par l'adhérence des surfaces S32 et S34 grâce à la colle qui y est enduite.

[0089] Avantageusement, lors de la deuxième étape, l'assemblage des deux demi-cadres 32 et 34, en emprisonnant les bords de la membrane 25, est effectué en activant la colle par application d'ultrasons. Typiquement, l'assemblage des deux demi-cadres 32 et 34 emprisonnant la membrane 25 est serré entre une sonotrode et une enclume, et les ultrasons transmis par la sonotrode aux deux demi-cadres 32 et 34 assurent l'activation de la colle, donc le collage des deux demi-cadres 32 et 34 entre eux et, dans la zone de chevauchement, le collage des deux demi-cadres 32 et 34 avec la membrane. De manière conventionnelle, l'application d'ultrasons peut être mise en œuvre notamment au moyen d'une sonotrode striée, telle que celles connues par exemple de US-B-10981245 ou de US-A-2013/213552. Typiquement, comme illustré dans US-A-2013/213552, le striage peut par exemple être formé de deux ou trois réseaux de gorges formées à la surface de la sonotrode, chaque réseau comportant des gorges parallèles entre elles selon une direction spécifique à chaque réseau. Les gorges des réseaux délimitent ainsi entre elles des picots en saillie qui sont les zones de contact privilégiées avec le cadre lors de l'application des ultrasons. On note que l'utilisation d'une sonotrode striée peut former, à la surface au moins du demi-cadre avec lequel la sonotrode est en contact, une texturation de la surface du demi-cadre qui est sensiblement l'image en inversé du striage de la sonotrode. Cette texturation peut présenter une profondeur inférieure à la profondeur du striage de la sonotrode. La sonotrode peut être striée sur toute sa surface en contact avec les deux demi-cadres 32 et 34, ou sur une partie seulement de sa surface. De préférence, l'intégralité de la surface des deux demi-cadres 32 et 34 est assemblée par ultrasons. Autrement dit la zone de collage des deux demi-cadres, qui correspond à la zone où sont appliqués les ultrasons, correspond alors à l'intégralité de la superficie du cadre 30. Dans certains modes de réalisation, l'intégralité de la zone de collage des deux demi-cadres, qui correspond à la zone où sont appliqués les ultrasons, présente une texturation de la surface du demi-cadre qui est sensiblement l'image en inversé du striage de la sonotrode. Dans d'autres modes de réalisation, seule une ou plusieurs portions de la zone de collage des deux demi-cadres, qui correspond à la zone où sont appliqués les ultrasons, présente une telle texturation, d'autres portions de la zone de collage résultant de l'activation de la colle au moyens de sonotrode lisse ou d'une portion lisse de sonotrode. Dans la zone de chevauchement du cadre 30 avec la membrane 25, les ultrasons provoquent l'assemblage par collage de chacun des deux demi-cadres 32 et 34 sur la face correspondante de la membrane. De préférence, il est évité que la sonotrode vienne en contact avec la membrane 25 à l'intérieur de la fenêtre délimitée à l'intérieur de chaque demi-cadre, pour éviter de chauffer et de comprimer la membrane

25 dans sa partie réellement active qui sera exposée aux réactifs. La sonotrode mise en œuvre peut être en forme de cadre, permettant éventuellement l'assemblage complet du cadre 30 sur la membrane 25 en une seule opération. Alternativement, on peut prévoir la mise en œuvre d'une sonotrode ne couvrant qu'une partie de la zone de collage souhaitée, l'assemblage complet du cadre 30 sur la membrane 25 pouvant alors s'effectuer en plusieurs opérations successives. Alternativement, on peut prévoir la mise en œuvre de plusieurs sonotrodes ne couvrant chacune qu'une partie de la zone de collage, l'assemblage complet du cadre 30 sur la membrane 25 pouvant alors s'effectuer en une seule opération pour toutes les sonotrodes simultanément, ou en plusieurs opérations successives avec une ou plusieurs sonotrodes mises en œuvre à chaque opération.

[0090] Lors d'une troisième étape, les couches de diffusion 28 et 29 sont déposées sur le cadre 30 puis assemblées sur celui-ci par toute technique appropriée, par exemple par collage.

[0091] Lors d'une quatrième étape, les deux demi-plaques bipolaires 42 et 44 sont appliquées de part et d'autre du cadre 30 équipé de la membrane CCM 25 et des couches GDL 28 et 29, plus précisément sur les surfaces externes S'32 et S'34 des demi-cadres 32 et 34. Les emplacements et les dimensions des découpes 48 et 49 sont choisis de telle sorte que, au terme de la quatrième étape, la demi-plaque bipolaire 42 recouvre les orifices 320 et les découpes 48 sont alignées, parallèlement à l'axe A30, avec les orifices 340, alors que la demi-plaque bipolaire 44 recouvre les orifices 340 et les découpes 49 sont alignées, parallèlement à l'axe A30, avec les orifices 320. Ainsi, selon une direction parallèle à l'axe A30, chaque orifice 320 est disposé entre une portion pleine 42A de la demi-plaque bipolaire 42 et une portion pleine 34A ou 34B du demi-cadre 34, en regard d'une découpe 49, et chaque orifice 340 est disposé entre une portion pleine 44A de la demi-plaque bipolaire 44 et une portion pleine 32A ou 32B du demi-cadre 32, en regard d'une découpe 48. Les portions pleines 32A et 34A des demi-cadres 32 et 34 sont constituées, dans ce mode de réalisation, à leurs extrémités longitudinales 32A et 34A. Les portions pleines 32A et 34A des demi-cadres 32 et 34 sont constituées par des zones respectivement dépourvues d'ouvertures 36 et d'orifices 320 ou 340. Au niveau de ces portions pleines 32A et 34A, les surfaces S32 et S34 ne sont pas interrompues. Les portions pleines 42A et 44A des demi-plaques bipolaires 42 et 44 sont constituées par des zones respectivement dépourvues d'ouvertures 46 ou autre orifice ou découpe. Au niveau de ces portions pleines 42A et 44A, les surfaces S42 et S44 ne sont pas interrompues.

[0092] La géométrie de la GDL 28 est telle qu'elle ne s'interpose pas entre les premiers orifices 320 et les portions pleines 42A de la demi-plaque bipolaire 42 qui sont en regard des orifices 320, de manière à permettre un contact direct, au travers d'un

premier orifice 320 donné, de la portion pleine 34A, correspondant à ce premier orifice 320 donné, du demi-cadre 34, avec la portion pleine 42A correspondant à ce premier orifice 320 donné, de la demi-plaque bipolaire 44. De même, la géométrie de la GDL 29 est telle qu'elle ne s'interpose pas entre les seconds orifices 340 et les portions pleines 44A de la demi-plaque bipolaire 44 qui sont en regard des orifices 340, de manière à permettre un contact direct, au travers d'un second orifice 340 donné, de la portion pleine 32A, correspondant à ce deuxième orifice 340 donné, du demi-cadre 32, avec la portion pleine 44A correspondant à ce premier orifice 340 donné, de la demi-plaque bipolaire 42. Dans les deux cas, un tel positionnement relatif peut être réalisé par la géométrie du contour externe de la GDL 28, 29, comme dans l'exemple illustré, ou peut-être réalisée par la présence d'un orifice dans la GDL 28, 29. Une portion pleine d'un demi-cadre ou d'une demi-plaque bipolaire correspond à un premier ou deuxième orifice lorsqu'elle est alignée avec, autrement dit en regard de, cet orifice, selon une direction parallèle à l'axe A30.

[0093] On constitue ainsi une structure à neuf couches, à savoir les trois couches 22, 23 et 24 de la membrane CCM 25, les deux demi-cadres 32 et 34, les deux GDL 28 et 29 et les deux demi-plaques bipolaires 42 et 44. Cette structure multicouche est destinée à former le sous-ensemble 6, au terme du procédé de l'invention.

[0094] Une cinquième étape de solidarisation des première et deuxième demi-plaques bipolaires 42 et 44 avec le cadre 30 est mise en œuvre en activant, par exemple par chauffage, la colle présente sur les surfaces S32 et S34, au moins sur l'étendue des portions pleines 34A du demi-cadre 34 qui sont en regard des premiers orifices 320, et sur l'étendue des portions pleines 32A du demi-cadre 32 qui sont en regard des deuxièmes orifices 340. Cette activation peut optionnellement être complétée par une opération de pressage pour garantir la mise en contact, à travers premiers et deuxièmes orifices 320 et 340, de la colle ainsi activée avec la portion pleine correspondante 44A, 42A de la demi-plaque bipolaire 44, 42. Le pressage optionnel peut être concomitant, au moins en partie, à l'activation. Le pressage peut suivre l'activation, ou peut débiter avant ou pendant l'activation et se poursuivre au-delà de l'activation. Ainsi, au travers d'un premier orifice 320 donné, la portion pleine 34A du demi-cadre 34, qui est en regard de ce premier orifice 320 donné, se trouve solidarisée à la portion pleine correspondante 42A, de la demi-plaque bipolaire 42, qui est également en regard de ce premier orifice 320 donné, ceci notamment par la colle initialement portée par portion pleine 34A du demi-cadre 34. On peut donc considérer qu'au moins une partie de la colle initialement portée par le demi-cadre 34 migre, à travers le premier orifice 320 donné, pour atteindre la surface S42 de la demi-plaque polaire 42. De même, au travers d'un deuxième orifice 340 donné, la portion pleine 32A du demi-cadre 32, qui est en regard de ce deuxième orifice 340 donné, se trouve solidarisée à la portion pleine cor-

respondante 44A de la demi-plaque bipolaire 44, qui est en regard de ce deuxième orifice 340 donné, ceci notamment par la colle initialement portée par portion pleine 32A du demi-cadre 32. On peut donc considérer qu'au moins une partie de la colle initialement portée par le demi-cadre 32 migre à travers le deuxième orifice donné 340 pour atteindre la surface S44 de la demi-plaque polaire 44.

- [0095] Par ailleurs, l'activation de la colle peut, notamment dans le cas de colles thermostiques activées par chauffage, avoir pour effet de fluidifier cette colle et de permettre à une partie de cette colle, notamment celle située au voisinage autour d'un premier et/ou deuxième orifice 320 et 340 donné, de migrer alors jusque dans cet orifice 320 et 340, respectivement en direction des surfaces S44 et S42.
- [0096] En particulier, le chauffage de la colle présente sur la surface S34 peut aussi avoir pour effet de faire s'écouler dans les orifices 320 une partie de la colle présente entre les demi-cadres 32 et 34. De même, le chauffage de la colle présente sur la surface S32 peut aussi avoir pour effet de faire s'écouler dans les orifices 340 une partie de la colle présente entre les demi-cadres 32 et 34. Ainsi, au cours de la cinquième étape, la colle préalablement enduite sur les surfaces S32 et S34 peut s'écouler entre ces surfaces et migrer jusque dans les volumes creux les plus proches qui sont constitués par les orifices 320 et 340. De là, la colle s'écoule, dans ces orifices, en direction des bords de ces orifices qui jouxtent les surfaces S42 et S44 des demi-plaques bipolaires 42 et 44 qu'elle atteint au terme de la cinquième étape.
- [0097] Ce qui précède suppose une telle migration de la colle « au voisinage et autour » des premiers et/ou deuxièmes orifices. Ceci implique que la colle est activée, notamment par chauffage, sur une zone qui recouvre ces orifices et dont l'aire est strictement supérieure à celle de ces orifices.
- [0098] Au cours de la cinquième étape, la première demi-plaque bipolaire 42 est solidarisée au cadre 30 grâce à la colle présente dans les orifices 320, alors que la deuxième demi-plaque bipolaire 44 est solidarisée au cadre 30 grâce à la colle présente dans les orifices 340.
- [0099] La cinquième étape est avantageusement effectuée par application d'une source de chaleur localisée 82 sur le demi-cadre 34, localisée dans l'alignement de chaque orifice 320 selon une direction parallèle à l'axe A30, et par application d'une source de chaleur localisée 84 sur le demi-cadre 32, localisée dans l'alignement de chaque orifice 340 selon une direction parallèle à l'axe A30, comme représenté à la [Fig.4]. L'application de la source de chaleur 82 ou 84 permet d'élever localement la température de la colle, afin d'assurer son activation et, éventuellement, de faciliter son écoulement dans les orifices 320 et 340.
- [0100] La source de chaleur est avantageusement un barreau chauffant qui peut être manipulé à la main par un opérateur ou par un robot et qui inclut une résistance

chauffante. Le barreau chauffant peut notamment être du type d'un stylet de poste à souder manuel. Le barreau chauffant peut également être un système fonctionnant par impulsion.

- [0101] Ici le barreau chauffant 82 est inséré, selon une direction parallèle à l'axe A30, dans une découpe 49 et/ou le barreau chauffant 84 est inséré, selon une direction parallèle à l'axe A30, dans une découpe 48, pour apporter de la chaleur au plus près de la colle enduite sur la surface S34 ou S32, par application directe sur la zone Z4 ou Z2 du demi-cadre 34 ou 32 accessible à travers la découpe en question.
- [0102] En variante, seule une des demi-plaques bipolaires 42 ou 44 est équipée de découpes.
- [0103] Le fait que les découpes 48 et 49 débouchent chacune sur au moins un bord longitudinal des demi-plaques bipolaires 42 et 44 facilite la mise en contact entre le barreau chauffant 82 ou 84 et le demi-cadre 32 ou 34.
- [0104] En variante, lors de la cinquième étape, le chauffage de la colle est effectué par radiation, par convection, notamment avec de l'air chaud soufflé, par application d'ultrasons ou de rayons ultraviolets. Le choix du mode de chauffage, donc de la source de chaleur utilisée, dépend du type de la colle utilisée et de la géométrie des demi-plaques bipolaires et du cadre.
- [0105] En complément et de façon avantageuse, comme cela a déjà été évoqué plus haut, une étape de pressage de la structure multicouche, selon une direction parallèle à l'axe A30, peut être mise en œuvre, de même qu'une étape d'application de vibrations à la colle présente dans la structure multicouche. Ce pressage et cette mise en vibration facilitent la migration de la colle, des surfaces S34 et S32 respectivement en direction les surfaces S42 et S44, au sein des orifices 320 et 340 et/ou peuvent faciliter la mise en contact de cette colle avec la surface S42 et S44 au travers des orifices 320 et 340. Le pressage peut être localisé, par exemple concentré sur l'étendue des premiers et seconds orifices, ou peut être étendu à une zone plus grande de la structure multicouches, éventuellement à l'intégralité de la surface de la structure multicouches ou à l'intégralité de la portion de surface de la structure multicouches qui se situe à l'extérieur du périmètre des GDL 28 et 29.
- [0106] Suite à la cinquième étape, une quantité Q2 de colle initialement située sur la surface S34 est présente dans chaque orifice 320, de sorte qu'elle relie la surface S42 à la portion de la surface S34 située en regard de cet orifice 320 et éventuellement au bord de cet orifice qui jouxte la surface S34, c'est-à-dire au niveau de la portion pleine 34A du demi-cadre 34 qui est en regard de l'orifice 320. En outre, une quantité Q4 de colle initialement située sur la surface S32 est présente dans chaque orifice 340, de sorte qu'elle relie la surface S44 à la portion de la surface S32 située en regard de cet orifice 340 et éventuellement au bord de cet orifice qui jouxte la surface S32, c'est-à-dire au niveau de la portion pleine 32A du demi-cadre 32 qui est en regard de

l'orifice 340. En d'autres termes, la quantité de colle Q2 provient généralement pour l'essentiel de la colle initialement enduite sur la surface S34, alors que la quantité de colle Q4 provient généralement pour l'essentiel de la colle initialement enduite sur la surface S32. A cet égard, le fait qu'il n'existe pas de superposition entre les orifices 320 et 340 garantit qu'une portion pleine d'un demi-cadre, enduite de colle, est exposée, au travers de chaque orifice 320 ou 340, en regard d'une portion pleine de la demi-plaque opposée. Ainsi, les quantités de colle Q2 et Q4 qui s'étendent respectivement dans les orifices 320 et 340 assurent le collage, soit de la première demi-plaque bipolaire 42, soit de la deuxième plaque bipolaire 44, sur le cadre 30, sans liaison directe entre ces deux demi-plaques 42, 44 à travers le cadre 30.

[0107] La colle constituant une quantité Q2 peut être formée par la seule quantité de colle présente sur la portion de la surface S34 en regard d'un orifice 320, alors que la colle constituant une quantité Q4 peut être formée par la seule quantité de colle présente sur la portion de la surface S32 en regard d'un orifice 340.

[0108] En variante et comme expliqué ci-dessus, la colle constituant une quantité Q2 peut être formée de la colle qui se trouvait, avant la cinquième étape, sur la surface S34, à la fois au niveau et autour d'un orifice 320, alors que la colle constituant la quantité Q4 est formée par de la colle qui se trouvait, avant la quatrième étape, sur la surface S32, à la fois au niveau et autour d'un orifice 340.

[0109] En d'autres termes, le procédé de fabrication du sous-ensemble 6 de l'invention tire parti du fait qu'une colle est appliquée sur les surfaces S32 et S34 pour s'en servir, d'une part, pour solidariser les demi-cadres 32 et 34 entre eux et autour de la membrane CCM 25 et, d'autre part, pour solidariser les demi-plaques bipolaires 42 et 44 sur le cadre 30, sans utilisation d'une colle additionnelle, de soudure ou d'un autre moyen d'assemblage.

[0110] La section des orifices 320 et 340 peut être choisie avec une aire relativement petite, inférieure ou égale à 50 mm^2 , de préférence à 20 mm^2 . Ceci évite de fragiliser le cadre 30, tout en permettant une solidarisation efficace des demi-plaques bipolaires 42 et 44 sur le cadre. En outre, la section des orifices 320 et 340 peut être choisie avec une aire supérieure ou égale à 5 mm^2 , de préférence à 10 mm^2 . Ceci permet que la surface de colle au contact d'une surface S42 ou S44 soit suffisante pour assurer une immobilisation efficace de la demi-plaque bipolaire 42 ou 44.

[0111] Par exemple, les orifices 320 et 340 peuvent être de forme circulaire, avec un diamètre de compris entre 3 et 8 mm, de préférence de l'ordre de 5 mm, comme représenté sur les figures. En variante, ils peuvent être de toute autre forme, par exemple en forme de polygone (triangle, rectangle, pentagone, hexagone...) ou en forme oblongue, avec une longueur comprise dans la gamme allant de 5 à 10 mm, par exemple 7 mm et une largeur comprise dans la gamme allant de 2 à 5 mm. Bien

entendu, une taille supérieure des orifices est aussi possible, permettant notamment d'augmenter la force d'adhésion, mais avec potentiellement des répercussions sur l'encombrement total, ou sur le positionnement vis-à-vis de la plaque.

- [0112] Au terme de la cinquième étape du procédé de l'invention, le sous-ensemble 6 constitue une cellule électrochimique et peut être manipulé, par un opérateur humain ou un robot, sans risque de voir ses différentes couches se séparer les unes des autres, car celles-ci sont efficacement maintenues les unes par rapport aux autres grâce à la colle enduite sur les surfaces S32 et S3 lors de la première étape préalable et dont une partie est dans les orifices 320 et 340.
- [0113] Lorsque plusieurs cellules électrochimiques ont ainsi été créées, sous la forme de sous-ensembles 6, en répétant les première à cinquième étapes mentionnées ci-dessus, il est possible de poursuivre la fabrication de la pile à combustible 8 en formant, lors d'une étape ultérieure, un empilement, par juxtaposition des différentes cellules, comme représenté à la [Fig.7] pour le troisième mode de réalisation. Cette étape ultérieure est facile et rapide à mettre en œuvre, en manipulant les cellules électrochimiques chacune de façon unitaire.
- [0114] Les cinq premières étapes mentionnées ci-dessus permettent de constituer des cellules qui ont tous leurs composants principaux, dont la membrane CCM 25 et les deux demi-plaques bipolaires 42 et 44, et qui, dans le cadre d'une manipulation normale, ne risquent pas de se séparer ou de se décaler accidentellement, ce qui permet de les tester, voire de les pré-activer. En effet, créer ainsi une cellule électrochimique individuelle offre l'opportunité de la tester ensuite avec un outillage adéquat, outillage assurant les différentes étanchéités et permettant d'apporter les réactifs et éventuellement le fluide de refroidissement. Un tel outillage de test est avantageusement apte à, et conçu pour, mesurer l'efficacité de la cellule. Avantageusement, le même outillage, ou un outillage distinct permet d'effectuer, au moins partiellement, le rodage électrochimique qui est habituellement pratiqué après l'empilement des cellules, lorsque la pile est assemblée. Une telle activation, au moins partielle, permet de porter les performances électrochimiques au niveau ou proches du niveau attendu de performances initiales. De telles opérations de test et/ou de pré-activation permettent de valider le fonctionnement et les performances la cellule ainsi préassemblée, avant de les intégrer à l'empilement.
- [0115] Dans le premier mode de réalisation, l'étanchéité du compartiment anodique, entre l'assemblage membrane-électrode 2 et la demi-plaque bipolaire anodique, et du compartiment cathodique, entre l'assemblage membrane-électrode 2 et la demi-plaque bipolaire cathodique, est assuré par les joints d'étanchéité périphériques 50 et les joints d'ouverture 51, et non pas par le pré-assemblage de l'assemblage membrane-électrode 2 avec l'une et/ou l'autre des demi-plaques bipolaires, tel que décrit ci-dessus. En effet,

ce pré-assemblage par les quantités Q2, Q4 de colle qui s'étendent à travers les premiers et/ou deuxièmes orifices 320, 340 et qui proviennent de la colle enduite sur la première surface S34 du deuxième demi-cadre 34 ou de la colle enduite sur la deuxième surface S32 du premier demi-cadre 32, ne forment qu'un pré-assemblage au niveau de zones ponctuelles. Ce pré-assemblage est donc inapte à assurer une étanchéité fluide du compartiment concerné vis-à-vis de l'extérieur.

- [0116] Dans les deuxième à quatrième modes de réalisation représentés sur les figures 5 et suivantes, les éléments analogues à ceux du premier mode de réalisation portent les mêmes références. Dans ce qui suit, on décrit principalement ce qui distingue ces modes de réalisation du premier. Si une référence est mentionnée dans la suite de la description sans être portée sur l'une des figures 6 à 8 ou si une référence est portée sur l'une des figures 6 à 8 sans être mentionnée dans la suite de la description, elle désigne le même objet que celui portant la même référence dans le premier mode de réalisation.
- [0117] Dans le deuxième mode de réalisation, les demi-plaques bipolaires 42 et 44 sont dépourvues, pour au moins un orifice 320 et/ou 340, de découpe comparable aux découpes 48 et 49 du premier mode de réalisation. Plus particulièrement, dans certaines variantes de ce deuxième mode de réalisation, les demi-plaques bipolaires 42 et 44 sont entièrement dépourvues de découpes comparables aux découpes 48 et 49 du premier mode de réalisation, de sorte que chaque deuxième orifice 340 est disposé entre une portion pleine 44A de la deuxième demi-plaque bipolaire 44 et une portion pleine 32A du demi-cadre 32 qui est elle-même disposée en regard d'une portion pleine 42A de la première demi-plaque bipolaire 42. En d'autres termes, au niveau des deuxièmes orifices, le cadre 30 est recouvert, sur ses deux côtés opposés, par les demi-plaques bipolaires 42 et 44. Ainsi, les demi-plaques bipolaires sont plus simples à fabriquer que dans le premier mode de réalisation et sont interchangeables.
- [0118] Dans ce deuxième mode de réalisation, le chauffage de la colle est obtenu en appliquant une source de chaleur 84 non pas directement sur le cadre 30, comme dans le premier mode de réalisation, mais sur la portion 44A de la deuxième demi-plaque 44, dans la zone où on souhaite la solidariser au cadre 30, c'est-à-dire en regard d'un orifice 340. Une quantité Q2 de colle, qui a migré à partir de la couche de colle préalablement enduite sur la surface S32 du demi-cadre 32, assure alors la liaison entre le cadre 30 et la demi-plaque bipolaire 44 au travers l'orifice 320.
- [0119] En variante non représentée, la source de chaleur peut être appliquée sur la portion 42A de la première demi-plaque 42.
- [0120] Au niveau de chaque orifice 320, la situation est symétrique par rapport au plan π_{30} , vis-à-vis de celle représentée à la [Fig.5].
- [0121] Ce mode de réalisation est plus simple à mettre en œuvre que le précédent, au prix

d'un chauffage de la colle potentiellement moins efficace.

- [0122] Sur les figures 6 et 8, les zones où il est préférable de ménager les premiers et deuxièmes orifices 320 et 340 sont identifiées avec des hachures à simple trait et les zones d'exclusion, où ces orifices ne sont de préférence pas ménagés, sont identifiées avec des hachures croisées.
- [0123] Dans le troisième mode de réalisation des figures 6 et 7, le sous-ensemble 6 comporte un système de joints d'étanchéité périphériques 50, qui est formé de joints d'étanchéité périphériques assurant la même fonction que le système de joints d'étanchéité périphériques 50 du premier mode de réalisation. Un système de joints d'étanchéité d'ouverture 51 est également prévu, avec la même fonction que le système de joints d'étanchéité d'ouverture 51 du premier mode de réalisation.
- [0124] Dans le troisième mode de réalisation des figures 6 et 7, les joints périphériques 50 assurent en partie la fonction d'étanchéité des ouvertures, avec les joints d'étanchéité d'ouverture 51 qui se raccordent avec le joint périphérique 50.
- [0125] Par rapport au premier mode de réalisation, un joint périphérique supplémentaire 50 est disposé sur la surface de la demi-plaque bipolaire 42 opposée au cadre 30, comme visible en partie haute des inserts A) et B) de la [Fig.7]. Selon une variante non-représentée de l'invention, il en est de même au niveau des joints d'étanchéité d'ouverture 51.
- [0126] Comme visible à la [Fig.7], l'empilement 60 de cellules électrochimiques 6, réalisé au sein d'une pile à combustible 8 conforme à l'invention, comprend plusieurs cellules électrochimiques, formées par des sous-ensembles 6 également conformes à l'invention, qui sont séparées par des plaques bipolaires 4 constituées chacune par une première demi-plaque bipolaire 42 appartenant à une cellule 6 et par une deuxième demi-plaque bipolaire 44 appartenant à une cellule 6 adjacente, les cadres 30 de ces sous-ensembles étant maintenus serrés de façon étanche par rapport aux plaques bipolaires 4, avec des joints d'étanchéité périphériques 50, disposés notamment le long des bords longitudinaux des cellules électrochimiques et des joints d'ouverture 51 qui entourent chacun une des ouvertures 36, 46 formant les galeries d'écoulement de fluides au sein de l'empilement de cellules électrochimiques.
- [0127] Les joints d'étanchéité périphériques 50 délimitent la limite intérieure d'une zone externe périphérique Z_{ext} du sous-ensemble 6 qui est délimitée de manière étanche par rapport aux compartiments fluidiques anodique, cathodique et de refroidissement. La zone externe périphérique Z_{ext} du sous-ensemble 6 est donc située vers l'extérieur par rapport à au moins un joint d'étanchéité périphérique 50 du sous ensemble 6. C'est dans cette zone externe périphérique Z_{ext} , extérieure, notamment par rapport au joint périphérique 50 prévu entre le cadre 30 et la première demi-plaque bipolaire 42, que l'on choisit de préférence de placer les premiers orifices 320 aménagés à travers le

premier demi-cadre 32 et les portions pleines 42A de la première demi-plaque bipolaire 42. C'est aussi dans cette zone externe périphérique Z_{ext} , extérieure, notamment par rapport au joint périphérique 50 prévu entre le cadre 30 et la deuxième demi-plaque bipolaire 42, que l'on choisit de préférence de placer les seconds orifices 340 aménagés à travers le second demi-cadre 34 et les portions pleines 44A de la seconde demi-plaque bipolaire 44. Pour chaque cellule électrochimique 6, les joints d'étanchéité périphériques 50 sont généralement disposés en retrait radialement vers l'intérieur par rapport aux bords externes des demi-plaques bipolaires et des bords externes du cadre l'assemblage membrane-électrode, de sorte qu'il est effectivement possible d'utiliser cette zone externe périphérique Z_{ext} pour y placer les premiers orifices 320 aménagés à travers le premier demi-cadre 32 et les portions pleines 42A de la première demi-plaque bipolaire 42, et/ou les seconds orifices 340 aménagés à travers le second demi-cadre 34 et les portions pleines 44A de la seconde demi-plaque bipolaire 44. On remarque qu'il est possible de prévoir que le contour des joints d'étanchéité périphériques 50 peut être adapté, pour présenter localement un détour vers l'intérieur, afin d'augmenter la surface externe périphérique Z_{ext} disponible autour des premiers orifices 320 et/ou des deuxième orifices 340.

[0128] Par ailleurs, de chaque côté du cadre 30, les joints d'étanchéité d'ouverture 51 délimitent, en combinaison avec le joint d'étanchéité périphérique 50 correspondant et autour des ouvertures 36, 46, des zones d'encadrement de galerie Z_{eg} . Six zones d'encadrement de galerie Z_{eg} sont donc visibles à la [Fig.6]. Chacune des zones d'encadrement de galerie Z_{eg} est isolée fluidiquement des compartiments fluidiques anodique, cathodique et de refroidissement. Chacune des zones d'encadrement de galerie Z_{eg} peut aussi accueillir certains au moins des premiers orifices 320, aménagés à travers le premier demi-cadre 32 en regard d'une portion pleine 42A de la première demi-plaque bipolaire 42, et/ou certains au moins des seconds orifices 340, aménagés à travers le second demi-cadre 34 en regard d'une portion pleine 44A de la seconde demi-plaque bipolaire 44. On note toutefois que chaque zone d'encadrement de galerie Z_{eg} est susceptible d'être reliée fluidiquement avec la galerie qu'elle entoure.

[0129] De telles zones de peuvent également être définies dans les premier et deuxième modes de réalisation, même si elles ne sont pas formellement identifiées sur les figures 1 à 6.

[0130] Sur les figures 6 et 7, on a illustré la présence des zones Z2, Z4 de collage, qui correspondent respectivement à la position des premiers orifices 320 et des seconds orifices 340, le long des bords longitudinaux du sous ensemble 6, à hauteur de la zone active correspondant à la présence de la membrane CCM 25. Cependant, ces zones Z2, Z4 de collage pourraient être, comme dans l'exemple de la [Fig.3], situées près des extrémités longitudinales du sous ensemble 6, par exemple longitudinalement à hauteur

des ouvertures 36, 46 du sous ensemble 6, voire au-delà des ouvertures 36, 46 du sous ensemble 6 selon la direction longitudinale en partant du centre du sous ensemble 6. En variante, et comme envisagé ci-dessus, ces zones Z2, Z4 de collage peuvent être situées dans l'une ou l'autre des zones d'encadrement de galerie Z_{eg} .

- [0131] De manière plus précise, il est particulièrement avantageux, comme illustré à la [Fig.3], de prévoir au moins quatre premiers orifices 320 et, le cas échéant, au moins quatre seconds orifices 340, situés chacun à un des quatre coins de l'assemblage membrane électrode, un coin étant défini comme étant une portion l'assemblage membrane électrode qui est comprise dans la zone externe périphérique Z_{ext} et qui est :
- longitudinalement à hauteur des ouvertures 36 du cadre 36 formant galeries de fluide réactif ou de refroidissement du sous ensemble 6, ou au-delà de ces ouvertures 36, 46 selon la direction longitudinale en partant du centre du sous ensemble 6 ;
 - et/ou transversalement à hauteur de celle des ouvertures 36 du cadre 36, formant galerie de fluide réactif ou de refroidissement du sous ensemble 6, qui est la plus proche transversalement du bord longitudinal considéré, ou au-delà de cette ouverture 36 selon la direction transversale en partant du centre du sous ensemble 6.

- [0132] Sur la [Fig.7], mais aussi sur la [Fig.4], on a illustré qu'il est avantageux de prévoir que la portion pleine 42A de la première demi-plaque bipolaire 42, qui est en regard d'un premier orifice 320 du premier demi-cadre 32, et/ou la portion pleine 44A de la seconde demi-plaque bipolaire 44, qui est en regard d'un second orifice 340 du second demi-cadre 34, soit rabattue pour être agencée, selon l'axe A30, à une position égale à la position du plan médian π_{30} du cadre 30 selon l'axe A30, ou proche de celle-ci, ceci afin de minimiser la déformation du cadre selon l'axe A30 à l'endroit de la jonction du cadre 30 avec la demi-plaque bipolaire 42 correspondante. Cette position peut être exactement celle du plan médian π_{30} du cadre 30 selon l'axe A30, ou être décalée de celle du plan médian π_{30} du cadre 30 d'une valeur inférieure ou égale à l'épaisseur du cadre 30 selon l'axe A30, idéalement décalée de celle du plan médian π_{30} du cadre 30 d'une valeur égale à l'épaisseur, selon l'axe A30, du demi-cadre 32, 34 dans lequel est formé l'orifice 320, 340.

- [0133] Dans l'exemple des figures 6 et 7, les demi-plaque bipolaires 42, 44 présentent des reliefs selon l'axe A30, ces reliefs correspondant à des fonds de canaux de circulation de fluide réactif, à des dents de séparation entre deux canaux, à des surfaces de portée pour des joints d'étanchéité 50, 51. Ces reliefs peuvent être écartés par rapport au plan médian π_{30} du cadre 30 selon l'axe A30. On voit cependant que, tout comme dans l'exemple de la [Fig.4], la première demi-plaque bipolaire 42 est formée de manière que la portion pleine 42A en regard d'un premier orifice 320 est agencée dans une

position qui, selon l'axe A30, est décalée de celle du plan médian π_{30} du cadre 30 d'une valeur égale à l'épaisseur, selon l'axe A30, du demi-cadre 32 dans lequel est formé le premier orifice 320.

- [0134] Ainsi, dans le cas d'une demi-plaque bipolaire formée d'une tôle métallique emboutie, la portion pleine 42A de la première demi-plaque bipolaire 42, qui est en regard d'un premier orifice 320 du premier demi-cadre 32, peut correspondre à une forme emboutie de la tôle formant la première demi-plaque bipolaire 42 et/ou la portion pleine 44A de la seconde demi-plaque bipolaire 44, qui est en regard d'un second orifice 340 du second demi-cadre 34, peut correspondre à une forme emboutie de la tôle formant la seconde demi-plaque bipolaire 44.
- [0135] Dans le mode de réalisation de la [Fig.8], les joints d'étanchéité d'ouverture 51 sont dissociés des joints périphériques 50 et présentent donc un contour fermé assurant à eux seuls la fonction d'étanchéité, pour chaque compartiment fluidique anodique, cathodique ou de refroidissement, entre le compartiment concerné et au moins celles des ouvertures 36 et 46 qui ne communiquent pas avec ce compartiment donné. Dans le mode de réalisation de la [Fig.8], les joints d'étanchéité d'ouverture 51 délimitent chacun à lui seul une zone d'encadrement de galerie Z_{eg} et des portions de la zone interne se situent entre deux zones d'encadrement de galerie Z_{eg} , comme représenté par les zones à hachures croisées disposées entre deux joints d'étanchéité d'ouverture 51 sur la [Fig.8].
- [0136] Dans ce mode de réalisation également, les premiers et deuxièmes orifices 320 et 340 sont de préférence ménagés dans la zone externe périphérique Z_{ext} du sous-ensemble 6.
- [0137] Selon une variante non-représentée du quatrième mode de réalisation, certaines ou toutes les zones Z2, Z4 de collage peuvent être prévues dans une ou des zone(s) d'encadrement de galerie Z_{eg} .
- [0138] Selon une autre variante non représentée de l'invention, applicable à tous les modes de réalisation, un seul des premiers orifices 320 ou seuls certains d'entre eux est/sont ménagé(s) dans la zone externe périphérique Z_{ext} ou dans une ou des zone(s) d'encadrement de galerie Z_{eg} . De même, on peut prévoir qu'un seul des deuxièmes orifices 340 ou seuls certains d'entre eux est/sont ménagé(s) dans la zone externe périphérique Z_{ext} ou dans une ou des zone(s) d'encadrement de galerie Z_{eg} .
- [0139] Quel que soit le mode de réalisation, dans l'empilement, tel que l'empilement 60 représenté à la [Fig.7], au moins l'une cellules électrochimiques 6 est conforme à l'invention. De préférence, par souci d'homogénéité, toutes les cellules électrochimiques 6 sont conformes à l'invention.
- [0140] Selon une variante non représentée de l'invention, applicable à tous les modes de réalisation, le sous-ensemble 6 comprend une première demi-plaque polaire 42 sur un seul côté et celle-ci est jointe à une deuxième demi-plaque polaire 44 pour former une

plaque polaire 4 préassemblée, avant solidarisation du cadre 30 et de la demi-plaque polaire 42, avec la technique de collage utilisant, par exemple, les premiers orifices 320. Dans ce cas, le sous-ensemble 6 est une structure multicouche qui n'est pas symétrique par rapport au plan π_{30} , puisque les deux demi-plaques polaires jointes sont situées du côté du demi-cadre 32. Ce sous-ensemble 6 peut être intégré à un empilement du type de l'empilement 60 représenté à la [Fig.7], en une opération car il peut être manipulé de façon unitaire par un opérateur ou un robot. Chaque sous-ensemble 6 constitue alors une partie d'une cellule électrochimique, puisqu'il doit être associé à la deuxième demi-plaque bipolaire 44 faisant elle-même partie d'une autre plaque bipolaire 4 préassemblée d'un sous-ensemble adjacent pour constituer une cellule complète. Dans ce cas, seuls les premiers orifices 320 sont aménagés à travers le premier demi-cadre 32, sans nécessité d'aménager des deuxièmes orifices à travers le deuxième demi-cadre 34, seule la composante de la cinquième étape représentée en partie haute de la [Fig.4], ou une composante symétrique de celle représentée à la [Fig.6], est mise en œuvre et la colle peut n'être enduite que sur la première surface S34 du deuxième demi-cadre 34. Ce mode de réalisation ne permet pas de tester ou de pré-activer une cellule avant que l'empilement soit constitué.

- [0141] L'invention est représentée sur les figures dans le cas où la membrane 25 est de type CCM, les couches catalytiques 23, 24 étant portées par la membrane de base 22. Elle est également applicable au cas où les couches catalytiques 23, 24 sont portées par les couches de diffusion 28 et 29, selon la technologie CCB, de l'Anglais « Catalyst Coated Baking » ou encore dans le cas d'un assemblage mixte, avec l'une parmi les couches catalytiques 23, 24 qui est portée par la membrane de base 22, et l'autre parmi les couches catalytiques 23, 24 qui est portée par la couche de diffusion 28 ou 29 correspondante.
- [0142] En variante, le sous-ensemble 6 ne comprend pas les couches de diffusion 28 et 29, lesquelles peuvent par ailleurs être omises, et/ou remplacées par des structures intégrées aux plaques bipolaires 4.
- [0143] Quel que soit le mode de réalisation ou la variante considérée, la quantité de colle Q2 ou Q4 présente dans un orifice 320 ou 340 ne remplit pas forcément tout le volume de cet orifice.
- [0144] Dans les modes de réalisation mentionnés ci-dessus, les orifices 320 et 340 ont la même géométrie, comme représenté sur les figures. En variante non représentée, un ou plusieurs des orifices d'un demi-cadre a une géométrie différente de celle des autres orifices de ce demi-cadre et/ou un ou plusieurs des orifices d'un demi-cadre a une géométrie différente de celle d'un ou plusieurs orifices de l'autre demi-cadre.
- [0145] Les modes de réalisation et variantes envisagés ci-dessus peuvent être combinés pour générer de nouveaux modes de réalisation de l'invention.

Revendications

[Revendication 1]

Sous-ensemble (6) pour empilement de pile à combustible (8) comprenant

- un assemblage membrane-électrode (2) incluant
 - une membrane (22, 25)
 - un cadre bipartite (30) formé par
 - un premier demi-cadre (32) disposé sur un premier côté de la membrane ;
 - un deuxième demi-cadre (34) disposé sur un deuxième côté de la membrane ;
- et au moins une première demi-plaque bipolaire (42),

dans lequel au moins le deuxième demi-cadre (34) est enduit, sur une première surface (S34) en regard d'une première surface (S32) du premier demi-cadre (32), d'une couche de colle pour la solidarisation des demi-cadres, caractérisé en ce que

- des premiers orifices (320) aménagés à travers le premier demi-cadre (32) sont disposés chacun en regard d'une portion pleine (42A) de la première demi-plaque bipolaire (42) et en regard d'une portion pleine (34A) du deuxième demi-cadre (34), selon une direction (A30) perpendiculaire à un plan principal de la membrane (π_{22}) ; et
- la première demi-plaque bipolaire (42) est solidarisée au cadre (30) par une quantité (Q2) de colle qui s'étend à travers les premiers orifices (320) et qui provient de la colle enduite sur la première surface (S34) du deuxième demi-cadre (34).

[Revendication 2]

Sous-ensemble pour empilement de pile à combustible selon la revendication 1, caractérisé en ce que

- il comprend une deuxième demi-plaque bipolaire (44) disposée, par rapport à la membrane (22, 25), à l'opposé de la première plaque bipolaire (4A) ;
- le premier demi-cadre (32) est enduit, sur sa première surface (S32), d'une couche de colle pour la solidarisation des demi-cadres (32, 34);

- des deuxièmes orifices (340) aménagés à travers le deuxième demi-cadre (34) sont disposés chacun en regard d'une portion pleine (44A) de la deuxième demi-plaque bipolaire (44) et regard d'une portion pleine (32A) du premier demi-cadre (32), selon la direction (A30) perpendiculaire à un plan principal de la membrane ($\pi 22$) ; et
- la deuxième plaque bipolaire (44) est solidarisée au cadre (30) par une quantité (Q4) de colle qui s'étend à travers les deuxièmes orifices (340) et qui provient de la colle enduite sur la première surface (S32) du premier demi-cadre (34).

- [Revendication 3] Sous-ensemble pour empilement de pile à combustible selon la revendication 2, caractérisé en ce que les premiers et deuxièmes orifices (320, 340) sont décalés ($\Delta 24$) les uns par rapport aux autres selon au moins une direction parallèle au plan principal ($\pi 22$) de la membrane (22, 25), de sorte qu'il n'existe pas de superposition entre ces orifices selon la direction (A30) perpendiculaire au plan principal de la membrane.
- [Revendication 4] Sous-ensemble pour empilement de pile à combustible selon l'une des revendications 2 et 3, caractérisé en ce que la première demi-plaque bipolaire (42) est pourvue de découpes (48) alignées avec les deuxièmes orifices (340) et/ou en ce que la deuxième demi-plaque bipolaire (44) est pourvue de découpes (49) alignées avec les premiers orifices (320), selon la direction (A30) perpendiculaire au plan principal de la membrane.
- [Revendication 5] Sous-ensemble pour empilement de pile à combustible selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'une découpe (48, 49) débouche sur au moins un bord longitudinal de la plaque bipolaire dans laquelle elle est ménagée.
- [Revendication 6] Sous-ensemble pour empilement de pile à combustible selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque orifice (320, 340) aménagé à travers un demi-cadre (32, 34) présente une section dont l'aire est supérieure ou égale à 5 mm², de préférence à 10 mm², avec une forme préférentiellement circulaire, rectangulaire ou oblongue.
- [Revendication 7] Sous-ensemble pour empilement de pile à combustible selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la colle est thermo-activable et à base de polymère thermoplastique, notamment de copolymère EVA.

- [Revendication 8] Sous-ensemble pour empilement de pile à combustible selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'un au moins des premiers orifices (320) aménagés à travers le premier demi-cadre (32) est agencé dans une zone externe périphérique (Z_{ext}) du sous-ensemble (6) qui est située vers l'extérieur par rapport à un joint d'étanchéité périphérique (50) du sous ensemble (6).
- [Revendication 9] Sous-ensemble pour empilement de pile à combustible selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce de l'assemblage membrane électrode (2) comporte quatre coins, et en ce que le sous-ensemble (6) comporte au moins quatre premiers orifices (320) aménagés à travers le premier demi-cadre (32) et agencés dans une zone externe périphérique (Z_{ext}) du sous-ensemble (6) qui est située vers l'extérieur par rapport à un joint d'étanchéité périphérique (50) du sous ensemble (6), chacun dans un coin de l'assemblage membrane électrode.
- [Revendication 10] Sous-ensemble pour empilement de pile à combustible selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'un au moins des premiers orifices (320) aménagés à travers le premier demi-cadre (32) et la portion pleine (42A) en regard appartenant à la première demi-plaque bipolaire (42) sont agencés dans une zone d'encadrement de galerie (Z_{eg}), agencée autour d'une ouverture 46 de la première demi-plaque bipolaire (42), et isolée fluidiquement d'au moins un compartiment fluide anodique ou cathodique délimité dans le sous ensemble, entre l'assemblage membrane électrode (2) et la première demi-plaque bipolaire (42).
- [Revendication 11] Pile à combustible (8) comprenant un empilement (60) de cellules électrochimiques, avec chacune un assemblage membrane-électrode (2) et deux demi-plaques bipolaires (42, 44), caractérisée en ce que l'une au moins des cellules comprend, ou est constituée par, un sous-ensemble (6) selon l'une des revendications précédentes.
- [Revendication 12] Procédé de fabrication d'un sous-ensemble (6) comprenant
- un assemblage membrane-électrode (2) incluant
 - une membrane (22, 25)
 - un cadre bipartite (30) formé par
 - un premier demi-cadre (32) disposé sur un premier côté de la

- membrane
- un deuxième demi-cadre (34) disposé sur un deuxième côté de la membrane
- et au moins une première demi-plaque bipolaire (42),

ce procédé comprenant au moins

- une étape préalable d'enduction d'au moins une première surface (S34) du deuxième demi-cadre (34) avec une colle ; et
- une étape de solidarisation du cadre (30) et de la membrane (22, 25) par application de la première surface (S34) du deuxième demi-cadre, enduite de colle, contre la première surface (S32) du premier demi-cadre (32) ;

ce procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend au moins

- une étape d'application de la première demi-plaque bipolaire (42) contre une deuxième surface (S'32) du premier demi-cadre (32) opposée à la première surface (S32) de ce premier demi-cadre ;
- une étape de solidarisation de la première demi-plaque bipolaire (42) et du cadre (30) par migration de la colle enduite sur la première surface (S34) du deuxième demi-cadre (34), vers une surface (S42) de la première demi-plaque bipolaire, à travers des premiers orifices (320) aménagés dans le premier demi-cadre (32), entre ses première et deuxième surfaces (S32, S'32).

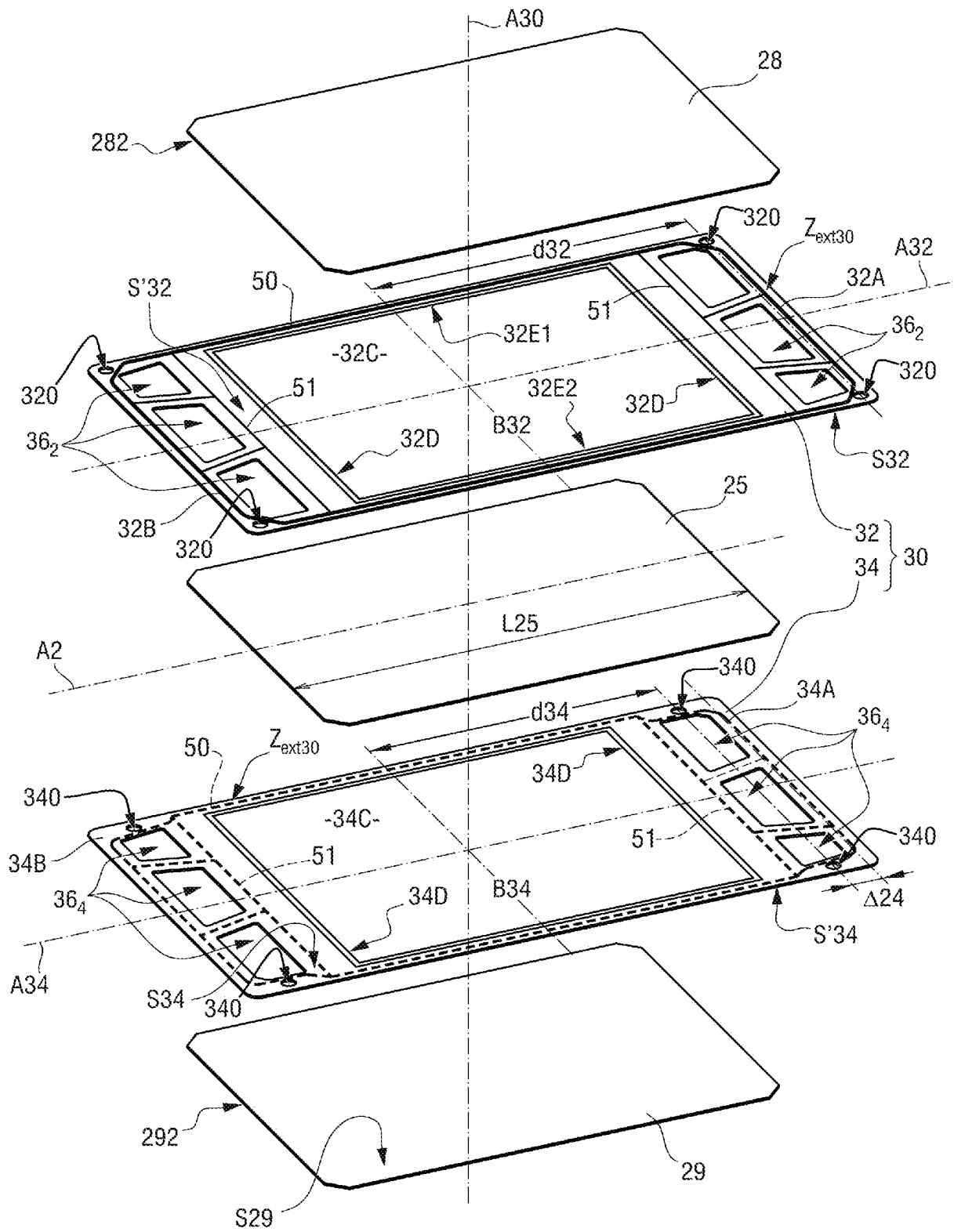
[Revendication 13] Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que le sous-ensemble comprend une deuxième demi-plaque bipolaire (44) et en ce que le procédé comprend au moins

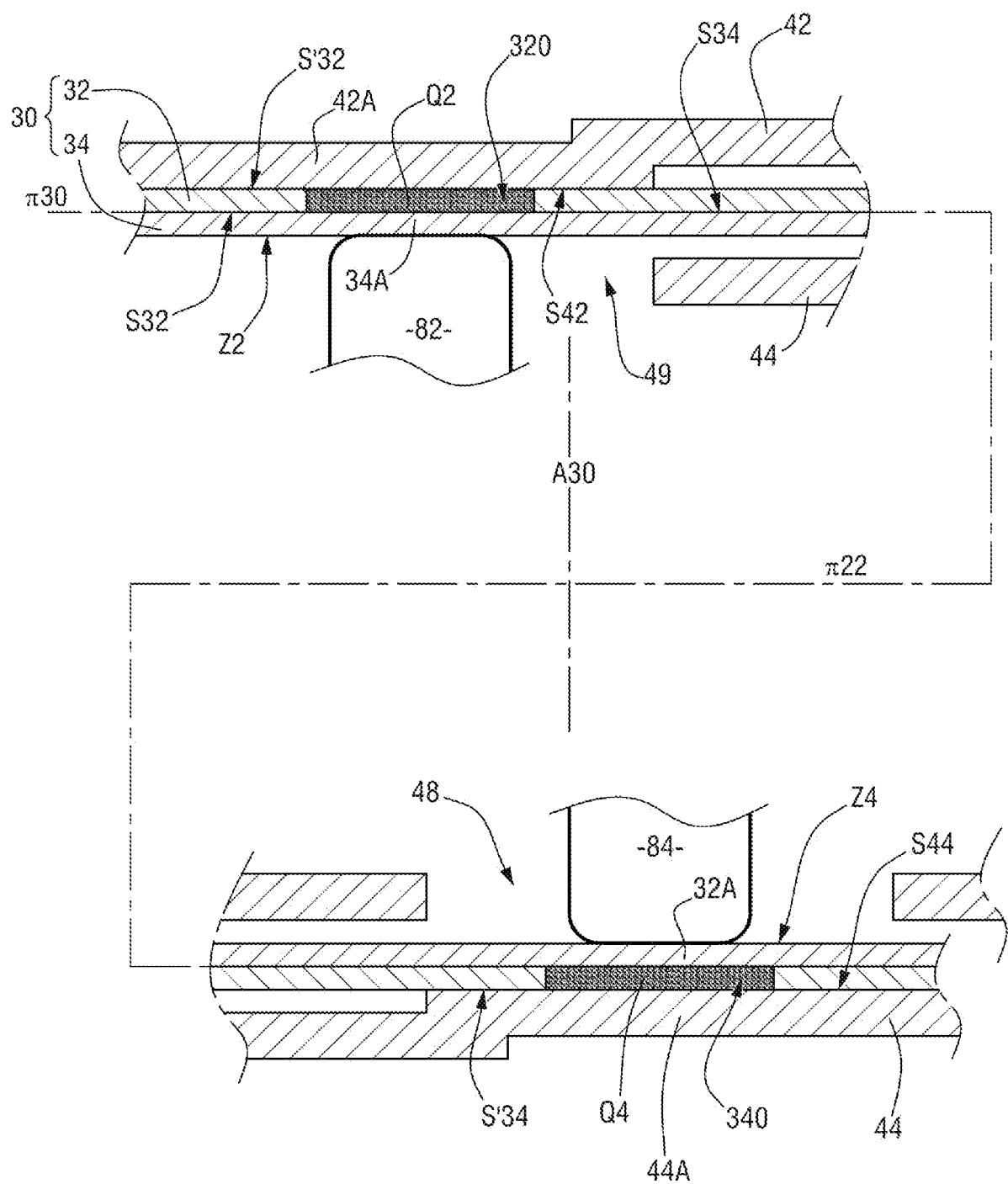
- une étape préalable d'enduction d'au moins une première surface (S32) du premier demi-cadre (32) avec une colle ;
- une étape d'application de la deuxième demi-plaque bipolaire (44) contre une deuxième surface (S'34) du deuxième demi-cadre (34) opposée à la première surface (S34) de ce deuxième

- demi-cadre ;
- une étape de solidarisation de la deuxième demi-plaque bipolaire (44) et du cadre (30) par migration de la colle enduite sur la première surface (S32) du premier demi-cadre (32), vers une surface (S44) de la deuxième demi-plaque bipolaire, à travers des premiers orifices (340) aménagés dans le deuxième demi-cadre, entre ses première et deuxième surfaces (S34, S'34).

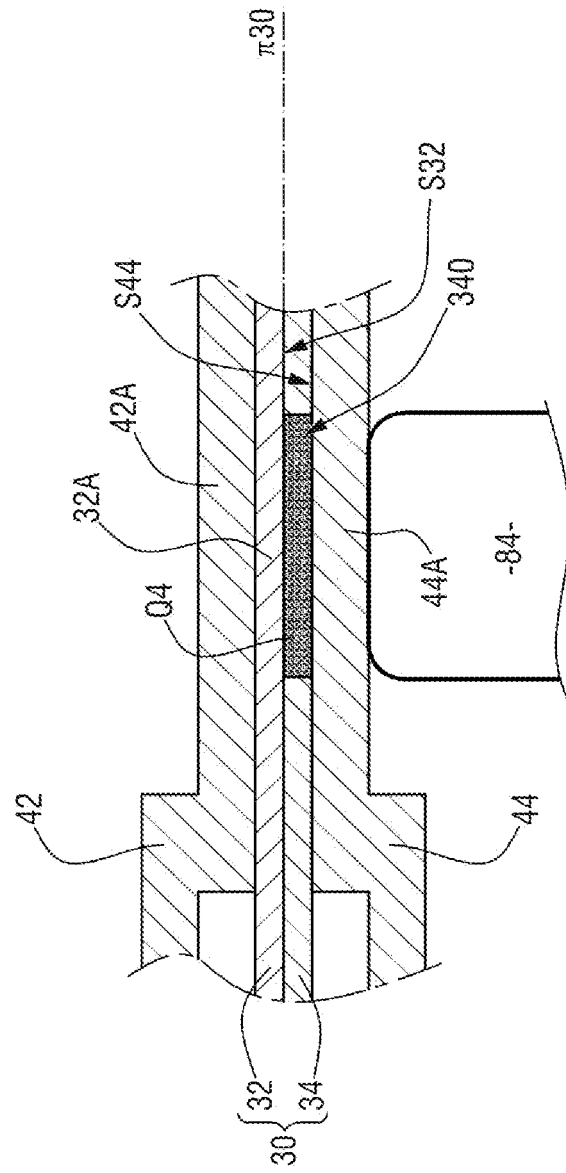
[Revendication 14] Procédé selon l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce que, au cours de l'étape de solidarisation, la colle enduite sur la première surface (S34) du deuxième demi-cadre (34), et éventuellement sur la première surface (S32) du premier demi-cadre (32), est chauffée au moins au voisinage des premiers orifices (320), et éventuellement au niveau des deuxième orifices (340).

[Fig. 2]

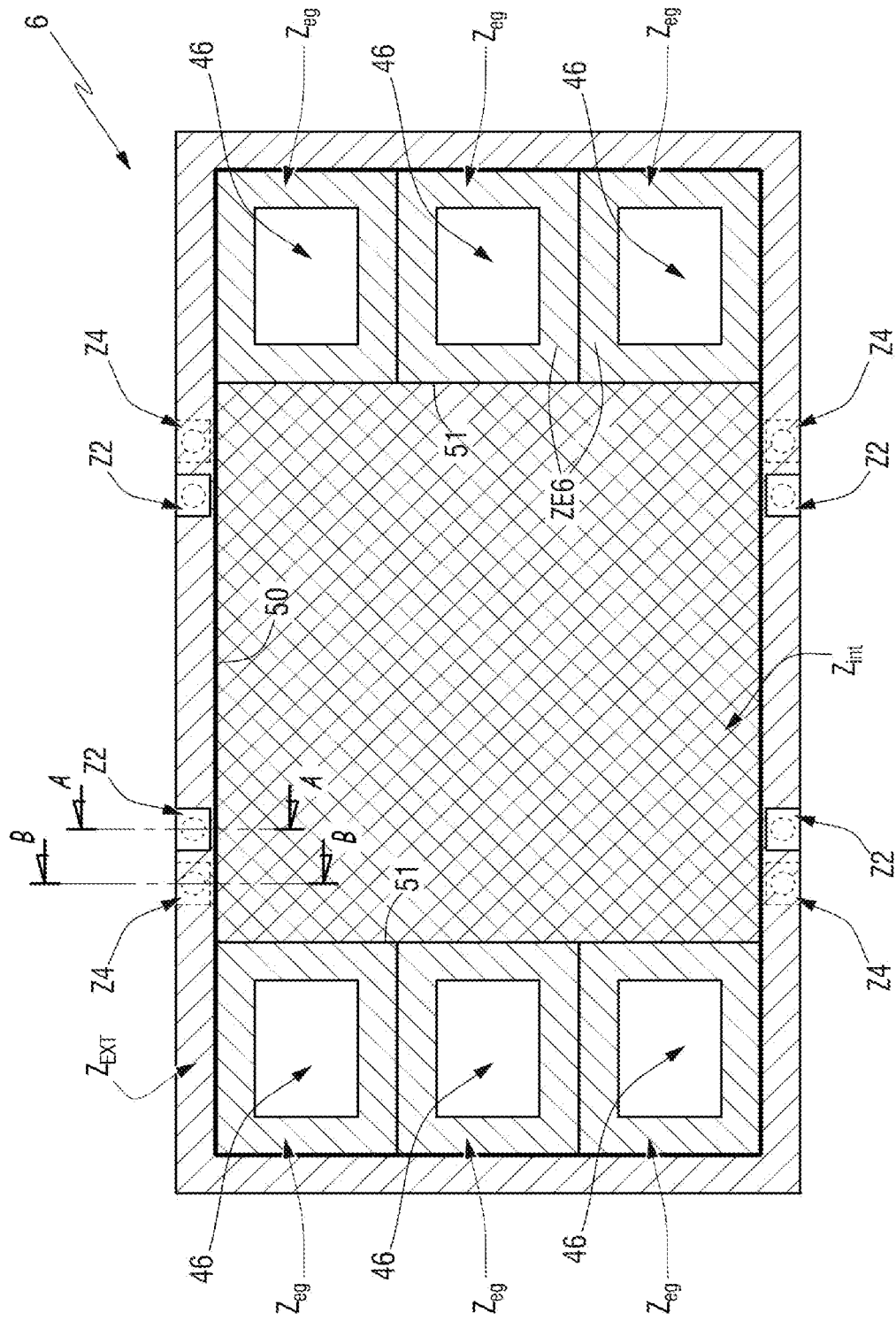




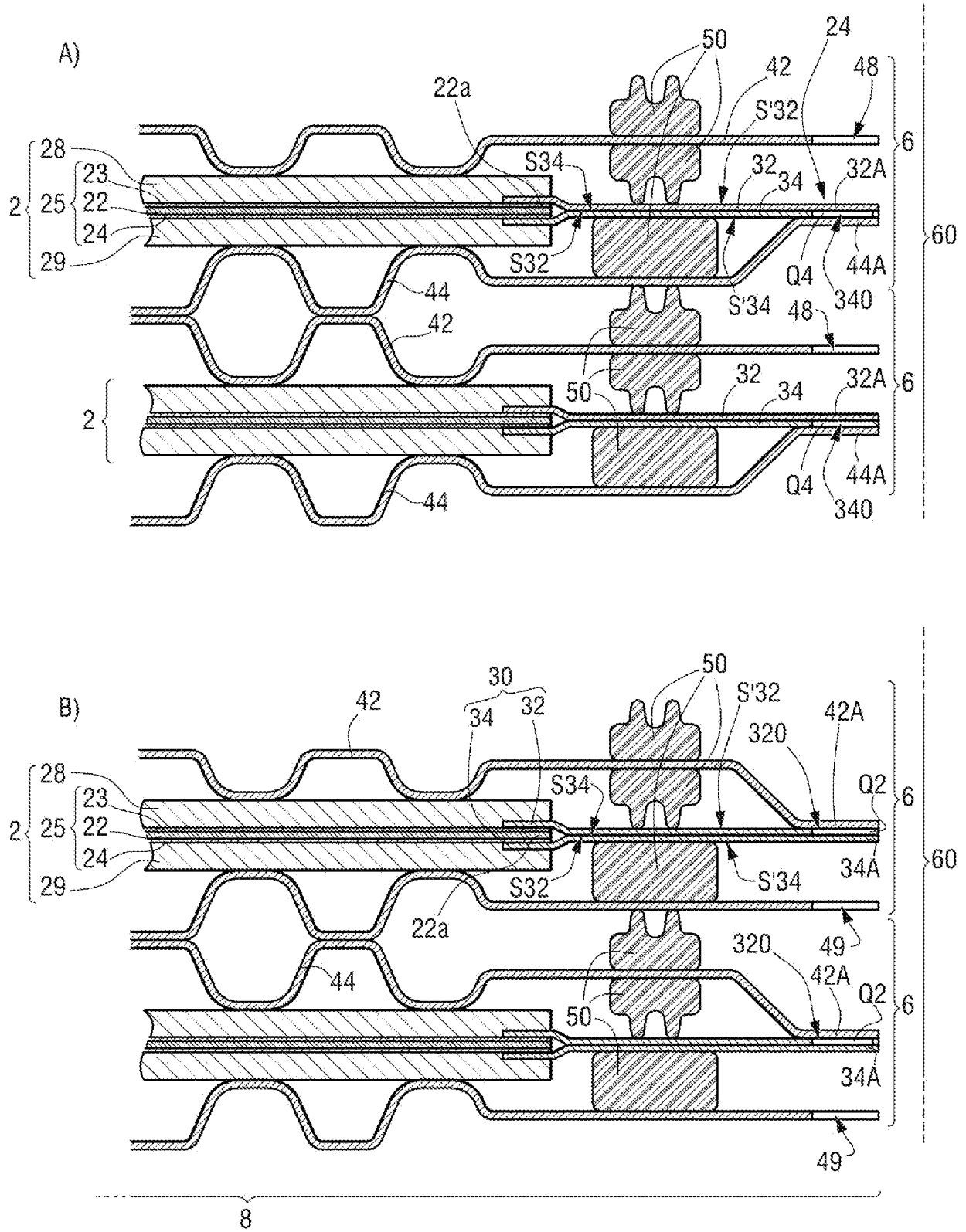
[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 913966
FR 2213386

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 2008 084707 A (TOYOTA MOTOR CORP)	1, 2, 4-14	H01M8/1004 H01M8/0273 H01M8/24
A	10 avril 2008 (2008-04-10)	3	
A	* alinéas [0022] - [0026], [0030] - [0032]; figures 4, 7 *	1-14	
A	DE 10 2020 216093 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 23 juin 2022 (2022-06-23)	1-14	
A	* figure 2 *	1-14	H01M
DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)			
29 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			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2213386 FA 913966**

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 **29-06-2023**
 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 2008084707 A	10-04-2008	JP 4962900 B2 JP 2008084707 A	27-06-2012 10-04-2008
DE 102020216093 A1	23-06-2022	DE 102020216093 A1 WO 2022128479 A1	23-06-2022 23-06-2022
DE 102020133959 A1	23-06-2022	DE 102020133959 A1 WO 2022129561 A1	23-06-2022 23-06-2022