

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

①① N° de publication :

3 014 248

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

②① N° d'enregistrement national :

13 61864

⑤① Int Cl⁸ : **H 01 M 8/04** (2014.01)

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ DISPOSITIF DE RECIRCULATION D'UNE PILE A COMBUSTIBLE.

②② Date de dépôt : 29.11.13.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SYMBIOFCELL Société anonyme* —
FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 05.06.15 Bulletin 15/23.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 12.06.20 Bulletin 20/24.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : ROUYEYRE LUC.

⑦③ Titulaire(s) : *SYMBIOFCELL Société anonyme*.

⑦④ Mandataire(s) : *BREVALEX Société à responsabilité
limitée*.

FR 3 014 248 - B1



DISPOSITIF DE RECIRCULATION D'UNE PILE A COMBUSTIBLE

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

Le domaine technique de l'invention est celui des piles à combustible. La présente demande porte sur un dispositif et son procédé d'utilisation pour optimiser le fonctionnement de ce type de pile, plus particulièrement lors de transitions rapides entre des régimes de fonctionnement différents. L'invention peut donc être utilisée pour des piles à combustible fixes, ou plus avantageusement embarquées.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Une pile à combustible est un dispositif électrochimique délivrant une puissance électrique, de type continue, à un environnement client. Le dispositif répond à une sollicitation de cet environnement. La réponse est de type tension ou courant pour une sollicitation respectivement de type courant ou tension. La puissance électrique est produite par un module de production 10, comportant au moins une cellule électrochimique alimentée à partir d'un module de stockage 6, en carburant 2 et comburant 4 (figure 1). Le comburant peut par exemple être composé d'air ambiant. Une cellule électrochimique est composée des compartiments ou éléments, suivants :

- une anode 12 permettant d'oxyder le carburant 2 ;
- une cathode 14 permettant de réduire le comburant 4 ;
- une membrane 16 échangeuse de protons ou électrolyte, interposée entre la cathode et l'anode, assurant principalement le transfert des molécules de carburant oxydées ;
- un échangeur thermique (18) relié à un dispositif de refroidissement (50).

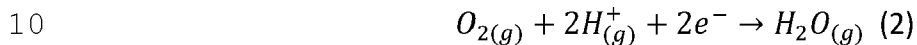
La membrane 16, également appelée PEMFC pour « Proton Exchange Membrane Fuel Cell », permet de séparer physiquement le carburant du comburant lorsqu'ils sont introduits dans leur compartiment respectif dans la cellule

électrochimique. Par exemple, pour une pile à combustible de type PEMFC le carburant est de l'hydrogène, le comburant de l'oxygène.

L'hydrogène au contact de l'anode, libère des charges électriques et des protons :



La membrane de la PEMFC joue le rôle d'électrolyte, assurant le transport des ions H^+ de l'anode jusqu'à la cathode. Les réactants, issus du carburant et comburant, se regroupent alors sur les sites catalytiques de l'électrode cathodiques et réagissent selon la réaction suivante :



Les charges électriques nécessaires à cette réaction (2) proviennent de la réaction (1). Les charges électriques migrent de l'anode à la cathode par l'intermédiaire d'un dispositif conducteur ou un environnement client 20, branché aux bornes du module de production 10.

Ainsi, une pile peut être constituée par un empilement de cellules électrochimiques branchées électriquement en série. Chaque cellule électrochimique est reliée parallèlement à des connecteurs d'alimentation différents, délivrant le comburant, le carburant et éventuellement un fluide permettant de refroidir ladite cellule. Des collecteurs distincts de refoulement permettent d'évacuer le produit des réactions, le comburant, consommé ou non, et le fluide transportant une partie de la chaleur produite par la cellule électrochimique.

Le rendement en électricité de la cellule électrochimique dépend entre autre de sa température.

Par exemple, le rendement de la réaction (2) est optimal dans une gamme de température comprise entre 50°C et 70°C (thèse de M. Marielle MARCHAND, intitulée « Gestion de l'eau dans les piles à combustible », Institut Polytechnique de Grenoble, le 13 novembre 1998).

Or, au-delà de la température ambiante, la PEMFC 16 se dessèche sous l'effet conjugué de la température et des gaz s'écoulant dans la cellule électrochimique si ces derniers ne sont humidifiés. Ces zones sèches, également appelées zones mortes, ne

permettent plus aux protons de diffuser à travers la PEMFC. La réaction (2) est donc stoppée au niveau de ces zones.

A l'inverse, un taux d'humidité trop important des gaz alimentant la pile à combustible favorise le dépôt d'un film liquide à la surface des électrodes, imperméable auxdits gaz et favorisant l'oxydation du support des électrodes. De nouveau la réaction électrochimique est stoppée au niveau des surfaces des électrodes qui sont recouvertes d'eau.

Afin d'éviter ces phénomènes, une pile à combustible comporte un dispositif auxiliaire d'humidification 32 permettant de contrôler le taux d'humidification du comburant injecté à la cathode 14.

Les inconvénients de ce dispositif sont son encombrement et le fait qu'il consomme, directement ou indirectement, une partie de l'électricité produite par le module de production 10.

Une pile à combustible est plus exposée à l'un des phénomènes précédents lorsque son environnement client 20 sollicite des variations d'appel de puissance électriques de fortes amplitudes sur un intervalle de temps court, notamment lors de la mise en route de la pile. Afin d'amortir les effets de ces brusques variations de puissance électrique, la pile est mise en veille ou « stand-by » suivant les possibilités de l'environnement client, ou de l'hybridation, dans laquelle elle est intégrée. Dans ce mode veille, la pile à combustible délivre un courant électrique permettant d'alimenter uniquement les modules auxiliaires nécessaires pour maintenir en veille la pile : compresseur (36) d'alimentation en comburant, pompe d'hydrogène (42), pompe de refroidissement (54), moyens de commande. La pompe de refroidissement (54) appartient à un dispositif de refroidissement (50) comprenant un échangeur de chaleur (56), l'ensemble étant relié à l'échangeur thermique (18). L'échangeur thermique 18 interne aux cellules électrochimique permet sa gestion thermique afin d'en garantir la pérennité. En effet, la puissance thermique induite par les irréversibilités électrochimiques est évacuée par le circuit de refroidissement 50 vers le milieu extérieur par l'intermédiaire de l'échangeur 18.

Les moyens 34 permettent de conditionner l'air sortant du compresseur afin d'obtenir un fonctionnement optimal de la section d'humidification 32. Usuellement ce conditionnement est de type thermique et a pour objectif de maintenir la température des gaz en amont des moyens 32 sous un niveau de saturation. Généralement ces
 5 moyens 34 comportent un dispositif de type « intercooler » ou « radiateur » utilisant l'air ambiant comme source froide.

Certes, ce mode veille permet de répondre plus rapidement à une rampe de puissance ou à une demande brusque de l'environnement client par rapport à un module de production initialement à l'arrêt, mais la faible puissance thermique générée par la pile
 10 dans ce mode, ne permet pas de maintenir la cellule électrochimique dans une gamme de température idéale ou optimum de fonctionnement. Un appel de puissance abrupte peut donc exposer la pile à combustible à l'un des phénomènes précédents (noyage et/ou assèchement) et compromettre son intégrité de manière définitive (J. P. Meyers et
 15 al., « Model of Carbon Corrosion in PEM Fuel Cells », Journal of the Electrochemical Society, 153 (8) A1432-A1442 (2006) ; L. M. Roen et al., « Electrocatalytic Corrosion of Carbon Support in PEMFC Cathodes », Electrochemical and Solid-State Letters, 7 (1), A19-A22 (2004)).

De plus, pour certains dispositifs, principalement pour des raisons économiques, un convertisseur de tension 62 est interposé entre la pile à combustible et
 20 son environnement client 20. Le convertisseur de tension permet de contrôler le courant ou la puissance générée par la pile à combustible, en découplant sa courbe de polarisation et/ou de tension de celle du réseau client. L'un des inconvénients des convertisseurs est qu'ils génèrent des oscillations de courant, également appelées
 25 « ripple current », aux bornes de la pile. Si ces oscillations ont une amplitude incompatible avec son architecture, une détérioration définitive de la pile peut survenir, diminuant de ce fait ses performances et sa durée de vie (Woojin Choi et al. « Development of an Equivalent Canal Model of a Fuel Cell to Eliminate the effects of Inverter Ripple Current », 0-7803-8269-2/04 (C) 2004 IEEE ; Randall S. Gemmen, "Analysis for the Effect of Inverter Ripple Current on Fuel Cell Operating Condition", Journal of

Fluids Engineering, May 2003, Volume 125, Issue 3, pages 576-585, doi: 10.1115/1.1567307).

De plus, un convertisseur de tension est refroidi afin de pérenniser ses composants. Pour faire circuler un fluide caloporteur on ajoute une boucle de refroidissement qui intègre un échangeur de chaleur 64, un circuit de refroidissement, un groupe moto ventilateur (GNV) et une pompe. Une autre possibilité peut consister à utiliser un ventilateur, pour faire circuler l'air ambiant à travers un échangeur de chaleur connecté au circuit de refroidissement, de type ailettes, permettant de dissiper une partie de l'énergie thermique générée par le convertisseur de tension 62.

Une pile à combustible comporte donc en plus du module de production 10 et du module de stockage 6, des modules auxiliaires 30, 40, 50, 60 encombrants et consommant une partie de l'énergie produite par la pile à combustible, diminuant de ce fait son rendement.

L'un des objectifs de l'invention est donc de réaliser un dispositif permettant :

- de maintenir en mode veille une pile à combustible dans une gamme de température optimale ou idéale à son fonctionnement ;
- et/ou d'éliminer les oscillations de courant induites aux bornes de la pile à combustible ;
- et/ou de diminuer l'encombrement des dispositifs auxiliaires assurant son fonctionnement.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention permet de résoudre au moins l'un des problèmes précédents grâce à une cellule électrochimique comprenant une membrane séparant une anode et une cathode, comportant un canal d'alimentation interne à la pile à combustible permettant à un fluide circulant dans le canal d'alimentation d'être en contact avec ladite cathode.

Un canal de refoulement interne à la pile à combustible permet l'évacuation du ou des réactants distribués dans la cellule par le canal d'alimentation mais qui n'ont pas été consommés.

5 La pile ou la cellule comporte un canal d'alimentation et un canal de refoulement

Un canal de recirculation, délimité par une paroi, totalement ou au moins partiellement étanche au fluide, peut comporter :

- une première ouverture connectée à la sortie du canal de refoulement cathodique,
- 10 - une deuxième ouverture connectée indirectement à l'entrée du canal d'alimentation ;
- une troisième ouverture et des moyens d'évacuation permettant à au moins une partie du fluide d'être évacué du canal de recirculation par la troisième ouverture connectée à la ligne d'échappement du système.

15 Le canal de recirculation relie la sortie du canal de refoulement à l'entrée du canal d'alimentation pour permettre l'introduction dans le canal d'alimentation d'au moins une partie du fluide sortant du canal de refoulement. Le terme « fluide » peut désigner un composé liquide et/ou gazeux, comportant des éléments réagissant chimiquement au contact de l'électrode.

20 Dans le cadre de la présente demande, le terme « connecté » peut désigner deux éléments reliés entre eux de manière à ce qu'un fluide puisse circuler entre lesdits éléments. L'expression « indirectement connecté » peut par exemple désigner un ou plusieurs éléments interposés entre le canal d'alimentation et le canal de recirculation et permettant à au moins une partie du fluide sortant du canal d'alimentation d'entrer de nouveau dans ledit canal.

25

Des moyens de commande peuvent être prévus pour commander les moyens d'évacuation.

Les moyens d'évacuation peuvent comporter un obturateur mobile permettant de répartir la quantité de fluide s'écoulant par la seconde ouverture et la troisième ouverture du canal de recirculation.

30

L'obturateur mobile permet de répartir la quantité de fluide s'écoulant par la seconde ouverture et la troisième ouverture du canal de recirculation. L'obturateur mobile peut être une vanne de type trois voies. Il permet de 'balancer' le flux de réactants sortant par le canal de refoulement entre la première et la deuxième et la troisième
 5 ouverture.

La seconde ouverture du canal de recirculation peut être connectée à l'entrée du canal d'alimentation par l'intermédiaire d'un raccord, comprenant une ouverture permettant à un autre fluide de se mélanger avec le fluide sortant du canal de recirculation par la deuxième ouverture. Autrement dit, un raccord peut comporter au
 10 moins trois ouvertures, dont une première ouverture est connectée à la deuxième ouverture du canal de recirculation et une deuxième ouverture est connectée à l'entrée du canal d'alimentation.

Un compresseur peut-être connecté ou disposé en amont d'une des ouvertures du raccord, permettant ainsi d'amener un fluide à la cathode.

15 L'obturateur mobile peut être commandé par un dispositif de commande manuel, contrôlé par un utilisateur de la cellule électrochimique, ou bien par un dispositif de commande, par exemple électromécanique ; ce dernier peut être commandé par un dispositif ou des moyens de supervision.

Le canal de recirculation et/ou le canal d'alimentation peut comporter
 20 un compresseur permettant de contrôler le débit du fluide s'y écoulant. Le compresseur peut être connecté en amont du raccord, entre celui-ci et l'entrée du canal de recirculation. De préférence, afin de perturber le moins possible le fonctionnement du compresseur par les turbulences créées par le mélange du fluide avec un autre fluide, le compresseur est situé le plus loin possible dudit raccord.

25 Un compresseur peut être connecté en amont ou à l'ouverture du raccord et/ou un compresseur peut être connecté au canal de recirculation entre la sortie du canal d'alimentation et les moyens d'évacuation.

Autrement dit, un ou plusieurs compresseurs permet/permettent de contrôler les débits et/ou la proportion des fluides à mélanger dans le raccord.

Des moyens de commande peuvent être prévus pour commander l'obturateur mobile et/ou au moins un compresseur.

Selon une réalisation, les moyens de commande comportent des moyens pour recevoir au moins signal d'au moins un capteur de pression et/ou d'au moins un capteur de température et/ou un capteur de débit, et/ou un capteur de concentration d'oxygène et/ou un capteur d'humidité et/ou un signal des bornes électriques de ladite cellule électrochimique et/ou de ladite cathode.

Des moyens de mémorisation et/ou d'enregistrement des mesures précédentes et/ou des ordres provenant du dispositif de commande électronique et/ou des moyens de calcul peuvent être prévus.

Une sortie peut permettre de contrôler le débit du fluide s'écoulant dans le canal de recirculation.

Une interface de communication peut en outre être prévue.

Un circuit d'alimentation selon l'invention peut être muni d'au moins un capteur de pression, par exemple positionné pour mesurer une pression dans le canal de recirculation.

Un circuit d'alimentation selon l'invention peut être muni d'au moins un capteur de température.

Un circuit d'alimentation selon l'invention peut être muni d'au moins un capteur de débit, et/ou un capteur de concentration d'oxygène et/ou un capteur d'humidité

Le circuit d'alimentation selon l'invention peut en outre comporter un dispositif d'humidification, qui peut par exemple être disposé en interface entre l'entrée du canal d'alimentation et la sortie du canal de refoulement, de manière à pouvoir réinjecter une partie de l'humidité sortant du canal de refoulement vers le canal d'alimentation.

Le canal de recirculation peut comporter des moyens permettant de contrôler la quantité ou la proportion des éléments transportés par le fluide, permettant par exemple de mesurer et/ou de faire varier son taux d'humidité en filtrant une partie de l'eau transportée par ledit fluide.

Le nombre de canaux de recirculation connectés à une pile à combustible comportant la cellule électrochimique peut être compris entre 1 et le nombre de canaux d'alimentation compris de ladite pile.

5 Un canal de recirculation peut collecter un même fluide sortant d'un ou plusieurs canaux d'alimentation, et distribuer ledit fluide à l'entrée d'un ou plusieurs canaux d'alimentation.

10 Une ligne d'échappement peut être connectée à la troisième ouverture du canal de recirculation pour permettre l'évacuation du fluide, par exemple pour l'évacuer à une distance souhaitée de la cellule électrochimique. La longueur du canal de recirculation séparant la première ouverture de la seconde et/ou de la troisième
ouverture peut être comprise entre quelques centimètres et plusieurs dizaines de centimètres, par exemple entre 5 cm et 10 cm ou 50 cm. Par exemple, elle peut être comprise entre quelques centimètres et 30 cm pour les piles à combustible produisant 5KW ou plus d'énergie électrique, et entre quelques centimètres et 50 cm pour celles
15 produisant plus de 100KW d'énergie électrique).

Eventuellement, le canal de recirculation peut être isolé thermiquement afin de préserver l'énergie thermique du fluide le traversant.

20 Une ou plusieurs cellules électrochimiques ci-dessus peuvent former une pile à combustible. Plusieurs cellules électrochimiques appartenant à une même pile sont de préférence connectées en série électriquement et, du point de vue fluidique, en parallèle.

25 L'invention concerne également un procédé d'utilisation d'une cellule électrochimique ci-dessus, comportant une étape de changement de position de l'obturateur mobile de sorte à contrôler la proportion de fluide provenant du canal de refoulement qui est réintroduit dans le canal d'alimentation du même circuit.

L'invention concerne également un procédé d'utilisation d'une cellule électrochimique ci-dessus.

En particulier, un tel procédé peut comporter une étape de changement du régime de fonctionnement, à l'aide d'un obturateur et/ou un ou plusieurs

compresseurs mentionnés ci-dessus, afin de contrôler la proportion de fluide réintroduit dans le canal de recirculation.

Lorsque le fluide est mis au contact de l'électrode, une réaction exothermique se produit et libère de la chaleur. Une partie de cette chaleur est évacuée de la cellule électrochimique par le fluide sortant du canal d'alimentation. Avantageusement, l'invention permet de réintroduire au moins une partie de cette chaleur dans la cellule électrochimique par l'intermédiaire du canal de recirculation. La température de la cellule électrochimique peut ainsi être plus aisément maintenue et/ou amenée à une température souhaitée en fonction de la position de l'obturateur mobile et/ou du régime de fonctionnement d'un ou des compresseurs mentionnés ci-dessus.

De préférence, la cellule électrochimique est chauffée via les irréversibilités de la réaction électrochimiques, ou peut-être maintenue partiellement, par le fluide sortant du canal d'alimentation, à une température égale ou supérieure à 50°C, ou dans des gammes de températures comprises entre 50°C et 70°C, ou entre 50°C et 95°C, ou entre 50°C et 105°C. Lors des phases de faibles puissances, notamment en « standby », par exemple lorsque la pile n'alimente que ses auxiliaires, la chaleur générée n'est plus suffisante pour assurer le maintien en température de la pile. Si la température de la cellule électrochimique sort de l'une de ces gammes de températures, la position de l'obturateur mobile appartenant au canal de recirculation peut être modifiée de manière à contrôler la proportion de fluide provenant du canal d'alimentation et réintroduit dans le même canal. Autrement dit, la position de l'obturateur mobile peut être adaptée pour que la température de la cellule électrochimique, en mode veille, ne soit pas inférieure à 50°C afin que la cellule électrochimique puisse répondre rapidement à des demandes brusques de l'environnement client. Le canal de recirculation assure alors une fonction de roue enthalpique, permettant le recyclage d'une partie ou de la totalité de l'énergie thermique produite par la cellule électrochimique. De plus, la recirculation se faisant sur le canal cathodique, celle-ci permet d'abaisser ou d'augmenter les irréversibilités électrochimiques et ainsi de réguler la chaleur que celle-ci produit, notamment à charge partielle.

La position de l'obturateur mobile peut également être modifiée en fonction de l'état de la cellule électrochimique et/ou de la demande de l'environnement client. Par exemple, la position de l'obturateur mobile peut être modifiée en fonction de la valeur de la tension électrique aux bornes de la cellule électrochimique et/ou de sa température interne.

Le ou les compresseurs mentionnés précédemment peuvent permettre de contrôler la proportion de fluide provenant du canal d'alimentation qui est réintroduit dans un canal d'alimentation identique ou différent. Par exemple, le débit du fluide sortant du canal de recirculation peut être modifié en fonction du régime de fonctionnement d'un compresseur connecté au canal de recirculation. En fonction de ce débit, la proportion du mélange de fluide pouvant s'effectuer au niveau du raccord peut être contrôlée.

A titre d'exemple, lorsqu'on augmente la quantité de fluide réintroduit dans le canal d'alimentation, on peut diminuer la concentration de comburant transporté par le fluide. De ce fait, le rendement de la cellule électrochimique est diminué. L'effet inverse peut être obtenu en augmentant la quantité de fluide sortant par la troisième ouverture du canal de recirculation et/ou en abaissant le débit du fluide sortant de la seconde ouverture du canal de recirculation par l'intermédiaire d'un compresseur. En d'autres termes, la position de l'obturateur mobile et/ou le régime de fonctionnement d'un ou plusieurs compresseurs ci-dessus peut être adapté en fonction de la demande de l'environnement client, pour pouvoir satisfaire cette demande en temps réel.

La position de l'obturateur mobile et/ou le régime de fonctionnement d'un compresseur ci-dessus permet ainsi de contrôler à volonté et à tout moment la proportion de comburants introduit dans le canal d'alimentation suivant la loi de la conservation des espèces ou la loi de conservation de la masse, ainsi que la température de la cellule électrochimique. Le rendement de la cellule électrochimique peut de cette façon être maîtrisé et adapté en temps réel selon la demande de son environnement client.

L'invention peut donc permettre de contrôler, en temps réel, la courbe de polarisation d'une cellule électrochimique ou d'une pile comportant plusieurs cellules électrochimiques.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

5 D'autres détails et caractéristiques de l'invention apparaîtront de la description qui va suivre, faite en regard des figures annexées suivantes.

Les parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures portent les mêmes références de façon à faciliter le passage d'une figure à une autre. Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une
10 échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles. Les repères indiqués sur les figures sont orthogonaux.

La figure 1 représente une pile à combustible et ses modules auxiliaires assurant son fonctionnement.

La figure 2A représente un canal de recirculation.

15 La figure 2B représente une coupe longitudinale d'un élément appartenant au canal de recirculation représenté en figure 2a.

La figure 2C représente une variante du canal de recirculation représenté en figure 2B.

20 La figure 3 représente un mode de réalisation de l'invention comportant une cellule électrochimique représentée en figure 3, connecté à un canal de recirculation représenté en figure 2C.

La figure 4 représente une variante d'un canal de recirculation représenté en figure 2A.

25 Les figures 5, 6A - 6C représentent plusieurs modes de réalisation de l'invention.

La figure 7 représente un mode de réalisation de l'invention comprenant un compresseur.

La figure 8 représente un mode de réalisation de l'invention comprenant deux compresseurs.

La figure 9 représente un mode de réalisation de l'invention comprenant un dispositif d'humidification.

La figure 10 représente un mode de réalisation de l'invention dans lequel un canal de recirculation est connecté à plusieurs cellules électrochimiques.

5 La figure 11 représente la tension et la puissance électrique délivrée par une pile à combustible (traits solides) et un dispositif selon l'invention (traits en pointillés).

Les figures 12a à 12c représentent un empilement de cellules électrochimiques.

10 EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

L'invention concerne une cellule électrochimique ou une cellule d'un empilement de cellules électrochimiques.

Cette cellule comporte notamment un canal de recirculation permettant à un fluide, sortant d'un canal de refoulement appartenant au circuit de ladite cellule ou
15 dudit empilement, d'être réintroduit dans ladite cellule ou ledit empilement par le canal d'alimentation.

Un exemple de pile, ou d'un empilement 300 de cellules électrochimiques, auquel l'invention peut être appliquée, est donné en figures 12A – 12C. Un tel dispositif comporte un ensemble 301 formant un empilement de cellules
20 électrochimiques ; un tel ensemble peut en outre comporter deux plaques terminales 302a, 302b. Des moyens 304 de serrage peuvent être prévus, pour maintenir l'ensemble en compression.

Chaque plaque terminale peut comporter un collecteur de courant assurant la liaison électrique entre le système et les deux cellules d'extrémité de
25 l'empilement. Ce composant est réalisé en matériau conducteur électrique et, de préférence, assure aussi un contact électrique avec lesdites cellules électrochimiques, par exemple à un très faible niveau de résistivité. Ce collecteur de courant est inséré dans l'une des plaques terminales isolantes électriquement 302b qui comprime le collecteur 303 contre les cellules d'extrémité. De préférence ladite plaque terminale intègre une ou

des interfaces fluides qui permettent de connecter une ou plusieurs boucles fluides du système.

Pour assurer la tenue mécanique de l'ensemble complet il est possible de mettre en oeuvre un raidisseur 305, qui vient par exemple de s'appuyer contre la plaque terminale 302b, renforçant ainsi la tenue mécanique de cette dernière.

Des moyens de fermeture peuvent être prévus, pour maintenir la compression souhaitée de l'empilement électrochimique 300 entre les collecteurs de courant 303. Selon une réalisation, cet ensemble de fermeture peut comporter des tirants et/ou des sangles.

Un tel empilement de cellules électrochimique peut comporter un canal ou plusieurs canaux de refoulement et d'admission d'un ou plusieurs fluides, par exemple un fluide comburant, et/ou un fluide carburant et/ou un fluide de refroidissement, chacun traversant chaque cellule. Ces dernières peuvent être alimentées en parallèle grâce auxdits canaux.

Chaque canal peut résulter de l'empilement des cellules. En effet une cellule électrochimique peut comporter une plaque bipolaire 307 et un cœur électrochimique 310, comportant une membrane sur chaque côté de laquelle une électrode est formée. Ces deux éléments peuvent être ajourés de une ou plusieurs lumières 309 ayant pour fonction de permettre le passage d'un ou plusieurs fluides d'alimentation et/ou de refoulement, d'une cellule à l'autre. Et l'empilement de ces lumières forme un canal ou plusieurs canaux d'alimentation et/ou de refoulement de fluide permettant l'alimentation en parallèle de chaque cellule.

Afin de faciliter la compréhension de l'invention, l'exposé ci-dessous décrit en premier lieu un exemple de réalisation d'un canal de recirculation, puis un exemple de réalisation de l'invention comportant ledit canal, suivi de plusieurs variantes de réalisation de l'invention et enfin un procédé d'utilisation de l'invention.

Un canal de recirculation 100 selon l'invention permet l'introduction dans un canal d'alimentation d'une électrode ou d'un ensemble d'électrodes, appartenant à une cellule électrochimique ou à un empilement de cellules électrochimiques, d'un fluide sortant de ladite cellule ou desdites cellules dans le canal de

refoulement. Le terme fluide 90 ou comburant désigne tous éléments, sous forme gazeuse et/ou liquide, permettant d'augmenter et/ou de diminuer le rendement d'une réaction électrochimique se produisant à la surface d'une électrode appartenant à la cellule électrochimique. Par exemple, pour une pile à combustible à hydrogène, le fluide 90 mis au contact d'une cathode comporte préférentiellement de l'oxygène, et éventuellement de l'eau et de l'azote. Les moyens permettant de mettre en contact le fluide 90 avec une électrode sont appelés ci-dessous canal d'alimentation et de refoulement 220 et 280. Un premier exemple de canal de recirculation 100 est à présent décrit.

Selon cet exemple, illustré en figures 2a et 2b, un canal de recirculation 100 qui comporte une première ouverture 102 et une deuxième ouverture 104 reliées par un canal 105.

Ce canal s'étend sensiblement longitudinalement, le long d'un axe Ox. Il est délimité par une paroi 105, étanche ou au moins partiellement étanche au fluide 90. La longueur du canal reliant les ouvertures 102 et 104 peut être comprise entre quelques centimètres et plusieurs mètres ou entre quelques centimètres et plusieurs décimètres, par exemple entre, d'une part, 1 cm ou 5 cm et, d'autre part, 50 cm ou 1 m ou encore 5 m.

La section du canal 105, définie dans un plan perpendiculaire à sa longueur, peut être de forme circulaire. Mais elle peut avoir une autre forme, par exemple ovale, ou rectangulaire ou carrée. Elle peut être comprise entre quelques centimètres et plusieurs décimètres, par exemple entre, d'une part, 1 cm ou 5 cm et, d'autre part, 10 cm ou 50 cm.

Le canal de recirculation 100 comporte des moyens ou un dispositif d'évacuation 140, permettant d'évacuer, à l'extérieur du canal 105, par l'intermédiaire d'une troisième ouverture 106, disposées latéralement par rapport au canal, au moins une partie du fluide 90 circulant dans celui-ci.

Ces moyens d'évacuation 140 comportent :

- un premier passage ou une première entrée 142, reliée à la première ouverture 102 par une première partie 105a du canal 105, disposée en amont des moyens 140 par rapport au sens de circulation du fluide ;

- un deuxième passage ou une première sortie 144, reliée à la deuxième ouverture 104 par une deuxième partie 105b du canal 105, disposée en aval des moyens 140 par rapport au sens de circulation du fluide ;

- un troisième passage ou une deuxième sortie 146, correspondant dans cet exemple à la troisième ouverture 106.

Avantageusement, un obturateur mobile 148 permet de répartir le fluide 90, qui est entré dans le canal par la première ouverture 102, entre la deuxième ouverture 104 et la troisième ouverture 106.

En d'autres termes, le dispositif d'évacuation 140 comporte une vanne, ou fonctionne comme une vanne, de type trois voies. Les flèches de la figure 2B indiquent le sens d'écoulement du fluide dans le canal de recirculation 100.

La position de l'obturateur mobile 148 peut être commandée par un dispositif de commande manuel (non représenté sur les figures), permettant à un utilisateur de contrôler de façon réversible et à volonté la proportion de fluide s'écoulant entre la deuxième ouverture et la troisième ouverture du canal de recirculation 100. Eventuellement, et comme illustrée sur la figure 2C, la deuxième sortie 146 du dispositif d'évacuation 140 est prolongée par une portion 105c d'un canal 100 de manière à former une ligne d'échappement permettant d'éloigner la troisième ouverture 106 de la paroi du canal 105 de recirculation.

De préférence, la ligne d'échappement positionne l'ouverture 106 à l'extérieur de la pile à combustible comportant la cellule électrochimique ou l'empilement de cellules électrochimiques 200.

Quel que soit le mode de réalisation envisagée pour le canal de recirculation 100, celui-ci est de préférence réalisée dans des matériaux déformables ou souples afin de faciliter sa connexion à une cellule électrochimique, comme expliqué ci-dessous.

La paroi du canal de recirculation peut être composée de matériaux organiques (polymères) ou inorganiques (métaux). Par exemple le canal de recirculation peut-être composé d'une durite mono-bloc, moulée en silicone, de préférence semi-rigide.

5 Le canal de recirculation 100 peut comporter des moyens permettant de minimiser les pertes thermiques par sa paroi. Par exemple, la surface externe de la paroi peut être recouverte d'un matériau isolant, tel que de la mousse expansée. De cette façon, la chaleur d'un fluide est préservée lors de son passage dans le canal de recirculation.

10 Un exemple de réalisation d'un circuit d'alimentation selon l'invention, comportant un canal de recirculation tel que ci-dessus, est décrit en liaison avec la figure 3.

Sur cette figure, est représentée une pile comportant une anode 210, une cathode 250, et une membrane 290, interposée entre la cathode et l'anode. Cette
15 membrane 290 est imperméable aux fluides réactants et aux charges électriques mais perméables aux protons.

L'anode 210 est alimentée en carburant, de manière classique, comme cela a été décrit ci-dessus en liaison avec la figure 1.

Le dispositif comporte donc des moyens d'alimentation de l'anode en
20 carburant, ces moyens n'étant pas représentés sur la figure 3. La référence 6 a la même signification qu'en figure 1, il s'agit d'un module de stockage, en carburant et en comburant. La référence 10 désigne le module de production comportant au moins une cellule électrochimique alimentée à partir dudit module de stockage.

La cathode 250 est alimentée en comburant, en général de l'air, à partir
25 d'un réservoir 4. Plus précisément, le comburant est amené à partir de ce réservoir par un canal 219 d'alimentation, un raccord 80, puis un canal d'alimentation 220 de la cathode.

Dans la cathode, le fluide, appauvri de l'oxygène consommé par la réaction électrochimique, est ensuite dirigé vers un circuit de refoulement 280, dont une partie est visible en figure 3.

Sur la figure 3 les flèches indiquent la circulation du fluide réactant 90 dans les canaux, avant entrée dans d'empilement, et en sortie de l'empilement.

Un canal de recirculation 100 du type décrit ci-dessus, par exemple celui décrit en liaison avec la figure 2C, est connecté à la cellule électrochimique ou à un empilement de cellules électrochimique de la façon suivante.

La sortie 284 du canal de refoulement 280 de la cathode 250 est connectée à la première ouverture 102 du canal de recirculation 100 et la deuxième ouverture 104 du canal de recirculation est connectée (ici indirectement) à l'entrée 221 du canal de d'alimentation 220 par l'intermédiaire du raccord 80. Ce dernier comporte :

- une première ouverture connectée à la deuxième ouverture 104 du canal de recirculation ;
- une deuxième ouverture connectée à l'entrée 221 du canal d'alimentation 220 ;
- une troisième ouverture pour l'introduction du fluide provenant du réservoir 4.

Un ou plusieurs capteurs de pression peuvent être positionnés dans le canal de circulation 100. Une ou plusieurs sondes de température peuvent être également être disposées dans ce canal, par exemple à proximité des capteurs de pression.

Au moins un capteur de débit, et/ou un capteur de concentration d'oxygène et/ou un capteur d'humidité peut/peuvent être disposés dans l'un des canaux.

Plusieurs variantes du dispositif ci-dessus sont décrites ci-après, ces variantes peuvent être combinées entre elles pour permettre l'obtention d'autres modes de réalisation.

Selon une première variante, le canal de recirculation 100 et le raccord 80 forment une seule et même pièce.

Selon une autre variante de l'invention, les ouvertures 102 et 104 du canal de recirculation comportent des moyens de fixation permettant de faciliter le raccord du canal de recirculation 100 à l'entrée et à la sortie d'un canal d'alimentation

280. Ces moyens permettent par exemple de réaliser un sertissage ou un collage ou un surmoulage de l'ouverture 104 autour d'une portion du raccord 80.

Selon encore une autre variante d'un dispositif décrit ci-dessus, pour améliorer l'étanchéité du dispositif, un ou plusieurs joints toriques, ou joints plats, est/sont intercalés entre les différents éléments connectés ensemble.

Selon encore une autre variante, la position de l'obturateur mobile 148 peut être modifiée par l'intermédiaire de moyens 150 de commande comportant par exemple un dispositif électronique (figures 4 et 5).

Ces moyens de commande (appelés encore dispositif de supervision bas) peuvent comporter :

- au moins une entrée 152a permettant au système électronique 150 de recevoir au moins un signal ;
- des moyens de mémorisation de signaux ;
- des moyens de calculs ;
- au moins une sortie 154a reliée à des moyens 140 permettant de contrôler la position de l'obturateur mobile 148.

Les moyens de commande 150 peut également comporter une sortie 154b connectée à une interface de communication 196, de type écran d'affichage. Une entrée 152c peut également être connectée à une interface de communication 190, de type clavier d'ordinateur, permettant à un opérateur d'entrer des informations dans le dispositif 150. Le système électronique 150 peut être un dispositif de type ordinateur ou micro-ordinateur.

Une entrée 152a des moyens de commande peut être reliée à au moins un capteur de pression 160, par exemple positionnés dans le canal de recirculation 100.

Au moins une sonde de température 170 peut être connectée à une entrée 152b des moyens de commande 150. La ou les sondes de température peuvent être positionnées à proximité des capteurs de pression. De préférence, au moins un capteur de température 170 peut être positionné au contact ou à proximité :

- de l'électrode ;

- et/ou de sa plaque de support, par exemple la plaque 302b, de préférence encore à proximité du canal de refoulement

- et/ou d'un dispositif permettant le refroidissement de ladite plaque de support ;

- et/ou de la pile à combustible comportant ladite électrode.

Les moyens de commande 150 peuvent comporter au moins une autre entrée 152d, pouvant être reliée aux bornes électriques de la pile à combustible et/ou à la cathode 250. Une régulation en courant est alors réalisée.

Les moyens de commande 150 peuvent communiquer avec les autres moyens, et notamment avec l'obturateur mobile, ou ses moyens de positionnement, et/ou avec les moyens de contrôle d'un compresseur, par l'intermédiaire de moyens 124. Ces moyens peuvent être des éléments conducteurs (fils métalliques) ou des moyens de communication utilisant des ondes radiofréquences (wifi, RFID). Ces moyens 124 permettent la communication d'un signal, par exemple des impulsions électriques, entre deux dispositifs.

Éventuellement, d'autres moyens 180, dits dispositif de supervision « haut », peuvent être prévus afin de contrôler le fonctionnement des moyens de commande 150. En variante, une supervision haute est effectuée par un opérateur ou par la demande d'énergie électrique de l'environnement client.

Comme déjà expliqué ci-dessus, un canal de recirculation peut comporter un compresseur 120 (figures 6A, 6B et 6C). Par exemple, celui-ci comporte une hélice 122 dont la vitesse et le sens de rotation peuvent être commandés par les moyens 150 de commande, par exemple par l'intermédiaire d'un dispositif de contrôle 130 (il peut s'agir de l'onduleur ou du variateur qui l'alimente) lui-même relié aux moyens de commande 150 par l'intermédiaire de moyens de communication 124. Les moyens de commande 150 peuvent être reliés à des moyens 154c permettant de mesurer la pression du fluide dans le canal 105, les moyens 150 permettant alors de contrôler la pression du fluide dans le canal 105.

Le dispositif compresseur 120 permet de déplacer le fluide de la première ouverture 102 vers la deuxième ouverture 104 et/ou la troisième ouverture

106. De préférence, le compresseur est placé entre la première ouverture 102 et le dispositif d'évacuation 140 afin que la pression du fluide 90 soit la plus importante dans la partie amont 105a du canal 105 que dans sa partie aval 105b.

En variante, un compresseur (C1) peut être placé entre le raccord 80 et l'entrée du canal d'alimentation 220 pour injecter le fluide sous pression dans ce canal (figure 7). La sortie 104 du canal de recirculation est de préférence connectée en amont et le plus loin possible dudit compresseur qui permet d'homogénéiser le mélange se réalisant dans le raccord 80.

Eventuellement, un compresseur (C1') est connecté en amont de l'ouverture du raccord 80, permettant à un autre fluide, en l'occurrence de l'air provenant d'un milieu extérieur ou du réservoir 4, de se mélanger avec le fluide, appauvri en oxygène et provenant de la recirculation, et un autre compresseur (C2) est connecté au canal de recirculation entre la sortie 284 du canal de refoulement et les moyens d'évacuation 140.

Selon une autre variante d'un des dispositifs précédents, illustrée en figure 9, un dispositif d'humidification 300 peut être interposé entre la première et la deuxième ouverture du canal de recirculation 100 de manière à pouvoir réinjecter l'humidité sortant du canal de refoulement à l'entrée du canal d'admission

Selon une variante, et comme illustrée en figure 10, l'invention s'applique également à un canal de recirculation 100' commun connecté, par exemple par l'intermédiaire d'un raccord 80, à un canal alimentation 220' à partir duquel plusieurs canaux d'alimentation 220₁, 220₂, 220₃, permettent d'alimenter différentes cellules 200₁, 200₂, 200₃. Chacune de ces cellules à une structure telle que décrite ci-dessus en liaison avec la figure 4. Ce canal de recirculation 100' permet de récupérer le fluide sortant des canaux de refoulement des différentes piles et de réinjecter au moins une partie de ce fluide aux entrées des canaux d'admission des cellules.

Le canal de recirculation 100' a la même structure que ceux qui ont été décrits ci-dessus, par exemple en liaison avec les figures 2A – 2C ou 6A.

La recirculation a alors lieu comme décrit ci-dessus en liaison avec les autres modes de réalisation.

Autrement dit, l'invention s'applique non seulement à une cellule individuelle, mais également à un empilement de cellules.

Un procédé d'utilisation de l'un des dispositifs ci-dessus est décrit ci-après.

5 Sur la figure 11, les courbes solides représentent la tension T1 et la puissance P1 délivrées par une pile à hydrogène comportant une cellule électrochimique. La puissance contenue dans l'hydrogène consommé est illustrée par la courbe PH. La droite pointillée PE indique le niveau de puissance électrique requise pour que la pile fonctionne. Une part de l'hydrogène consommé libère donc de la chaleur selon la
10 réaction électrochimique (2) ci-dessus. La puissance libérée sous forme de chaleur (PT1) correspond à la différence entre la courbe PH et PE.

Un canal de recirculation tel que décrit ci-dessus permet de réintroduire au moins une partie du fluide dans le canal d'alimentation de la cathode de la pile à hydrogène. Cela a pour effet d'introduire un fluide comportant moins d'oxygène, plus de
15 molécules d'eau et une partie de l'énergie thermique cédée lors de la réaction électrochimique (2).

De ce fait, le rendement de la réaction (2) est limité par le manque de comburant ou plus précisément la baisse en concentration d'éléments comburants, en l'occurrence l'oxygène dans le cas présent,. La tension électrique et la puissance de la pile
20 chute alors, les courbes T1 et P1 sont remplacées par les courbes T2 et P2 respectivement. Cette chute peut être contrôlée en fonction de la proportion de gaz réactant réintroduit dans le canal d'alimentation. Les performances de la pile peuvent alors être réduites ou diminuées en fonction de la position, par exemple, de l'obturateur mobile 148 dans le système d'évacuation 140.

25 Pour un même niveau de puissance électrique requise, la pile à combustible peut donc consommer plus d'hydrogène, selon la réaction électrochimique (2), lorsqu'elle est connectée à un canal de recirculation ci-dessus (PT2)). La réaction électrochimique (2) étant exothermique, une augmentation de la quantité d'hydrogène consommée dans la cathode entraîne une élévation de la température de ladite cathode.
30 Le canal de recirculation permet ainsi de contrôler la proportion de chaleur produite lors

de la réaction électrochimique (2). Il est alors possible de maintenir ou de monter en température la cellule électrochimique d'une pile à combustible lorsque celle-ci est en mode veille, en faible charge ou éventuellement à l'arrêt.

Un opérateur, ou bien les moyens 150 de commande, peut commander la position de l'obturateur mobile 148 (figure 4), de façon à adapter la proportion de fluide réinjecté dans le canal d'alimentation. La puissance électrique délivrée par la cellule électrochimique peut être contrôlée en fonction de la position de l'obturateur mobile 148 dans le dispositif d'évacuation 140. Le phénomène d'oscillation de courant peut alors être atténué, voire supprimé.

Avantageusement, l'invention permet de récupérer au moins une partie de la chaleur produite par une cellule électrochimique, pour la réintroduire dans la même cellule électrochimique.

Ainsi, l'invention peut permettre de maintenir plus facilement une cellule électrochimique dans une gamme de température comprise entre 50°C et 70°C, ou entre 50°C et 95°C, ou entre 50°C et 105°C, même en mode veille ou « stand-by » en anglais.

L'invention peut également permettre d'augmenter la température d'une cellule électrochimique à l'arrêt, connectée au moins partiellement à une cellule électrochimique en fonctionnement, par l'intermédiaire de l'un des canaux de recirculation précédents.

Avantageusement, la cellule électrochimique est maintenue dans une gamme de température favorable pour permettre à ladite cellule électrochimique de répondre à des demandes brusques de l'environnement client. Il n'est alors plus nécessaire de recourir à un convertisseur de tension, ce qui signifie une diminution du volume du dispositif et une réduction de son coût de fabrication par rapport à l'état de la technique.

Une pile à combustible peut comporter plusieurs cellules électrochimiques décrites ci-dessus, connectées en série.

Un autre avantage de l'invention est de pouvoir réhydrater une membrane PEMFC en prélevant l'eau produite par une cellule électrochimique, pour

l'introduire de nouveau dans la cellule électrochimique. Il n'est alors plus utile d'avoir recours à des dispositifs auxiliaire d'humidification des fluides réactants, dispositif volumineux et consommant une partie de l'énergie produite par la pile.

- 5 La suppression des modules auxiliaires ci-dessus permet notamment de supprimer les risques d'endommagement de la cellule électrochimique par les oscillations de courant induites par ces modules.

REVENDICATIONS

1. Circuit d'alimentation d'une cathode (250) d'une cellule électrochimique (200) de type PMFC, laquelle comporte en outre une membrane (290) séparant une anode (210) et ladite cathode (250), ce circuit comportant :

- un canal d'alimentation (220) comportant une entrée (282) et permettant d'amener un fluide (90) en contact avec la cathode (250) ;

- un canal de refoulement (280) permettant l'évacuation de gaz depuis la cellule,

- un canal de recirculation (100, 100') délimité par une paroi au moins partiellement étanche au fluide (90), comportant :

- une première ouverture (102) connectée à la sortie (284) du canal de refoulement (280) ;

- une deuxième ouverture (104) connectée à l'entrée (282) du canal d'alimentation (280) par l'intermédiaire d'un raccord (80), ledit raccord permettant en outre d'amener un fluide comburant à la cathode, lequel se mélange avec le fluide sortant du canal de recirculation par la deuxième ouverture;

- une troisième ouverture (106) et des moyens d'évacuation (140) permettant à au moins une partie du fluide (90) d'être évacué du canal de recirculation par la troisième ouverture (106),

- Le canal de recirculation (100, 100') et/ou le canal d'alimentation comportant au moins un compresseur (C1, C2), lequel permet de contrôler les débits et/ou la proportion des fluides à mélanger dans le raccord.

2. Circuit d'alimentation selon la revendication 1, comportant en outre des moyens (150) de commande pour commander les moyens d'évacuation.

3. Circuit d'alimentation selon l'une des revendications 1 ou 2, les moyens d'évacuation (140) comportant un obturateur mobile (148) permettant de répartir la quantité de fluide (90) s'écoulant par la deuxième ouverture (104) et la troisième ouverture (106) du canal de recirculation.

4. Circuit d'alimentation selon la revendication 3, comportant en outre des moyens (150) de commande pour commander l'obturateur mobile (148).

5 5. Circuit d'alimentation selon l'une des revendications 1 à 4, comportant en outre au moins un compresseur (C1') connecté en amont d'une ouverture du raccord (80) permettant d'amener un fluide comburant à la cathode.

10 6. Circuit d'alimentation selon l'une des revendications 1 à 5, le canal d'alimentation comportant en outre au moins un compresseur (C1, C2).

7. Circuit d'alimentation selon l'une des revendications 1 à 6, comportant en outre des moyens (150) de commande pour commander au moins un compresseur (C'1, C1, C2).

15 8. Circuit d'alimentation selon l'une des revendications 2, 4 ou 7, lesdits moyens (150) de commande comportant des moyens (152a) pour recevoir au moins signal d'au moins un capteur de pression (160) et/ou d'au moins un capteur de température (170) et/ou un capteur de débit, et/ou un capteur de concentration
20 d'oxygène et/ou un capteur d'humidité et/ou un signal des bornes électriques de ladite cellule électrochimique (200) et/ou de ladite cathode (250).

9. Circuit d'alimentation selon l'une des revendications précédentes, comportant en outre au moins un capteur de pression (160).

25 10. Circuit d'alimentation selon la revendication précédente, ledit capteur de pression (160) étant positionné dans le canal de recirculation (100).

30 11. Circuit d'alimentation selon l'une des revendications précédentes, comportant en outre au moins un capteur de température (170).

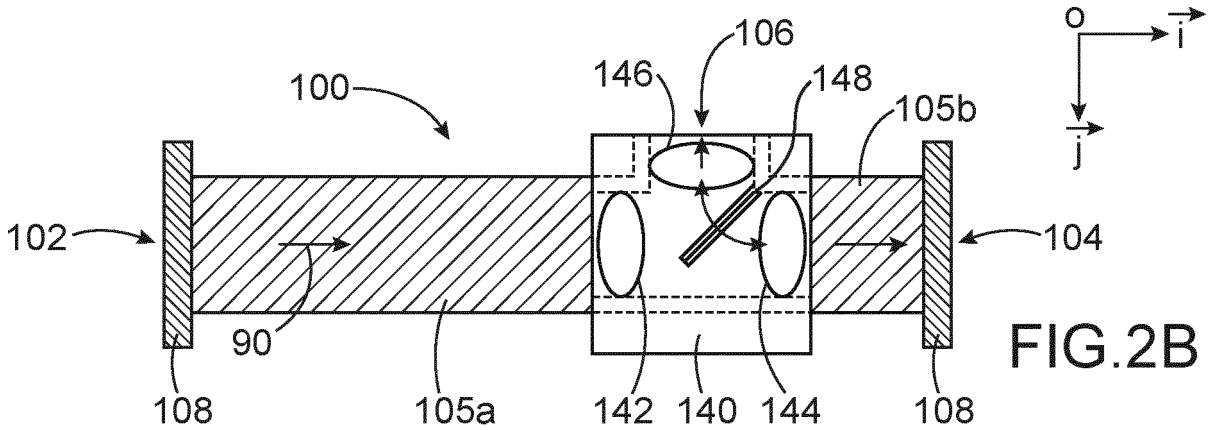
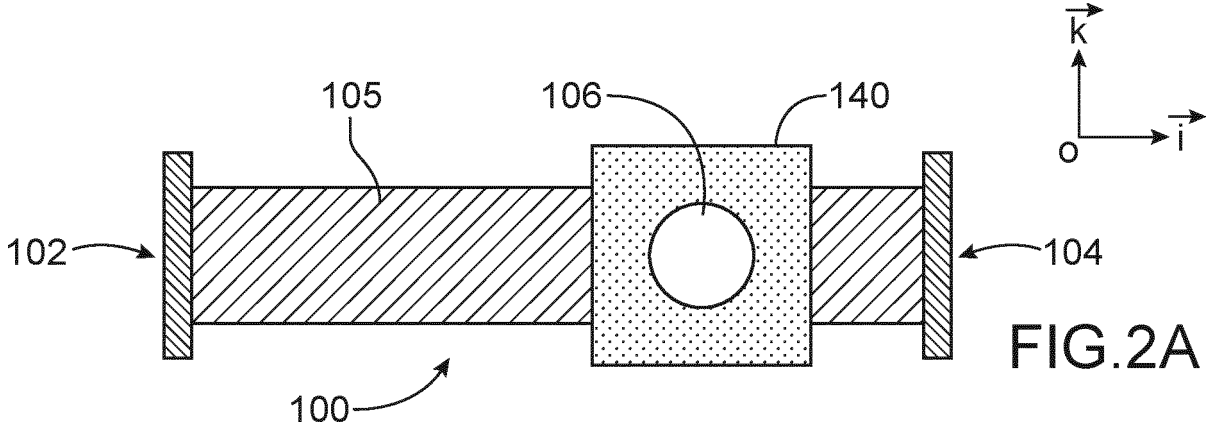
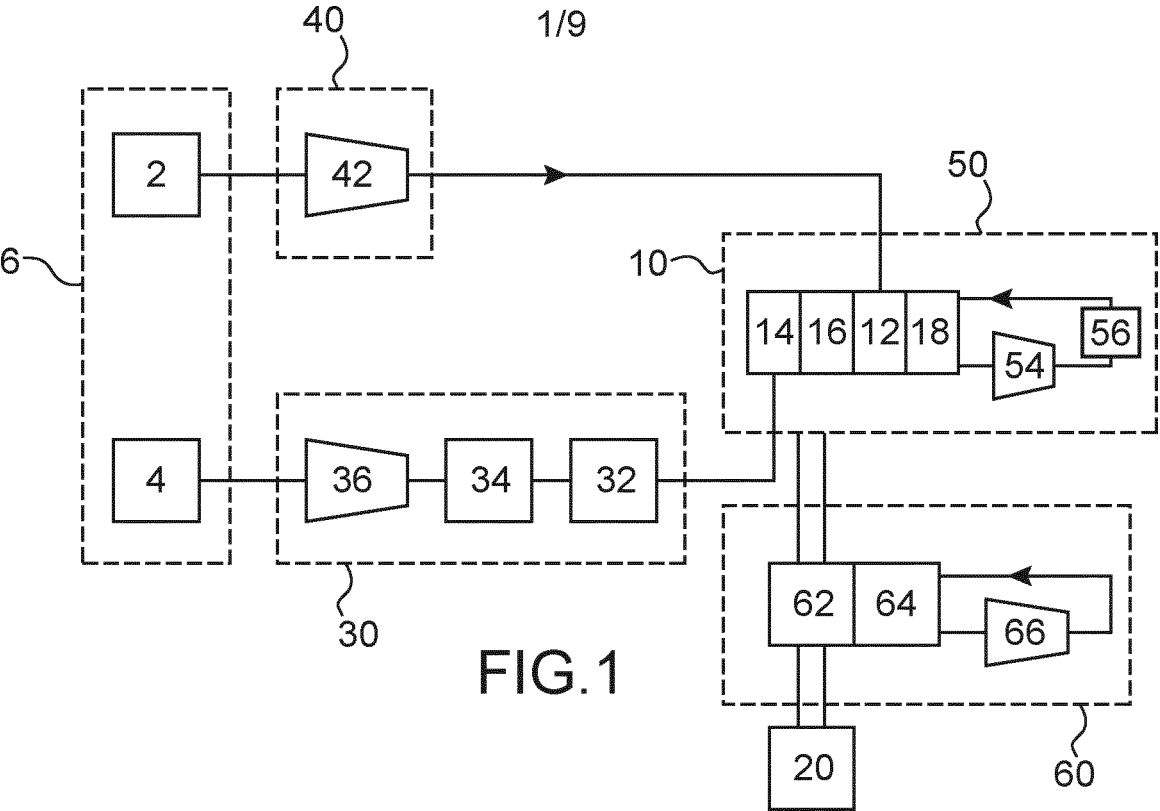
12. Circuit d'alimentation selon l'une des revendications précédentes comportant en outre un dispositif d'humidification (300).

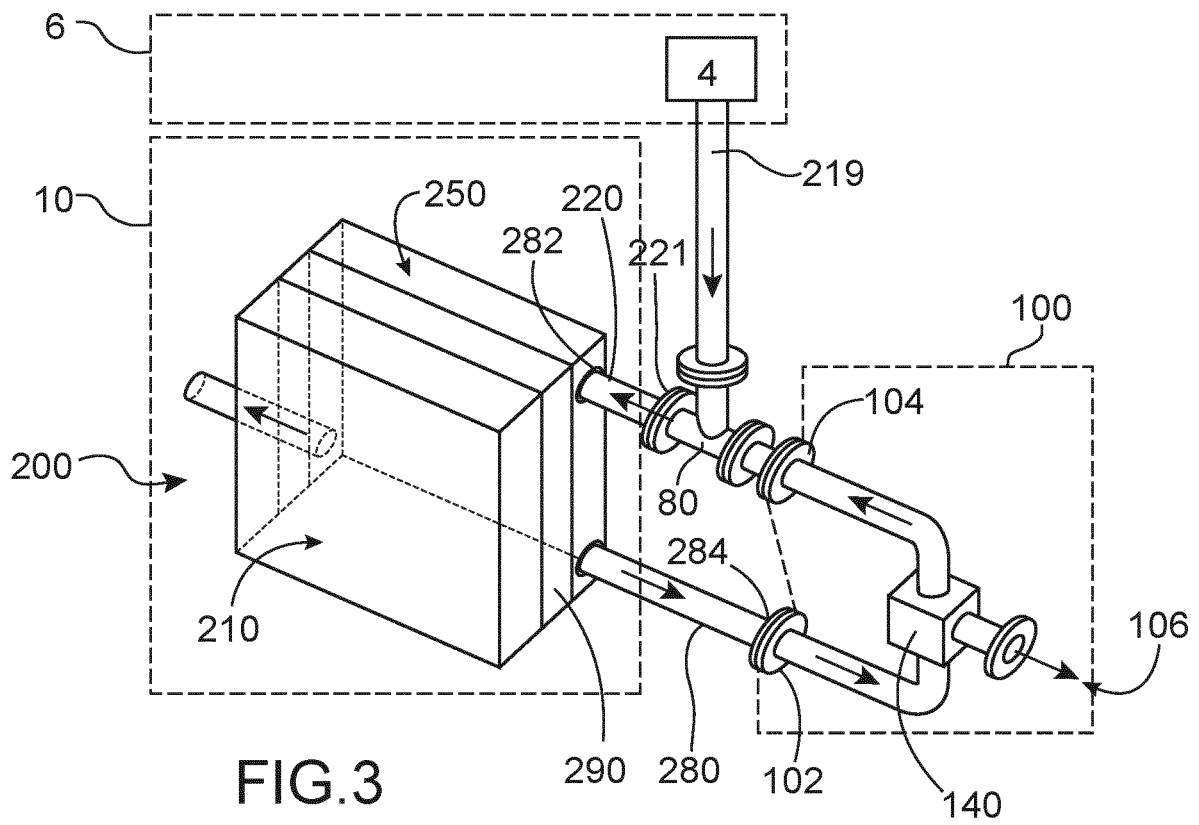
5 13. Cellule électrochimique (200) de type PMFC comportant une membrane (290) séparant une anode (210) et une cathode (250), cette cellule comportant en outre un circuit d'alimentation de la cathode (250) selon l'une des revendications précédentes.

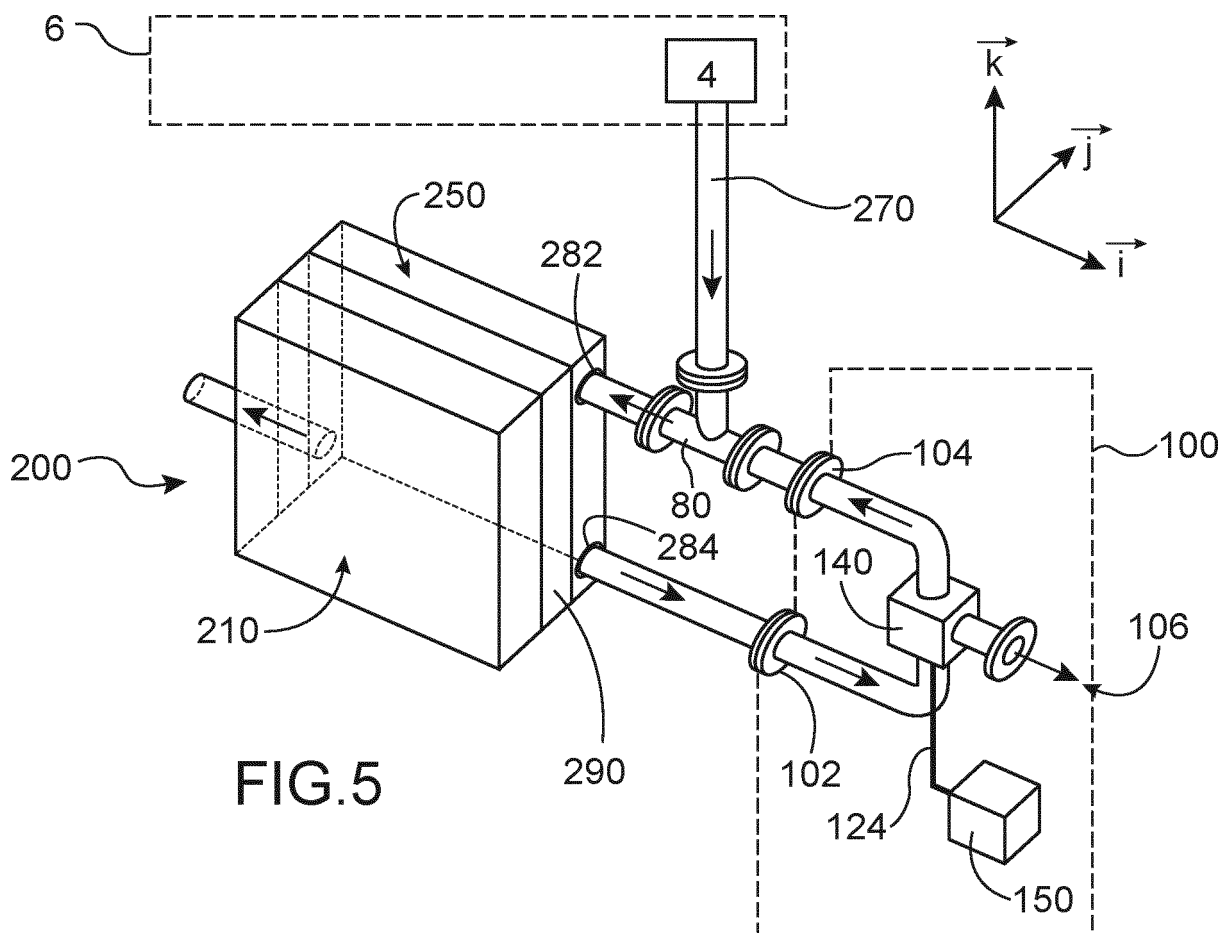
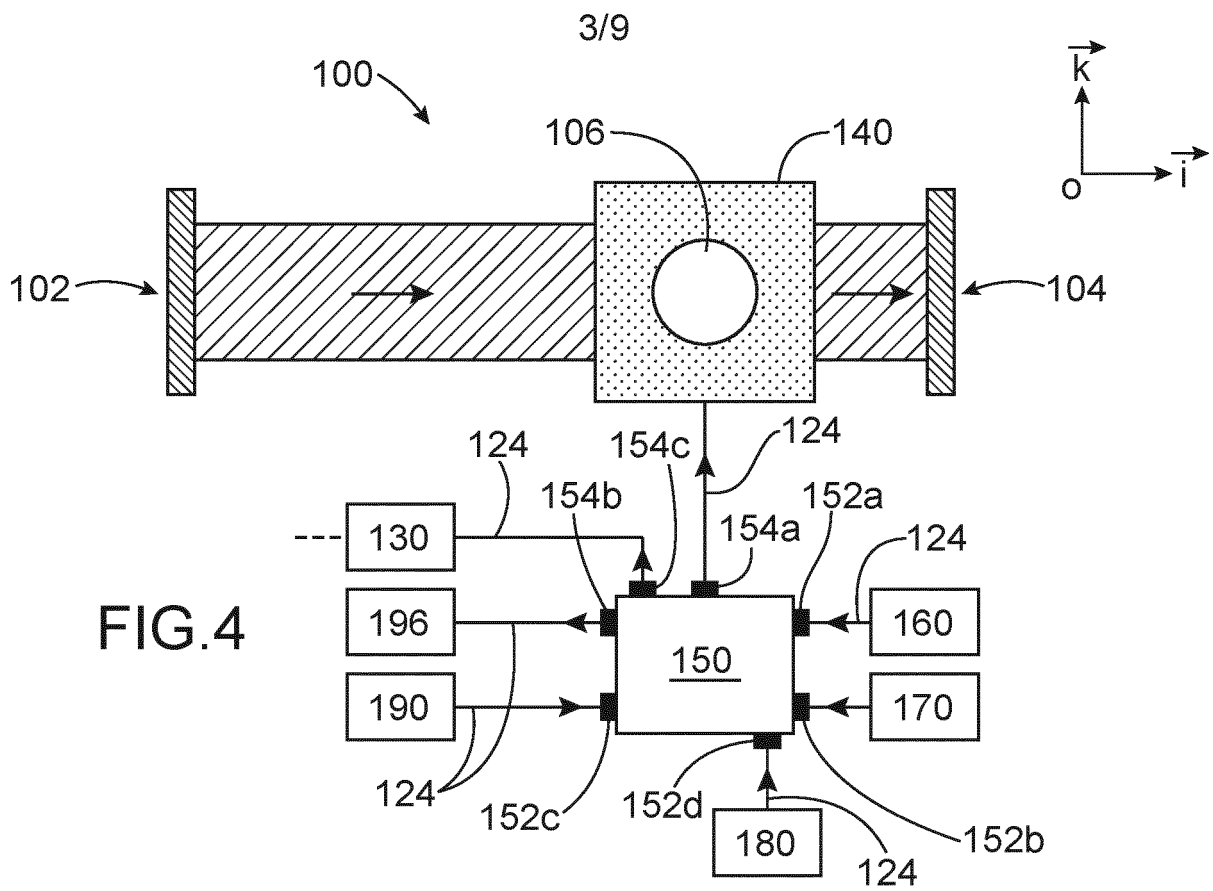
10 14. Pile à combustible comportant au moins une cellule électrochimique définie selon la revendication 13.

15 15. Procédé d'utilisation d'une cellule électrochimique selon la revendication 13, le régime de fonctionnement du compresseur (C1, C1', C2) étant modifié de sorte que la température de la cellule électrochimique soit égale ou supérieure à 50°C.

20 16. Procédé d'utilisation d'une cellule électrochimique comportant un circuit d'alimentation selon la revendication 3, la position de l'obturateur (148) étant modifiée en fonction de la valeur de la tension électrique aux bornes de la cellule électrochimique et/ou de sa température interne et/ou de sorte que la température de la cellule électrochimique soit égale ou supérieure à 50°C.







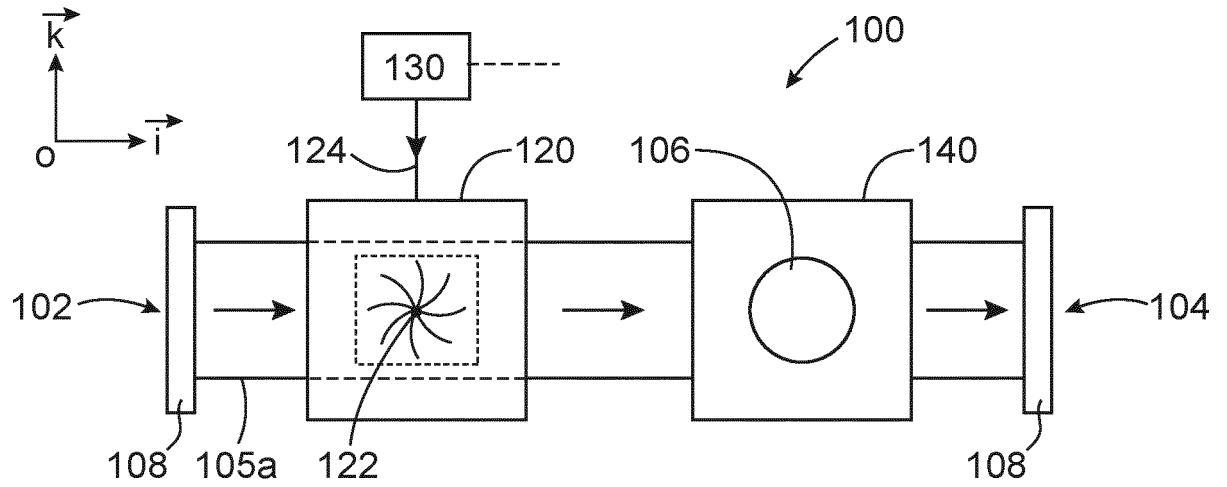


FIG. 6A

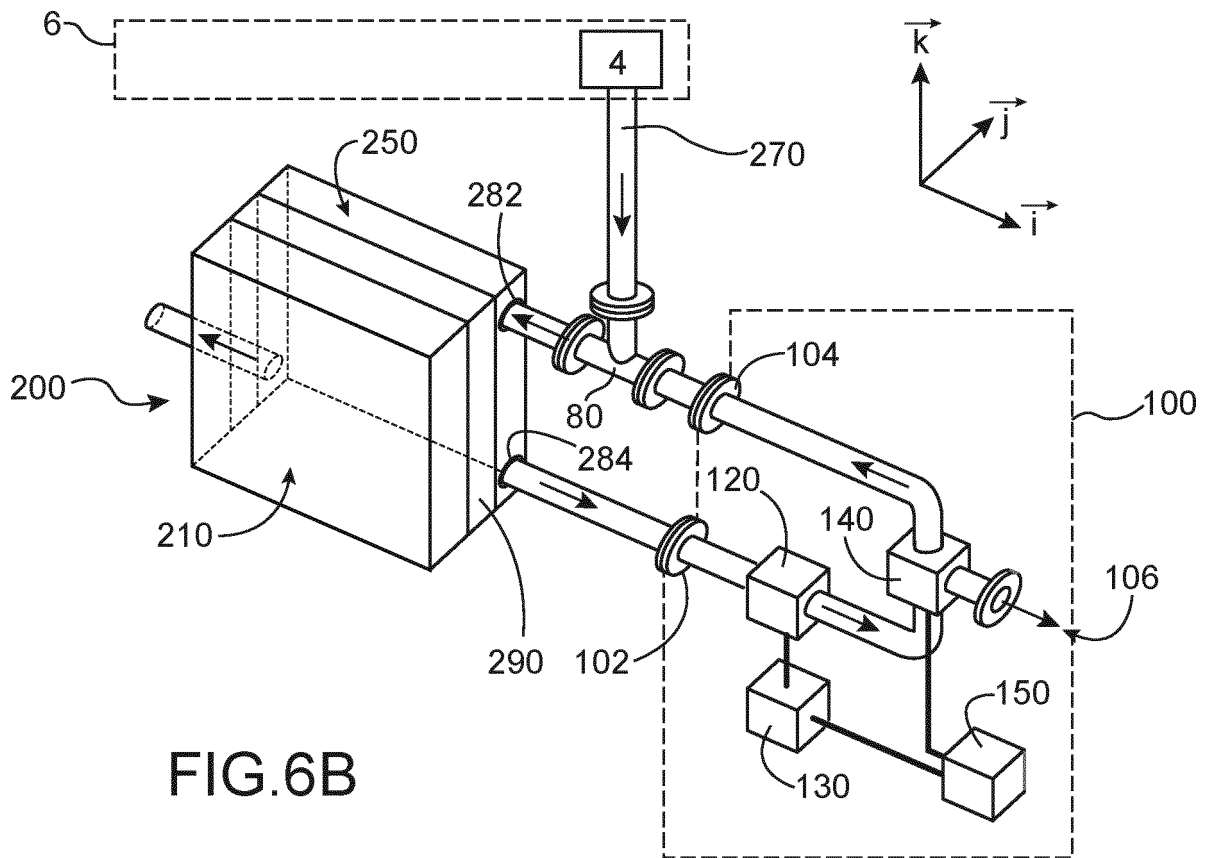
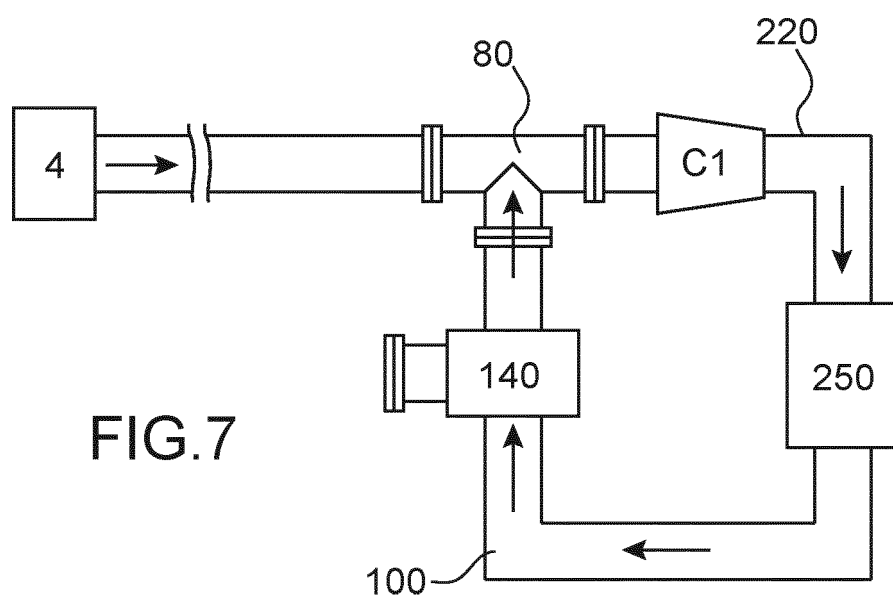
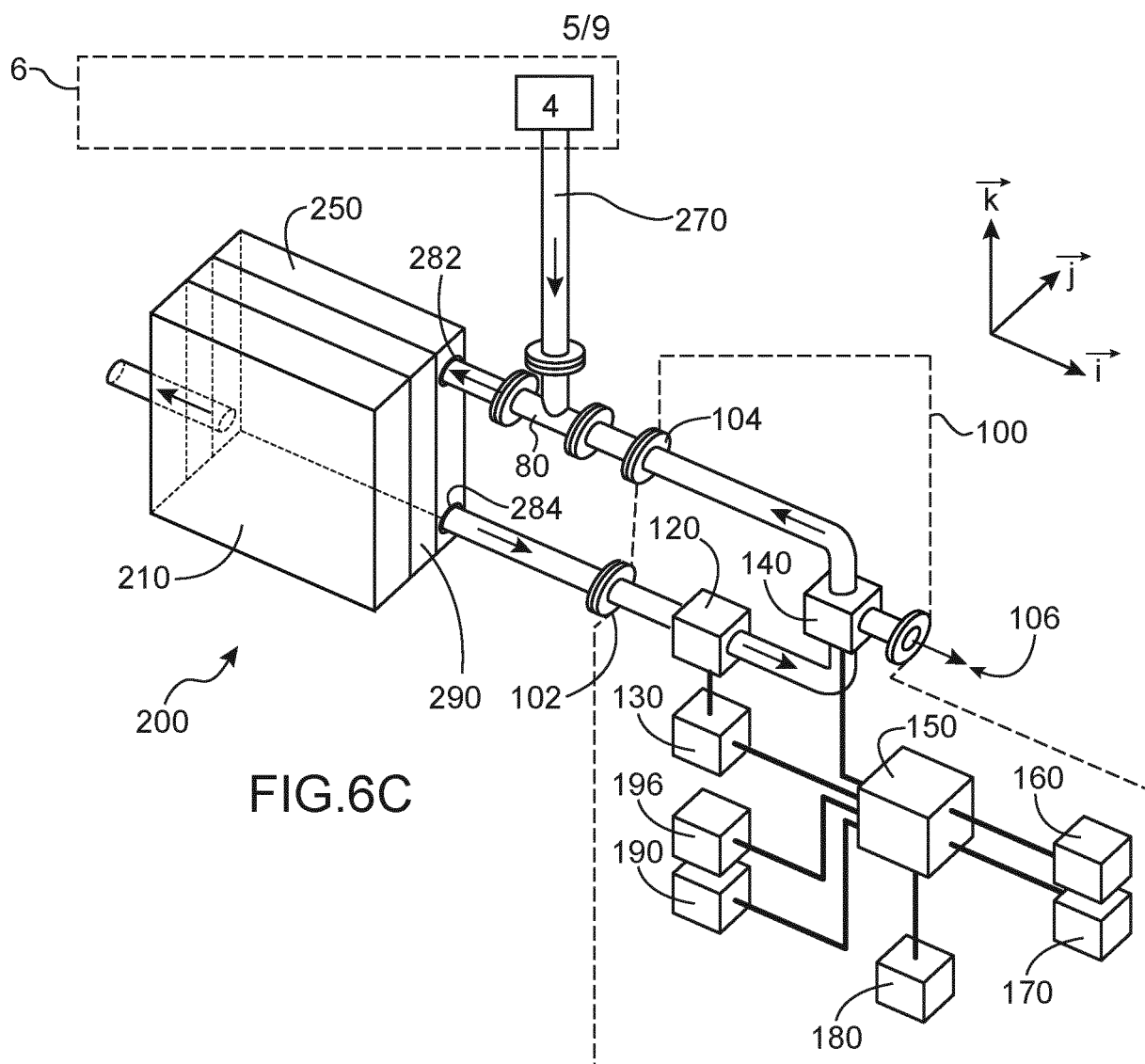


FIG. 6B



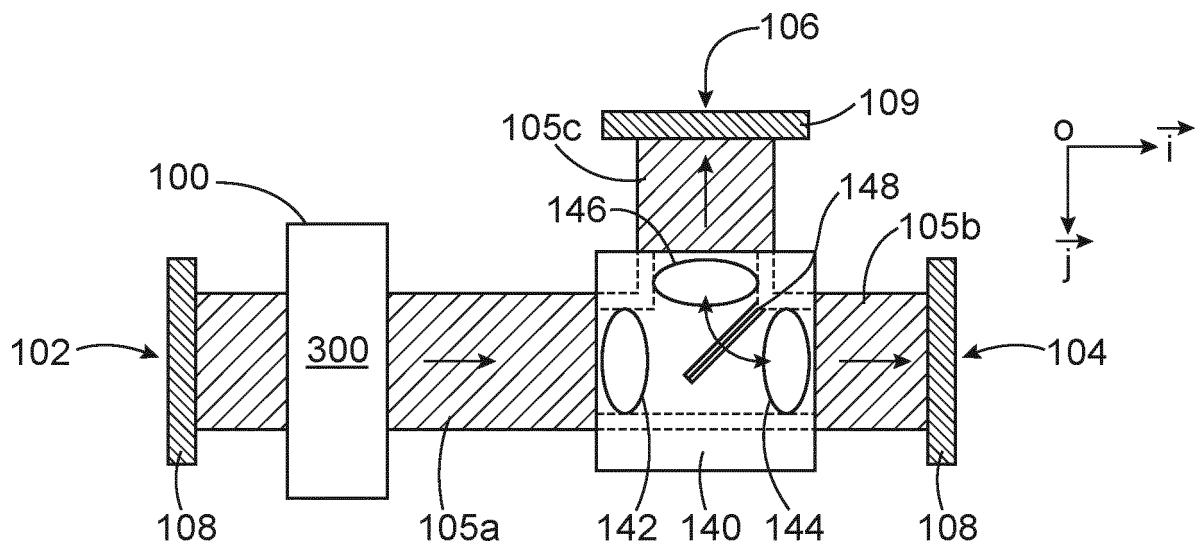
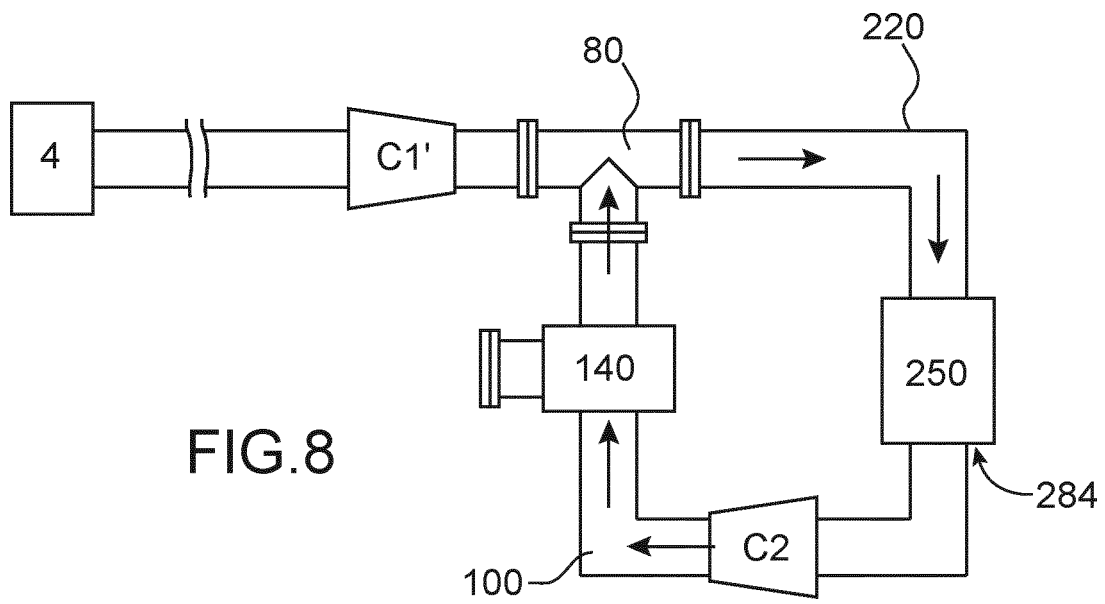


FIG. 9

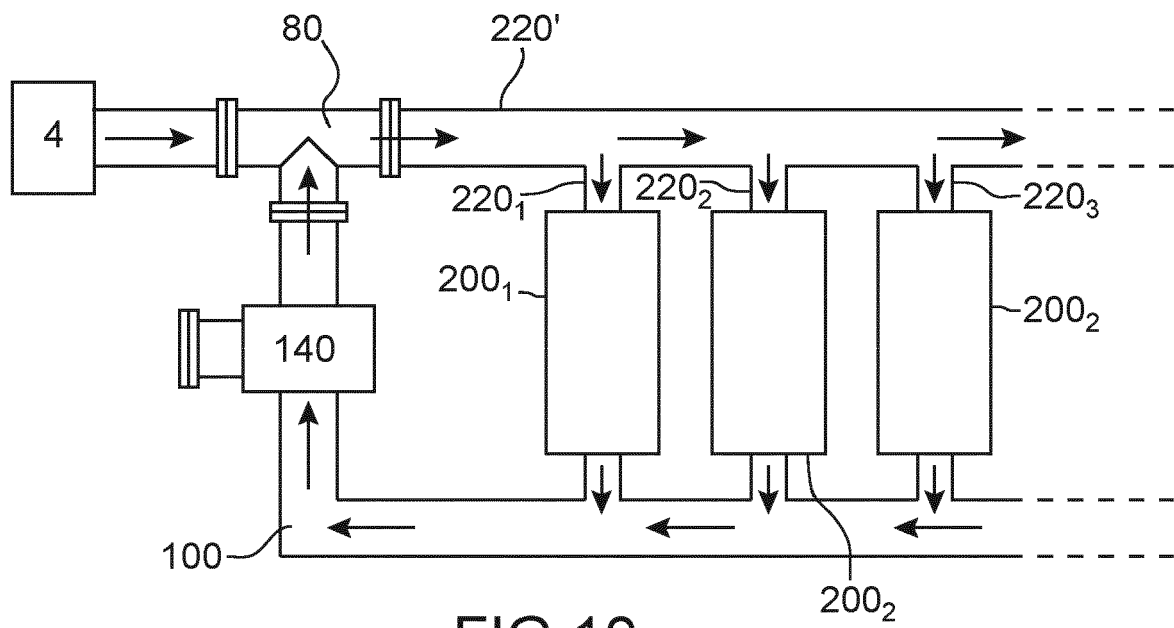


FIG.10

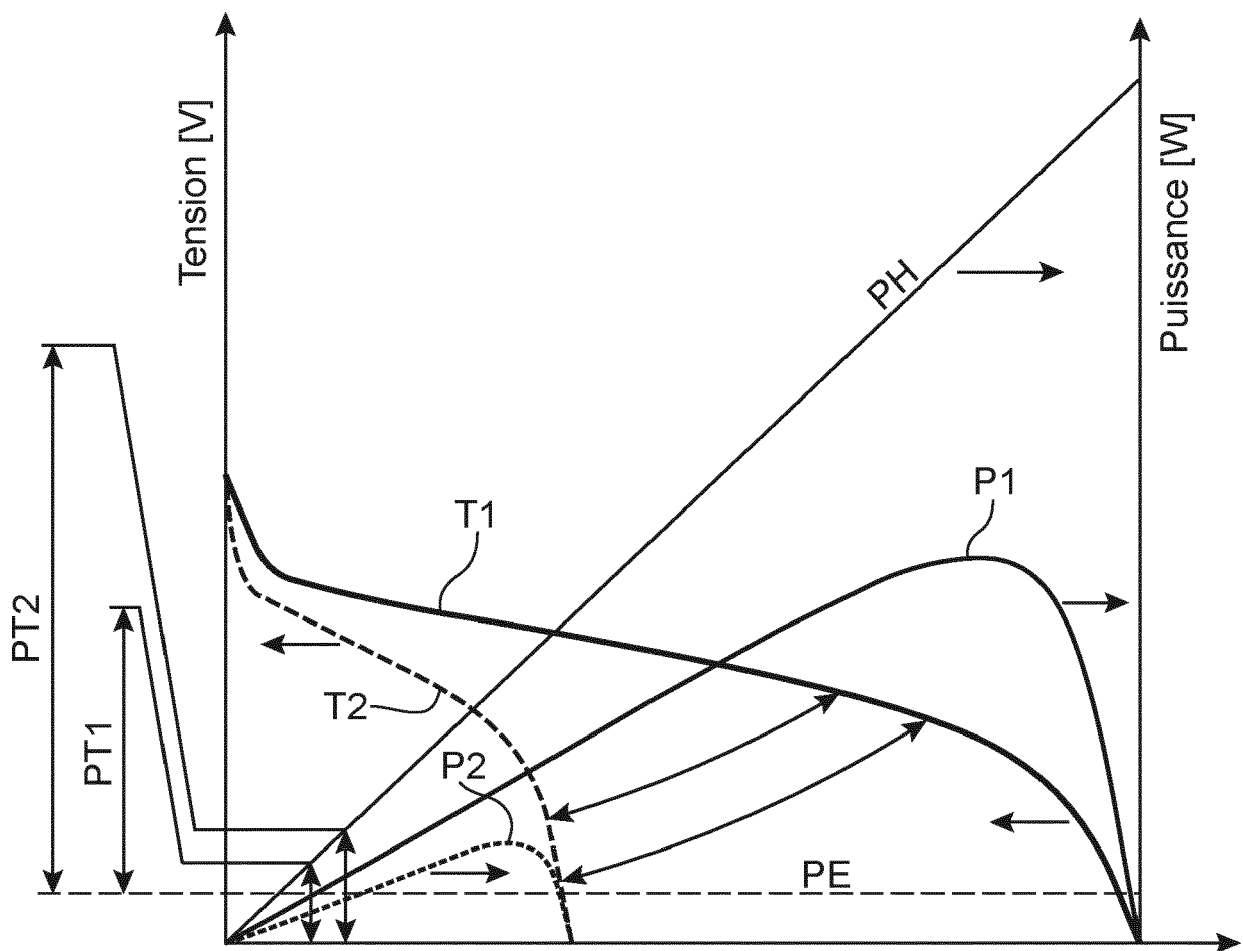


FIG.11

FIG. 12A

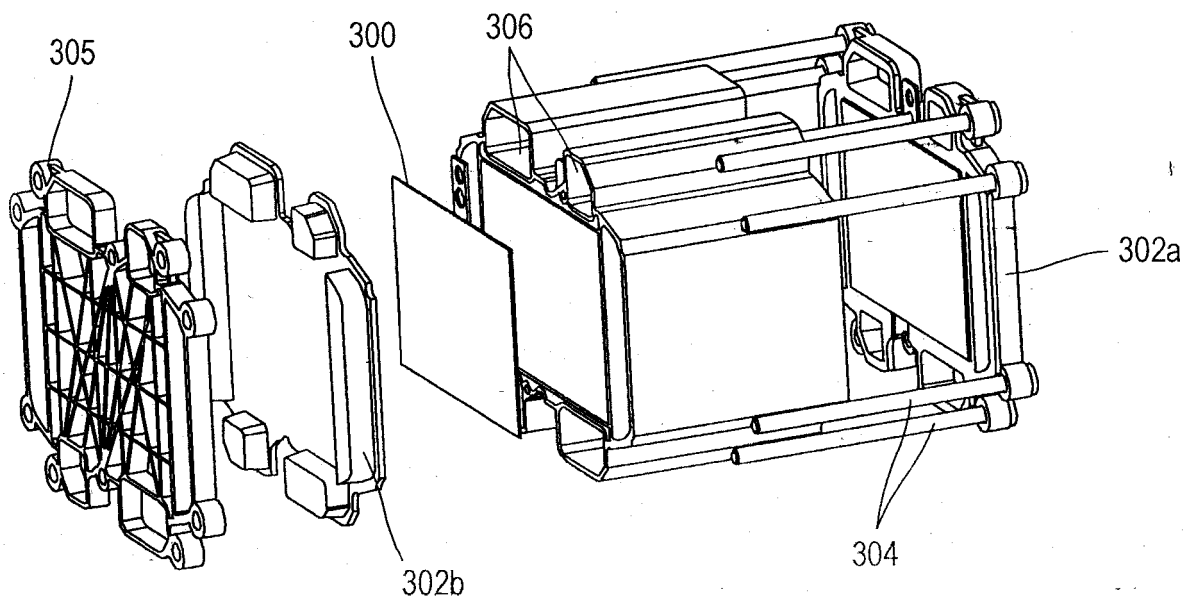
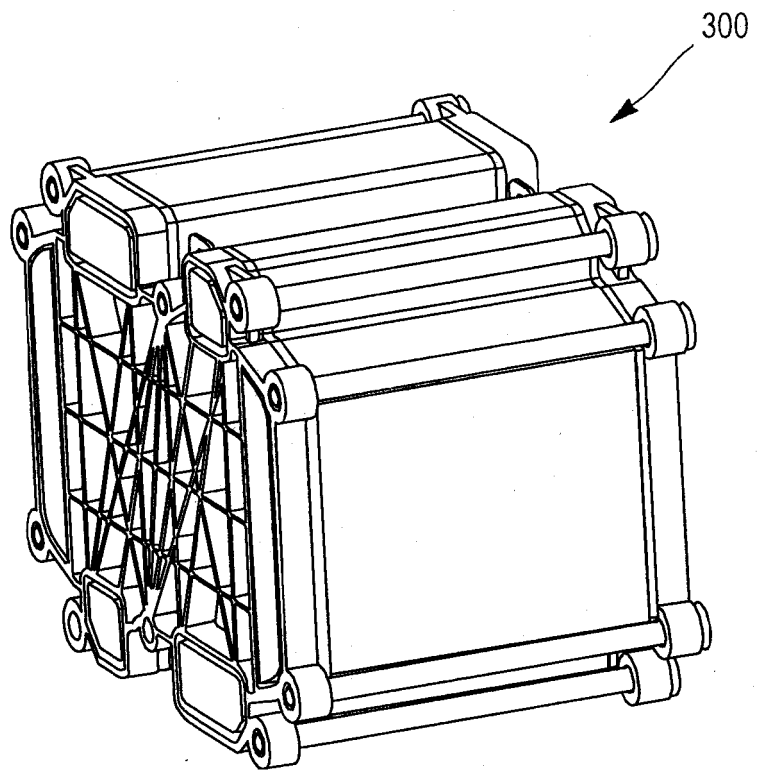


FIG. 12B

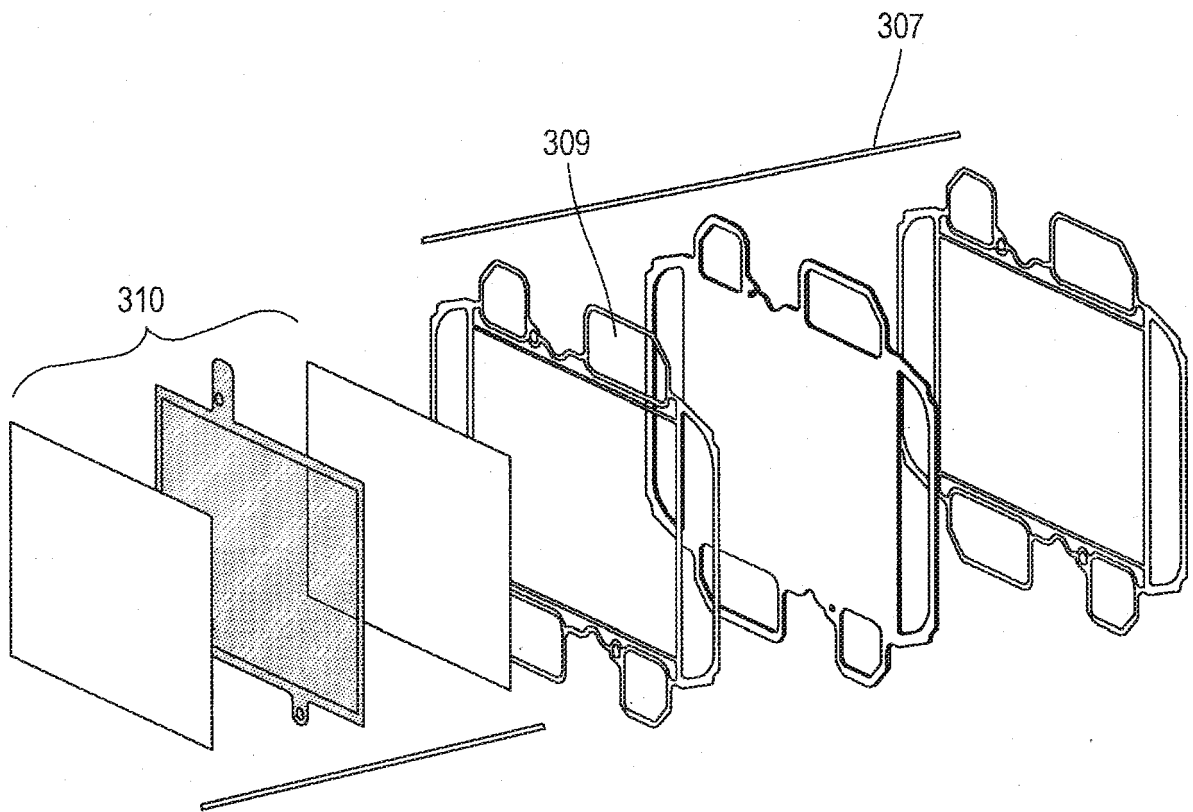


FIG. 12C

RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

US 2003/219636 A1 (KAUFMANN LARS [US]) 27 novembre 2003 (2003-11-27)

DE 202 10 130 U1 (ZSW [DE]; VANDENBORRE HYDROGEN SYSTEMS O [BE]) 4 mars 2004 (2004-03-04)

EP 1 902 954 A2 (HAMILTON SUNDSTRAND CORP [US]) 26 mars 2008 (2008-03-26)

WO 99/65090 A2 (INT FUEL CELLS CORP [US]) 16 décembre 1999 (1999-12-16)

GB 2 442 252 A (INTELLIGENT ENERGY LTD [GB]) 2 avril 2008 (2008-04-02)

US 2009/220832 A1 (REISER CARL A [US] ET AL) 3 septembre 2009 (2009-09-03)

US 2006/134495 A1 (GALLAGHER EMERSON R [CA] ET AL) 22 juin 2006 (2006-06-22)

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

NEANT

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

NEANT