

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
2 avril 2009 (02.04.2009)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 2009/040335 A2

- (51) Classification internationale des brevets :  
C25B 9/18 (2006.01) H01M 8/04 (2006.01)  
C25B 1/04 (2006.01) H01M 8/24 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2008/062650
- (22) Date de dépôt international :  
23 septembre 2008 (23.09.2008)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
07 57822 25 septembre 2007 (25.09.2007) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : COM-  
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR]; 25  
rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : LE  
GALLO, Patrick [FR/FR]; Le Maillet, F-38160 Saint Ap-  
polinard (FR). BAURENS, Pierre [FR/FR]; 51, impasse  
du Blain-Bas, F-38940 Roybon (FR).
- (74) Mandataire : ILGART, Jean-Christophe; Brevalex, 3,  
rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,  
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG,  
ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL,  
IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK,  
LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW,  
MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT,  
RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ,  
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,  
ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre  
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,  
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,  
ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),  
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,  
FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: HIGH TEMPERATURE ELECTROLYSER WITH TEMPERATURE HOMOGENISATION DEVICE

(54) Titre : ELECTROLYSEUR HAUTE TEMPERATURE A DISPOSITIF D'HOMOGENEISATION DE LA TEMPERATURE

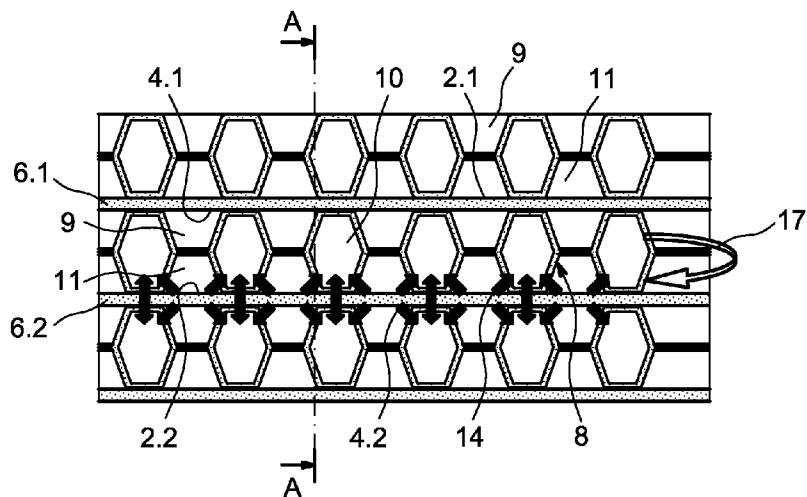


FIG. 1

(57) Abstract: The invention relates to an electrolyser including a stack of a plurality of elementary electrolysis cells (C1, C2), each cell (C1, C2) including a cathode (2.1, 2.2), an anode (4.1, 4.2) and an electrolyte (6.1, 6.2) provided between the cathode (2.1, 2.2) and the anode (4.1, 4.2), an interconnection plate (8) provided between each anode (4.1) of an elementary cell (C1) and a cathode (2.2) of a following elementary cell (C2), said interconnection plate (8) being in electric contact with the anode (4.1) and the cathode (2.2), wherein steam is to be brought into contact with the cathodes, and wherein the electrolyser includes means capable of ensuring the flow of steam in the electrolyser for heating it up before contacting the same with the cathodes.

[Suite sur la page suivante]

WO 2009/040335 A2



NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

---

**(57) Abrégé :** Electrolyseur comportant un empilement d'une pluralité de cellules d'électrolyse élémentaires (C1, C2), chaque cellule (C1, C2) étant formée d'une cathode (2.1, 2.2), d'une anode (4.1, 4.2) et d'un électrolyte (6.1, 6.2) disposé entre la cathode (2.1, 2.2) et l'anode (4.1, 4.2), une plaque interconnectrice (8) étant interposées entre chaque anode (4.1) d'une cellule élémentaire (C1) et une cathode (2.2) d'une cellule élémentaire suivante (C2), ladite plaque interconnectrice (8) étant en contact électrique avec l'anode (4.1) et la cathode (2.2), de la vapeur d'eau étant destinée à venir en contact avec les cathodes, ledit électrolyseur comportant des moyens aptes à assurer la circulation de la vapeur d'eau dans l'électrolyseur pour l'échauffer avant sa mise en contact avec les cathodes.

**ELECTROLYSEUR HAUTE TEMPERATURE A DISPOSITIF  
D' HOMOGENEISATION DE LA TEMPERATURE**

**DESCRIPTION**

5 **DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTÉRIEUR**

La présente invention se rapporte à des réacteurs électrochimiques munis d'un dispositif d'homogénéisation de la température, notamment des électrolyseurs ou des piles à combustibles, et plus  
10 particulièrement des électrolyseurs haute température.

Un électrolyseur comporte une pluralité de cellules élémentaires formées par une cathode et une anode séparées par un électrolyte, les cellules élémentaires étant raccordées électriquement en série  
15 au moyen de plaques interconnectrices interposées, en général, entre une anode d'une cellule élémentaire et une cathode de la cellule élémentaire suivante. Une connexion anode-anode suivie par une connexion cathode-cathode est également possible. Les plaques  
20 interconnectrices sont des composants conducteurs électroniques formés par une plaque métallique. Ces plaques assurent par ailleurs la séparation entre le fluide cathodique circulant au niveau d'une cellule élémentaire du fluide anodique circulant dans une  
25 cellule élémentaire suivante.

L'anode et la cathode sont en matériau poreux dans lequel les gaz peuvent s'écouler.

Par exemple, dans le cas de l'électrolyse de l'eau pour produire de l'hydrogène, de la vapeur  
30 d'eau circule au niveau de la cathode où est généré

l'hydrogène sous forme gazeuse, et un gaz drainant circule au niveau de l'anode et collecte l'oxygène généré sous forme gazeuse à l'anode.

De manière générale, on cherche à réduire  
5 la résistance électrique de l'électrolyseur afin d'en améliorer le fonctionnement, notamment pour limiter son échauffement et les pertes électriques par effet Joule.

Or les électrolyseurs actuels ont une  
résistance électrique non négligeable, de telle sorte  
10 que la réaction globale au niveau de l'électrolyseur est exothermique, alors que la réaction électrochimique au niveau de chaque cellule est endothermique.

Il est donc nécessaire d'évacuer cette  
chaleur afin d'assurer un fonctionnement stationnaire  
15 de l'électrolyseur. L'évacuation de la chaleur se fait alors principalement par les gaz sortant de l'électrolyseur. Cette chaleur est actuellement utilisée pour réchauffer les gaz entrant par échange thermique dans un échangeur externe disposé en amont de  
20 l'électrolyseur.

Or les éléments internes à l'électrolyseur,  
notamment les cellules élémentaires, sont réalisés au  
moins en partie en céramique, ceux-ci sont donc très  
sensibles aux gradients de température et ne sont pas  
25 aptes à supporter un choc thermique supérieur à 50°C. Cela implique donc que la température des gaz entrants ne soit pas inférieure à celle des gaz sortants de plus de 50°C.

Par ailleurs pour assurer la longévité de  
30 l'électrolyseur et son bon fonctionnement, il est préférable d'assurer une répartition de la température

au sein de l'électrolyseur la plus homogène possible. On recherche alors des températures ne variant pas plus de 10°C dans tout l'électrolyseur.

Pour éviter ces chocs thermiques comme  
5 indiqué précédemment, on utilise un échangeur thermique en amont de l'électrolyseur comme cela est décrit dans le document « *Concepts and Design for scaling up high temperature water vapour electrolysis* », W Doenits and R. Schmidberger, in *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol.7,  
10 N°4, pp. 321-330. 1982.

Or, du fait des déperditions thermiques inévitables entre la sortie de l'électrolyseur et l'entrée de l'échangeur et le pincement de l'échangeur, il y a une différence d'au moins 50°C entre la  
15 température des gaz entrants et celle des gaz sortants. Ceci impose donc d'avoir une température de gaz sortant supérieure à celle requise pour les gaz entrants.

Or cette différence de température entre les gaz entrants et sortants est défavorable à la  
20 recherche d'une température homogène dans l'électrolyseur.

En outre, cette température plus élevée nuit à la tenue mécanique des cellules et baisse le rendement de conversion.

Ceci implique donc un choix de matériaux  
25 spécifiques ; au-delà d'une température de 700°C, les matériaux adaptés sont peu nombreux et leur coût de revient est élevé. En outre, ils sont plus difficiles à travailler et à assembler. Par exemple, un superalliage  
30 spécialement adapté aux hautes températures comme le

Haynes 230 a un prix dix fois supérieur à celui d'un acier inoxydable utilisable jusqu'à 500°C.

Par ailleurs, des calories étant récupérées sur les gaz issus de l'anode et de la cathode, deux  
5 échangeurs avec étage à haute température sont requis.

La présence de connexions à haute température entre l'électrolyseur et les échangeurs accroît également le coût et les difficultés d'intervention et de maintenance sur les échangeurs.  
10 Enfin l'installation globale est de volume et de poids accrus.

C'est par conséquent un but de la présente invention d'offrir un réacteur électrochimique ayant un fonctionnement amélioré et une durée de vie augmentée.

15 C'est également un but de la présente invention d'offrir un réacteur électrochimique à coût de revient réduit et une installation intégrant le réacteur électrochimique d'encombrement réduit.

#### **EXPOSÉ DE L'INVENTION**

20 Les buts énoncés ci-dessus sont atteints par un réacteur électrochimique comportant une pluralité de cellules élémentaires empilées, reliées par des plaques interconnectrices intégrant des canaux pour faire circuler les gaz entrants dans le réacteur  
25 électrochimique préalablement à leur injection dans les cathodes et/ou les anodes.

En d'autres termes, le réacteur électrochimique intègre des échangeurs de chaleur internes formés directement entre les cellules  
30 élémentaires.

Dans le cas de l'électrolyse de l'eau, la vapeur d'eau en entrée circule dans les plaques interconnectrices avant de circuler dans les cathodes ; lors de cette circulation elle est échauffée par échange de chaleur avec le gaz circulant dans les cathodes et avec les anodes en contact avec les plaques interconnectrices.

Les échangeurs externes peuvent être simplifiés et rendus plus compacts.

Il n'est également plus nécessaire d'avoir des gaz sortants à une température supérieure à celle requise pour les gaz entrants. L'homogénéité de température au sein du réacteur électrochimique est donc plus aisée à atteindre, le fonctionnement du réacteur électrochimique est donc amélioré.

Dans le cas des électrolyseurs exothermiques, le circuit fluide réalisé directement dans les cellules élémentaires permet donc :

- de diminuer la température de la plaque interconnectrice par circulation des gaz d'entrée dans celle-ci pour une température donnée de fonctionnement de la cellule électrochimique, le gain en température peut atteindre plus de 50°C,

- de baisser la température d'entrée des gaz, jusqu'à des températures inférieures à 600°C,

- de limiter au niveau du système de production d'hydrogène la zone dite « chaude », c'est-à-dire supérieure à 600°C à l'intérieur de l'électrolyseur,

- de réduire le coût des échangeurs externes, leur prix peut être divisé par cinq, voire dix,

- d'améliorer l'homogénéité de température au sein de l'électrolyseur, la différence de température entre deux points d'une cellule électrochimique élémentaire peut être abaissée en dessous de 10°C.

Par conséquent, ce circuit intégré dans les cellules permet de chauffer efficacement et directement le (ou les) gaz d'entrée à partir des pertes internes de l'électrolyseur et d'homogénéiser leur température.

Dans le cas des électrolyseurs endothermiques à fonctionnement allothermique, le circuit fluide réalisé directement dans les plaques interconnectrices permet de chauffer l'électrolyseur par les gaz entrants et d'éviter la mise en place d'un caloporteur et d'un circuit spécifique pour chauffer le gaz à l'intérieur de l'électrolyseur.

La présente invention a alors principalement pour objet un réacteur électrochimique comportant un empilement d'une pluralité de cellules d'électrolyse élémentaires, chaque cellule étant formée d'une cathode, d'une anode et d'un électrolyte disposé entre la cathode et l'anode, une plaque interconnectrice étant interposée entre deux cellules élémentaires, ladite plaque interconnectrice étant en contact électrique avec une électrode d'une cellule élémentaire et une électrode d'une cellule élémentaire suivante, ledit réacteur électrochimique comportant également des moyens aptes à assurer la circulation

d'au moins un fluide pneumatique destiné à venir en contact avec les cathodes et/ou les anodes dans le réacteur électrochimique pour l'échauffer avant sa mise en contact avec les cathodes et/ou les anodes.

5 Lesdits moyens de circulation, comportent par exemple au moins un conduit pour la circulation du fluide pneumatique de telle sorte que des échanges thermiques entre le fluide pneumatique et les cathodes et/ou les anodes aient lieu.

10 Le conduit peut être formé dans la plaque interconnectrice, une première extrémité dudit conduit étant connectée à une alimentation en fluide pneumatique et une deuxième extrémité amenant le fluide pneumatique chauffé en contact avec l'une ou l'autre  
15 des électrodes en contact avec la plaque interconnectrice.

Dans une variante, le conduit est interposé entre la plaque interconnectrice et l'une et/ou l'autre des électrodes.

20 Dans un autre exemple de réalisation, les moyens de circulation comportent un premier conduit pour la circulation d'un fluide pneumatique destiné à venir en contact avec l'une des deux électrodes, et un deuxième conduit pour la circulation d'un fluide  
25 pneumatique destiné à venir en contact avec l'autre électrode.

Les premier et deuxième conduits peuvent être réalisés dans la plaque interconnectrice, ou le premier conduit peut être interposé entre la plaque  
30 interconnectrice et l'une des électrodes et le deuxième

conduit peut être interposé entre la plaque interconnectrice et l'autre électrode.

Dans le cas où, l'une au moins des deux électrodes est une cathode, le fluide pneumatique destiné à venir en contact avec la cathode est de la vapeur d'eau, le réacteur effectuant alors l'électrolyse de l'eau pour générer de l'hydrogène.

Le réacteur est, par exemple destiné à fonctionner à haute température, avantageusement supérieure à 900°C.

La présente invention a également pour objet une installation d'électrolyse comportant un électrolyseur selon la présente invention et un échangeur thermique en amont du réacteur électrochimique dans lequel circulent de manière séparée les fluides pneumatiques entrants et les fluides pneumatiques sortants, de manière à échauffer les fluides pneumatiques entrants à partir des fluides pneumatiques sortants.

La présente invention a également pour objet un procédé d'électrolyse d'un fluide pneumatique mettant en œuvre un réacteur électrochimique selon la présente invention, comportant les étapes :

a) de circulation du fluide pneumatique entre une électrode d'une cellule élémentaire et une électrode d'une cellule élémentaire adjacente sans contact avec celles-ci pour échauffer ledit fluide pneumatique,

b) d'injection du fluide pneumatique échauffé sur l'une et/ou l'autre des électrodes.

On peut prévoir, lors de l'étape a), la circulation selon des écoulements distincts d'un fluide pneumatique destiné à venir en contact avec l'une des électrodes et un fluide pneumatique destiné à venir en contact avec l'autre électrode et, lors de l'étape b), l'injection de ces fluides pneumatiques sur l'une et l'autre des électrodes respectivement.

#### **BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS**

La présente invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre et des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue de côté d'un exemple de réalisation d'un réacteur électrochimique selon la présente invention,
- 15 - la figure 2 est une vue en coupe du réacteur électrochimique, la figure 1 selon un plan A-A,
- la figure 3 est une vue de côté d'un autre exemple de réalisation d'un réacteur électrochimique selon la présente invention,
- 20 - la figure 4 est une vue en coupe du réacteur électrochimique de la figure 3 selon un plan B-B,
- la figure 5 est une représentation schématique en perspective d'un exemple d'échangeur de chaleur qui peut être mis en œuvre dans les réacteurs électrochimiques selon la présente invention.
- 25

## EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Dans la description qui va suivre, un électrolyseur de l'eau pour produire de l'hydrogène va être décrit à titre d'exemple. Cependant l'invention s'applique à tout autre réacteur électrochimique comme une pile à combustible.

Sur la figure 1, on peut voir un exemple de réalisation d'un électrolyseur selon la présente invention comportant une pluralité de cellules élémentaires C1, C2... empilée.

Chaque cellule élémentaire comporte un électrolyte disposé entre une cathode et une anode.

Dans la suite de la description, nous décrirons en détail les cellules C1 et C2 et leur interface.

La cellule C1 comporte une cathode 2.1 et une anode 4.1 entre lesquelles est disposé un électrolyte 6.1, par exemple solide généralement d'épaisseur 100  $\mu\text{m}$ .

La cellule C2 comporte une cathode 2.2 et une anode 4.2 entre lesquelles est disposé un électrolyte 6.2.

Les cathodes 2.1, 2.2 et les anodes 4.1, 4.2 sont réalisées en matériau poreux et ont par exemple une épaisseur de 40  $\mu\text{m}$ .

L'anode 4.1 de la cellule C1 est reliée électriquement à la cathode 2.2 de la cellule C2 par une plaque interconnectrice 8 venant en contact avec l'anode 4.1 et la cathode 2.2. Par ailleurs, elle permet l'alimentation électrique de l'anode 4.1 et de la cathode 2.2.

Une plaque interconnectrice 8 est interposée entre deux cellules élémentaires. Dans l'exemple représenté, elle est interposée entre une anode d'une cellule élémentaire et la cathode de la cellule adjacente. Mais on pourrait prévoir qu'elle soit interposée entre deux anodes ou deux cathodes.

La plaque interconnectrice 8 définit avec l'anode et la cathode adjacentes des canaux pour la circulation de fluides. Ils définissent des compartiments anodiques 9 dédiés à la circulation des gaz au niveau de l'anode et des compartiments cathodiques 11 dédiés à la circulation des gaz au niveau de la cathode, ceux-ci étant particulièrement visibles sur la figure 2.

Selon la présente invention, la plaque interconnectrice 8 comporte, en outre au moins un conduit 10 connecté par une première extrémité 10.1 à une alimentation en fluide pneumatique destiné à subir une réduction. Dans l'exemple considéré, il s'agit de la vapeur d'eau et à une deuxième extrémité 10.2 du compartiment cathodique.

Ce conduit a avantageusement la forme d'un serpentin pour augmenter la surface d'échange thermique.

Dans l'exemple représenté, la plaque interconnectrice comporte une pluralité de conduits 10 et une pluralité de compartiments anodiques et cathodiques. De manière avantageuse, le conduit 10 et les compartiments ont des sections hexagonales, en nid d'abeille, ce qui permet d'augmenter la densité de compartiments 9, 11 et des conduits 10.

Les flèches 12 représentent la vapeur d'eau « froide » entrant dans l'électrolyseur et les flèches 14 représentent la vapeur d'eau échauffée circulant dans le compartiment cathodique 11.

5 Les flèches 16 représentent les transferts de calories de la cathode 2.2 et l'anode 4.1 vers la plaque interconnectrice, ou plus précisément vers la vapeur d'eau « froide ».

10 Les flèches 17 symbolisent l'écoulement de la vapeur d'eau échauffée du conduit 10 vers le compartiment cathodique 11.

Nous allons maintenant expliquer le fonctionnement de la présente invention.

15 La vapeur d'eau, éventuellement préalablement chauffée, pénètre dans le conduit 10 ; lors de son déplacement dans le conduit 10, elle est chauffée par échange thermique avec la cathode et l'anode bordant la plaque interconnectrice 8.

20 Cette vapeur chauffée à une température proche de celle de la cellule C1 pénètre ensuite dans le compartiment cathodique 1, dans lequel elle subit une réduction en entrant en contact avec la cathode 2.2 ; de l'hydrogène est alors généré selon la réaction :



Un échangeur thermique est avantageusement prévu en amont de l'électrolyseur pour échauffer le ou les fluides entrants à partir des fluides sortants, cependant celui-ci peut avantageusement être plus simple et moins encombrant que ceux utilisés dans

30

l'état de la technique, en effet il n'a pas besoin de disposer d'un étage haute température.

On pourrait prévoir que le conduit 10 soit connecté en entrée sur une source de gaz drainant  
5 destiné à circuler dans le compartiment anodique 9, et en sortie sur le compartiment anodique 9.

Sur les figures 3 et 4, on peut voir un autre exemple de réalisation d'un électrolyseur selon l'invention dans lequel un conduit supplémentaire 18  
10 est prévu le long du conduit 10 et destiné à recevoir un gaz drainant circulant dans le compartiment anodique 9.

Les flèches 20 représentent le gaz drainant « froid » entrant dans l'électrolyseur et les flèches 22  
15 représentent le gaz drainant échauffé circulant dans le compartiment anodique 9.

Les flèches 24 représentent les transferts de calories de la cathode 2.2 vers la plaque interconnectrice, ou plus précisément la vapeur d'eau « froide », et les flèches 26  
20 représentent les transferts de calories de l'anode 4.1 vers la plaque interconnectrice, plus précisément vers le gaz drainant.

La flèche 25 symbolise l'écoulement du gaz drainant du conduit 18 vers le compartiment anodique 9.  
25 Cet écoulement n'est en aucun cas nécessaire, ce gaz pourrait être utilisé dans d'autres zones ou même à l'extérieur du réacteur.

Nous allons maintenant expliquer le fonctionnement de cet autre exemple d'électrolyseur  
30 selon la présente invention.

La vapeur d'eau, éventuellement  
préalablement chauffée, pénètre dans le conduit 10 ;  
lors de son déplacement dans le conduit 10, elle est  
chauffée par échange thermique avec la cathode bordant  
5 la plaque interconnectrice 8.

Cette vapeur chauffée à une température  
proche de celle de la cellule C1 pénètre ensuite dans  
le compartiment cathodique 11, dans lequel elle subit  
une réduction ; de l'hydrogène est alors généré.

10 Le gaz drainant éventuellement  
préalablement chauffé pénètre dans le conduit 18, lors  
de son déplacement dans le conduit 18, il est chauffé  
par échange thermique avec l'anode bordant la plaque  
interconnectrice 8.

15 Ce gaz chauffé à une température proche de  
celle de la cellule C1 pénètre ensuite dans le  
compartiment anodique 9, et emporte l'oxygène généré à  
l'anode.

Dans les exemples des figures 1 à 4, les  
20 plaques interconnectrices sont massives et les canaux  
sont réalisés directement dans celles-ci.

Cependant, comme on peut le voir sur la  
figure 5 représentant un autre exemple de réalisation  
d'un échangeur thermique intégré selon l'invention,  
25 l'échangeur est disposé sur la plaque interconnectrice.  
Sont représentés une cellule électrochimique C1, un  
serpentin 28 formé d'un tube creux, celui-ci étant en  
contact avec une électrode de la cellule, et la plaque  
interconnectrice 8.

30 Le fluide pneumatique pénètre dans le  
serpentin 28 par une extrémité 28.1, circule dans le

serpentin 28 avant de s'écouler hors de celui-ci par une extrémité 28.2 et de se répandre sur l'électrode.

Si cette électrode est la cathode 2.1, le fluide est la vapeur d'eau.

5 Le serpentin est avantageusement réalisé en matériau conducteur électrique afin de participer à la connexion électrique entre la cathode de la cellule C1 et la plaque interconnectrice. Il est rappelé que la plaque interconnectrice sert également à séparer le  
10 fluide cathodique d'une cellule élémentaire d'un fluide anodique d'une cellule élémentaire adjacente.

De manière symétrique sur l'autre face de la plaque interconnectrice, un serpentin (non représenté) est interposé entre l'anode et la plaque  
15 interconnectrice.

La présente invention consiste donc à prévoir des moyens aptes à assurer un échauffement d'une partie au moins des gaz entrants dans l'électrolyseur avant d'être mis en contact avec la  
20 cathode ou l'anode.

Les dimensions des circuits échangeurs de chaleur sont du même ordre de grandeur que celles des circuits cathodique et/ou anodique, puisque ce sont les mêmes fluides et les mêmes débits qui circulent dans  
25 ces différents circuits.

Le fonctionnement d'un réacteur électrochimique est basé sur le déploiement de surface afin de maximiser les surfaces des électrodes pour augmenter le rendement de réaction. Un échangeur  
30 thermique nécessite également une grande surface d'échange pour être efficace. Par conséquent,

l'accroissement des surfaces de réaction permet d'accroître les surfaces d'échanges thermiques.

Grâce à l'invention, une partie de l'échangeur thermique est intégrée directement dans l'électrolyseur, en particulier la partie la plus 5 chaude de celui-ci. La zone voyant des fluides à haute température est alors limitée à l'électrolyseur, la quantité de matière pour réaliser les parties destinées à venir en contact avec les fluides à haute température est donc réduite. Le coût de la matière peut ainsi être 10 divisé par cinq, voire dix par rapport aux installations de l'état de la technique.

Les écarts de température dans l'électrolyseur sont également réduits. Par ailleurs, 15 la distance de transport de la chaleur de la source chaude (la cellule du réacteur) à l'échangeur étant diminuée, des écarts de température inférieurs à 50°C peuvent être obtenus.

Pour les réacteurs exothermiques, la plaque 20 interconnectrice est à une température plus basse que celle de la cellule, d'au moins 50°C.

La corrosion est donc réduite, et par conséquent l'oxydation de celle-ci. La résistance électrique des plaques interconnectrices augmente donc 25 moins vite, ce qui diminue les pertes par effet Joule dans le temps.

La plaque interconnectrices est par exemple fabriquée à base de fer ou de nickel, et contient des éléments comme le chrome. Ce chrome a tendance à passer 30 dans les gaz et pollue les électrodes. Or, grâce à la présente invention, du fait de l'abaissement de la

température, il y a une diminution de la volatilisation des éléments d'alliage et donc une baisse des émissions de polluants venant polluer les électrodes de la cellule ; il est à noter que ces émissions augmentent  
5 de manière exponentielle avec la température d'après la loi d'Arrhénius.

Grâce à la présente invention, la durée de vie de l'empilement des cellules est généralement augmentée du fait de la baisse de température de  
10 fonctionnement. P. Batfalsky dans *Journal of Power Sources* 155, 2006, pp. 128-13) montre en effet que la durée de vie d'un électrolyseur de l'état de la technique peut être multipliée par dix, voire vingt en abaissant la température de 800°C à 700°C.

15 Par ailleurs, la différence entre les températures minimales et maximales de la cellule peut être réduite à des valeurs inférieures à la dizaine de degrés, le fonctionnement de l'électrolyseur est donc amélioré.

20 La température d'entrée et de sortie des gaz pourra être plus basse, ce qui peut permettre de connecter l'électrolyseur à des circuits à plus basse température inférieure à 600°C, seul l'électrolyseur étant en son sein à haute température, ce qui permet  
25 d'utiliser des vannes et instrumentations courantes et moins coûteuses.

L'échangeur selon l'invention et les circuits de jonction à l'électrolyseur peuvent en outre être de conception plus simple et moins coûteuse. Les  
30 pertes thermiques sont également plus faibles. Cet échangeur fonctionne dans une gamme de température

moins contraignante au niveau du matériau et de l'efficacité globale de l'échange de chaleur.

Pour les réacteurs endothermiques : l'invention permet le chauffage de l'électrolyseur à l'intérieur même de celui-ci du fait de la présence de l'échangeur de chaleur à l'intérieur de l'électrolyseur. L'élévation de température des gaz en entrée est limitée et l'électrolyseur offre une meilleure efficacité.

## REVENDICATIONS

1. Réacteur électrochimique comportant un empilement d'une pluralité de cellules d'électrolyse  
5 élémentaires (C1, C2), chaque cellule (C1, C2) étant formée d'une cathode (2.1, 2.2), d'une anode (4.1, 4.2) et d'un électrolyte (6.1, 6.2) disposé entre la cathode (2.1, 2.2) et l'anode (4.1, 4.2), une plaque interconnectrice (8) étant interposée entre deux  
10 cellules élémentaires (C1, C2), ladite plaque interconnectrice (8) étant en contact électrique avec une électrode d'une cellule élémentaire et une électrode d'une cellule élémentaire suivante, ledit réacteur électrochimique comportant également des  
15 moyens (10, 18, 28) aptes à assurer la circulation d'au moins un fluide pneumatique destiné à venir en contact avec les cathodes et/ou les anodes dans le réacteur électrochimique pour l'échauffer avant sa mise en contact avec les cathodes et/ou les anodes, dans lequel  
20 lesdits moyens de circulation comportent au moins un conduit (10, 18, 28) pour la circulation du fluide pneumatique, de telle sorte que des échanges thermiques entre le fluide pneumatique et les cathodes et/ou les anodes aient lieu, ledit conduit comportant une  
25 première extrémité connectée à une alimentation délivrant ledit fluide pneumatique et une deuxième extrémité amenant le fluide pneumatique chauffé en contact avec l'une ou l'autre de électrodes en contact avec la plaque interconnectrice.

2. Réacteur électrochimique selon la revendication 1, dans lequel le conduit (10, 18) est formé dans la plaque interconnectrice (8).

5 3. Réacteur électrochimique selon la revendication 1, dans lequel le conduit (28) est interposé entre la plaque interconnectrice et l'une et/ou l'autre des électrodes.

10 4. Réacteur électrochimique selon la revendication 1, dans lequel les moyens de circulation comporte un premier conduit (10) pour la circulation d'un fluide pneumatique destiné à venir en contact avec l'une des deux électrodes, et un deuxième conduit (18)  
15 pour la circulation d'un fluide pneumatique destiné à venir en contact avec l'autre électrode.

5. Réacteur électrochimique selon la revendication 4, dans lequel les premier (10) et  
20 deuxième (18) conduits sont réalisés dans la plaque interconnectrice.

6. Réacteur électrochimique selon la revendication 4, dans lequel le premier conduit est  
25 interposé entre la plaque interconnectrice et l'une des électrodes et le deuxième conduit est interposé entre la plaque interconnectrice et l'autre électrode.

7. Réacteur électrochimique selon l'une  
30 des revendications 1 à 6, dans lequel, lorsque l'une au moins des deux électrodes est une cathode, le fluide

pneumatique destiné à venir en contact avec la cathode est de la vapeur d'eau.

8. Réacteur électrochimique selon l'une  
5 des revendications précédentes destiné à fonctionner à haute température, avantageusement supérieure à 900°C.

9. Installation d'électrolyse comportant  
un électrolyseur selon l'une des revendications  
10 précédentes et un échangeur thermique en amont du réacteur électrochimique, dans lequel circulent de manière séparée les fluides pneumatiques entrants et les fluides pneumatiques sortants, de manière à échauffer les fluides pneumatiques entrants à partir  
15 des fluides pneumatiques sortants.

10. Procédé d'électrolyse d'un fluide  
pneumatique mettant en œuvre un réacteur  
électrochimique selon l'une des revendications  
20 précédentes, comportant les étapes :

a) de circulation du fluide pneumatique  
entre une électrode d'une cellule élémentaire et une  
électrode d'une cellule élémentaire adjacente sans  
contact avec celles-ci pour échauffer ledit fluide  
25 pneumatique,

b) d'injection du fluide pneumatique  
échauffé sur l'une et/ou l'autre des électrodes.

11. Procédé d'électrolyse selon la  
30 revendication 10, dans lequel l'étape a) prévoit la circulation selon des écoulements distincts d'un fluide

pneumatique destiné à venir en contact avec l'une des électrodes et un fluide pneumatique destiné à venir en contact avec l'autre électrode et l'étape b) prévoit l'injection de ces fluides pneumatiques sur l'une et  
5 l'autre des électrodes respectivement.

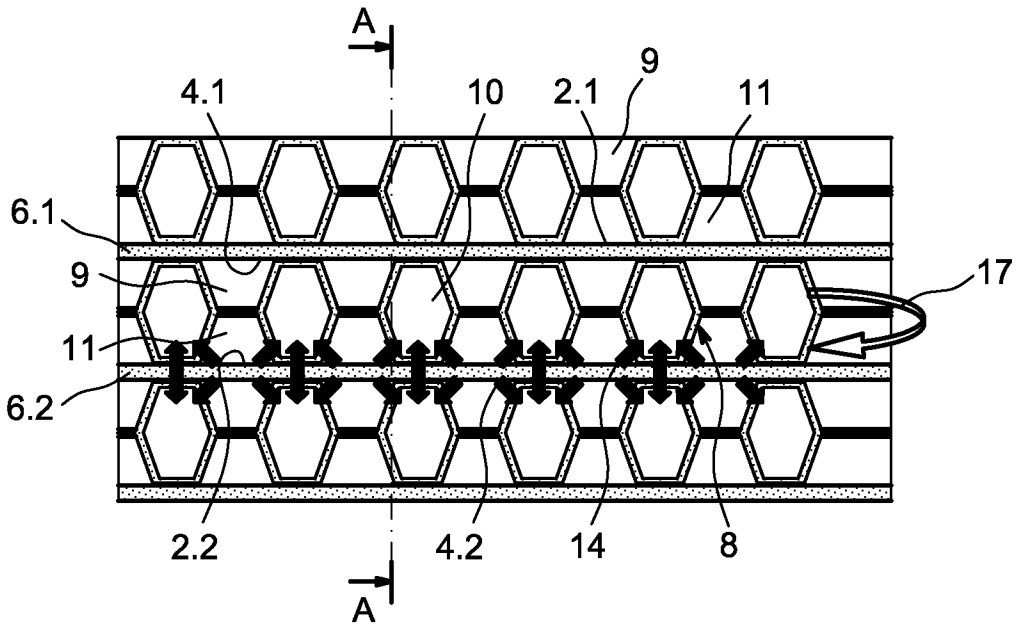


FIG. 1

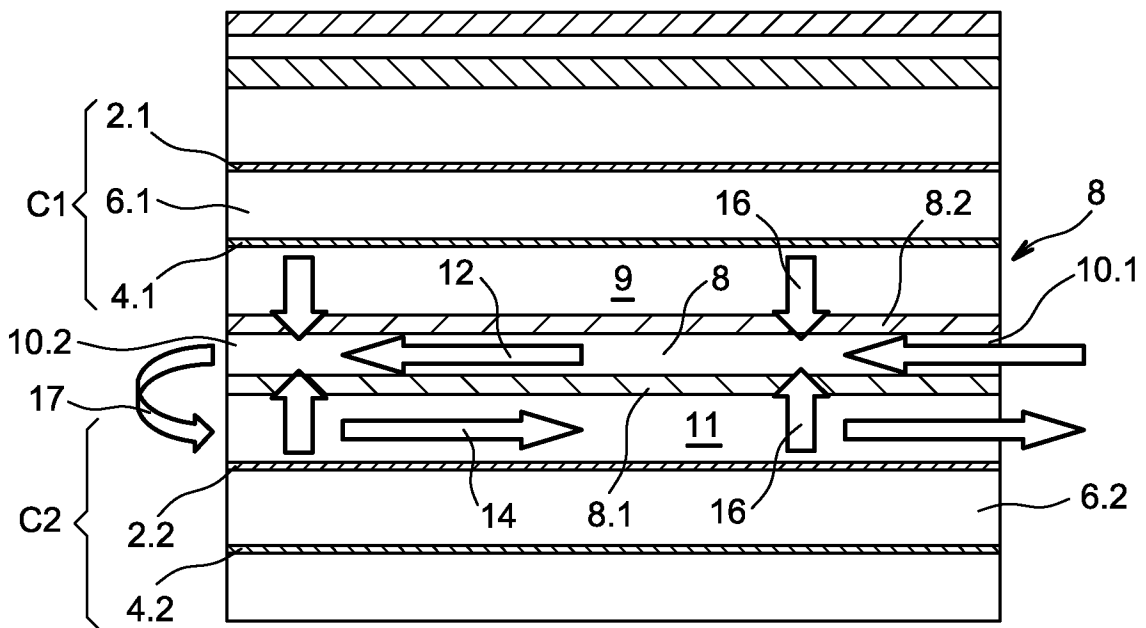


FIG. 2

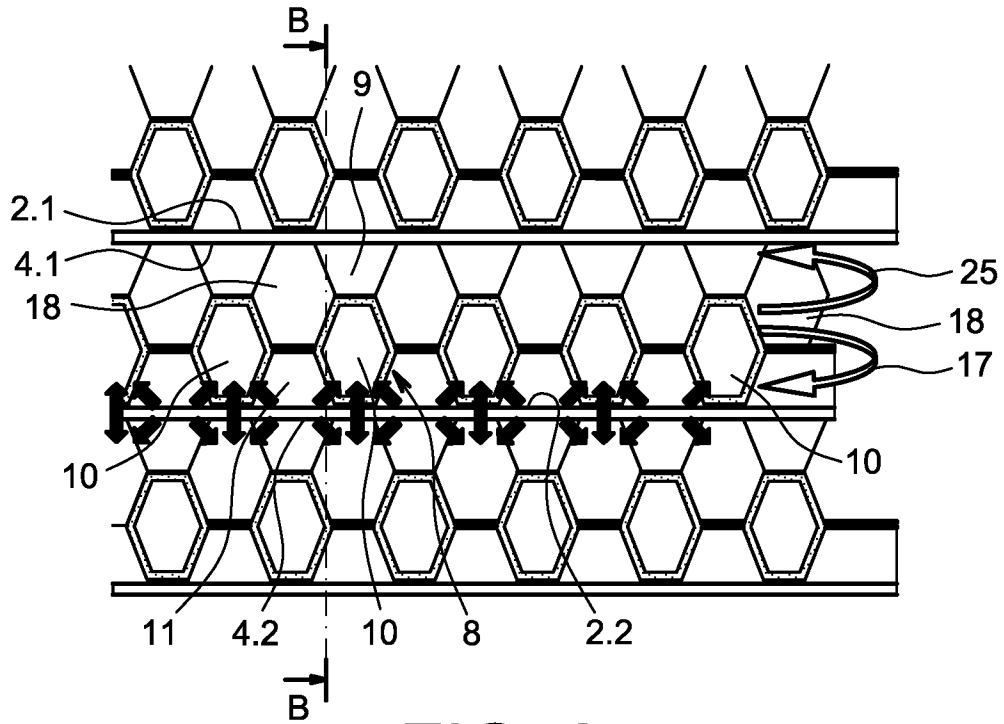


FIG. 3

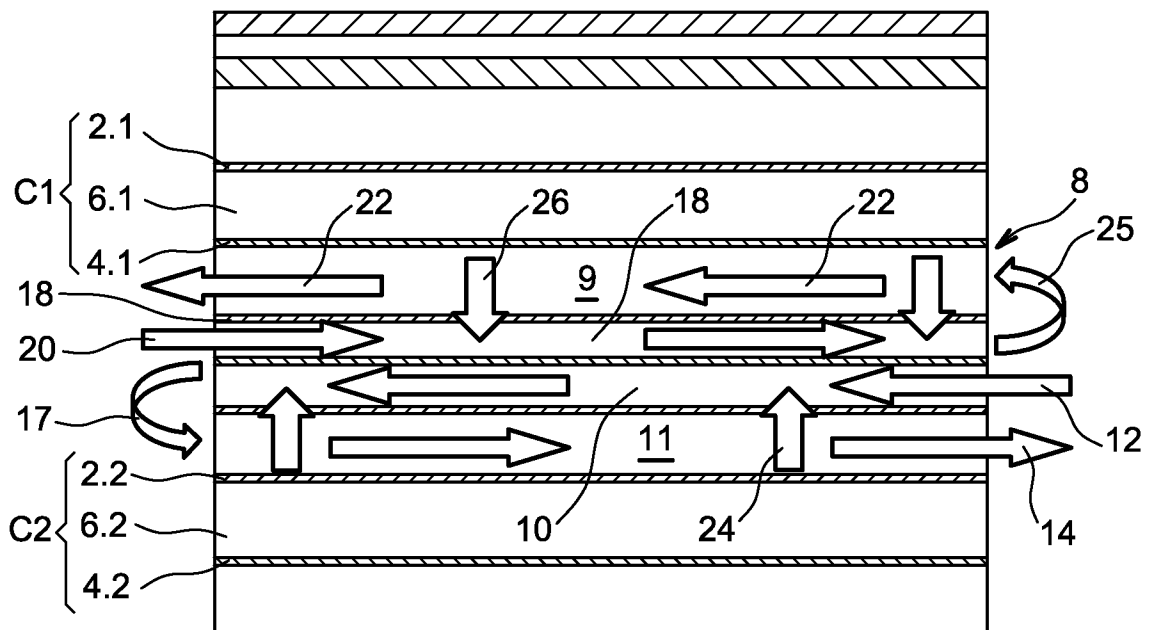


FIG. 4

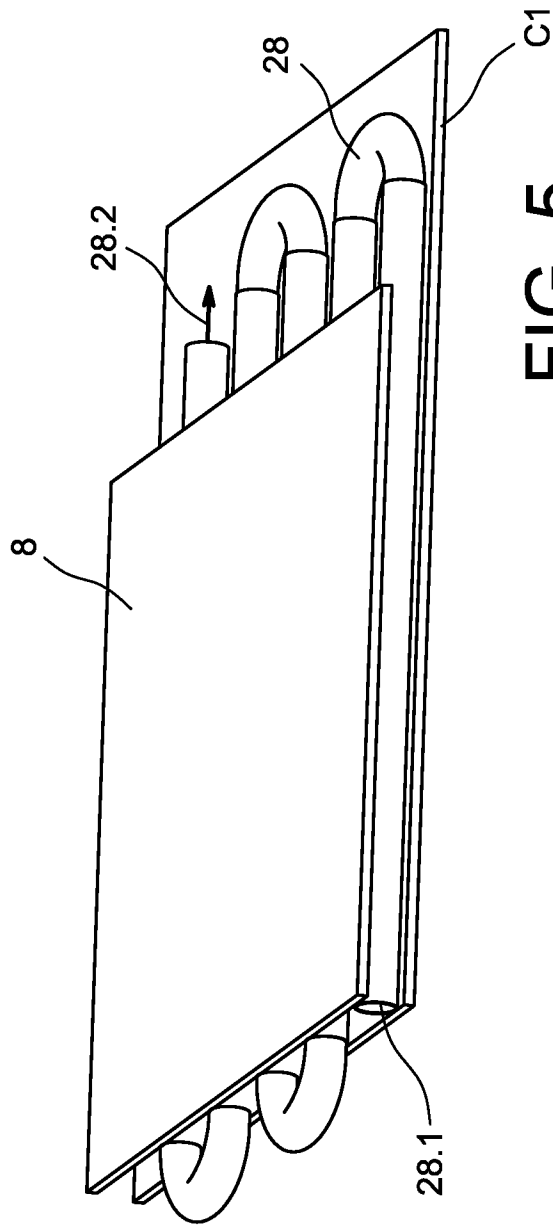


FIG. 5