

Brevet N°

87444

du 31 janvier 1989

Titre délivré

14 JUIN 1989

GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Monsieur le Ministre

de l'Économie et des Classes Moyennes

Service de la Propriété Intellectuelle

LUXEMBOURG

BL 4211

Demande de Brevet d'Invention

I. Requête

Centre de Recherches Métallurgiques-Centrum voor Research
in de Metallurgie, Association sans but lucratif-Vereniging
zonder winstoogmerk 47, rue Montoyer B-1040- BRUXELLES

Représenté par : E.T. FREYLINGER & E. MEYERS Ing. cons. en
P.I. 46, rue du Cimetière LUXEMBOURG Mandataires

dépose(nt) ce Trente et un janvier mil neuf cent quatre vingt neuf
à 15.00 heures, au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes, à Luxembourg:

1. la présente requête pour l'obtention d'un brevet d'invention concernant:

"Matériau combustible ferreux pour un élément d'une pile
à combustible et son procédé d'utilisation"

2. la description en langue française de l'invention en trois exemplaires;

3. 1 planches de dessin, en trois exemplaires;

4. la quittance des taxes versées au Bureau de l'Enregistrement à Luxembourg, le 31 janvier 1989;

5. la délégation de pouvoir, datée de Bruxelles le 26 janvier 1989;

6. le document d'ayant cause (autorisation);

déclare(nt) en assumant la responsabilité de cette déclaration, que l'(es) inventeur(s) est (sont):

MONFORT Guy 117, rue Neuvise 4320 MONTEGNEE Belgique

revendique(nt) pour la susdite demande de brevet la priorité d'une (des) demande(s) de
brevet d'invention déposée(s) en (8) Belgique

le (9) 3 février 1988

sous le N° (10) 08800128

au nom de (11) Centre de Recherches Métallurgiques

élit(élisent) domicile pour lui (elle) et, si désigné, pour son mandataire, à Luxembourg
46, rue du Cimetière

sollicite(nt) la délivrance d'un brevet d'invention pour l'objet décrit et représenté dans les annexes susmentionnées,
avec ajournement de cette délivrance à mois.

Le déposant / mandataire:

II. Procès-verbal de Dépôt

La susdite demande de brevet d'invention a été déposée au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes,
Service de la Propriété Intellectuelle à Luxembourg, en date du: 31 janvier 1989

à 15.00 heures

Pr. le Ministre de l'Économie et des Classes Moyennes,
d.

Le chef du service de la propriété intellectuelle,

A 68007

EXPLICATIONS RELATIVES AU FORMULAIRE DE DÉPÔT.

(1) s'il y a lieu "Demande de certificat d'addition au brevet principal, à la demande de brevet principal No du - (2) inscrire les nom, prénom, profession, adresse du demandeur, lorsque celui-ci est un particulier ou les dénomination sociale, forme juridique, adresse du siège social, lorsque le demandeur est une personne morale - (3) inscrire les nom, prénom, adresse du mandataire agréé, conseil en propriété industrielle, muni d'un pouvoir spécial, s'il y a lieu, représenté par agissant en qualité de mandataire" - (4) date de dépôt en toutes lettres - (5) titre de l'invention - (6) inscrire les noms, prénoms, adresses des inventeurs ou l'indication "(voir) désignation séparée (suivra)", lorsque la désignation se fait ou se fera dans un document séparé, ou encore l'indication "ne pas mentionner", lorsque l'inventeur signe ou signera un document de non-mention à joindre à une désignation séparée présente ou future - (7) brevet, certificat d'addition, modèle d'utilité, brevet européen (CBE), protection internationale (PCT) - (8) Etat dans lequel le premier dépôt a été effectué ou, le cas échéant, Etats désignés dans la demande européenne ou internationale prioritaire - (9) date du premier dépôt - (10) numéro du premier dépôt complet, le cas échéant, par l'indication de l'office récepteur CBE/PCT - (11) nom du titulaire du premier dépôt - (12) adresse du domicile effectif ou élu au Grand-Duché de Luxembourg - (13) 2, 6, 12 ou 18 mois - (14) nom du chef du demandeur ou du mandataire.

Brevet N° **87444**
du 31 janvier 1989
Titre délivré

GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Monsieur le Ministre
de l'Économie et des Classes Moyennes
Service de la Propriété Intellectuelle
LUXEMBOURG

BL 4211

Demande de Brevet d'Invention

I. Requête

Centre de Recherches Métallurgiques-Centrum voor Research
in de Metallurgie, Association sans but lucratif-Vereniging
zonder winstoogmerk 47, rue Montoyer B-1040- BRUXELLES (1)

Représenté par : E.T. FREYLINGER & E. MEYERS Ing. cons. en
P.I. 46, rue du Cimetière LUXEMBOURG Mandataires (2)

dépose(nt) ce Trente et un janvier mil neuf cent quatre vingt neuf
à 15.00 heures, au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes, à Luxembourg: (4)

1. la présente requête pour l'obtention d'un brevet d'invention concernant:

"Matériau combustible ferreux pour un élément d'une pile
à combustible et son procédé d'utilisation" (5)

2. la description en langue française de l'invention en trois exemplaires;

3. 1 planches de dessin, en trois exemplaires;

4. la quittance des taxes versées au Bureau de l'Enregistrement à Luxembourg, le 31 janvier 1989;

5. la délégation de pouvoir, datée de Bruxelles le 26 janvier 1989;

6. le document d'ayant cause (autorisation);

déclare(nt) en assumant la responsabilité de cette déclaration, que l'(es) inventeur(s) est (sont): (6)

MONFORT Guy 117, rue Neuvice 4320 MONTEGNEE Belgique

revendique(nt) pour la susdite demande de brevet la priorité d'une (des) demande(s) de
brevet d'invention déposée(s) en (8) Belgique (7)

le (9) 3 février 1988

sous le N° (10) 08800128

au nom de (11) Centre de Recherches Métallurgiques

élit(élisent) domicile pour lui (elle) et, si désigné, pour son mandataire, à Luxembourg
46, rue du Cimetière (12)

sollicite(nt) la délivrance d'un brevet d'invention pour l'objet décrit et représenté dans les annexes susmentionnées,
avec ajournement de cette délivrance à mois. (13)

Le déposant / mandataire: (14)

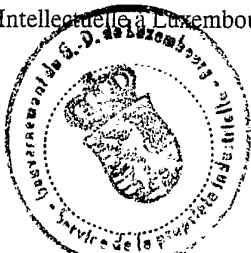
II. Procès-verbal de Dépôt

La susdite demande de brevet d'invention a été déposée au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes,
Service de la Propriété Intellectuelle à Luxembourg, en date du: 31 janvier 1989

à 15.00 heures

Pr. le Ministre de l'Économie et des Classes Moyennes,
..... d.

Le chef du service de la propriété intellectuelle,



A 68007

EXPLICATIONS RELATIVES AU FORMULAIRE DE DÉPÔT.

(1) s'il y a lieu "Demande de certificat d'addition au brevet principal, à la demande de brevet principal No du - (2) inscrire les nom, prénom, profession, adresse du demandeur, lorsque celui-ci est un particulier ou les dénomination sociale, forme juridique, adresse du siège social, lorsque le demandeur est une personne morale - (3) inscrire les nom, prénom, adresse du mandataire agréé, conseil en propriété industrielle, muni d'un pouvoir spécial, s'il y a lieu, représenté par agissant en qualité de mandataire" - (4) date de dépôt en toutes lettres - (5) titre de l'invention - (6) inscrire les noms, prénoms, adresses des inventeurs ou l'indication "(voir) désignation séparée (suivra)", lorsque la désignation se fait ou se fera dans un document séparé, ou encore l'indication "ne pas mentionner", lorsque l'inventeur signe ou signera un document de non-mention à joindre à une désignation séparée présente ou future - (7) brevet, certificat d'addition, modèle d'utilité, brevet européen (CBE), protection internationale (PCT) - (8) Etat dans lequel le premier dépôt a été effectué ou, le cas échéant, Etats désignés dans la demande européenne ou internationale prioritaire - (9) date du premier dépôt - (10) numéro du premier dépôt complété, le cas échéant, par l'indication de l'office récepteur CBE/PCT - (11) nom du titulaire du premier dépôt - (12) adresse du domicile effectif ou élu au Grand-Duché de Luxembourg - (13) 2, 6, 12 ou 18 mois - (14) signature du demandeur ou du mandataire, agréé.

H01M

Revendication de la priorité
de la demande de brevet déposée
en Belgique le 3 février 1988
No 08800128

Mémoire descriptif déposé à
l'appui d'une demande de
brevet d'invention pour :

"Matériau combustible ferreux
pour un élément d'une pile à
combustible et son procédé
d'utilisation"

Centre de Recherches Métallurgiques
Centrum voor Research in de
Metallurgie
Association sans but lucratif
Vereniging zonder winstoogmerk
47, rue Montoyer
1040 BRUXELLES
Belgique

Matériau combustible ferreux pour un élément d'une pile à combustible et son procédé d'utilisation.

La présente invention concerne un matériau combustible ferreux pour un élément d'une pile à combustible, ainsi que son procédé d'utilisation.

Une pile à combustible est un générateur électrique d'un type particulier, dans lequel la production de courant électrique est réalisée à partir de réactions chimiques impliquant la consommation d'un matériau servant de combustible. Le principe de telles piles est connu depuis longtemps. Parmi les nombreux développements auxquels ce principe a donné naissance, la pile à combustible dite "redox" s'est avérée particulièrement intéressante, en raison de la possibilité d'utiliser des électrodes inertes, ce qui évite généralement l'emploi de catalyseurs coûteux et dont la durée de vie est limitée. Dans ce type de pile, le courant électrique est produit par des réactions de réduction d'une part et d'oxydation d'autre part, dans lesquelles est engagé au moins un métal présentant plusieurs états électroniques différents.

Le coût global d'une pile à combustible dépend notamment du métal sur lequel est basé le fonctionnement de la pile. A cet égard, une pile à combustible redox au fer est réellement intéressante, en raison du prix peu élevé des réactifs utilisés.

Dans la présente demande, on appelle "pile redox au fer" une pile à combustible dans laquelle le fer est utilisé au moins dans le compartiment anodique.

5 Une pile redox au fer est constituée de deux compartiments séparés par une membrane échangeuse d'ions de type cationique. Dans un des compartiments, qui constitue la cathode de la pile, se produit une réaction de réduction de Fe^{+++} en Fe^{++} , tandis que l'autre compartiment, ou anode, est le siège d'une réaction d'oxydation de Fe^{++} en
10 Fe^{+++} . Les deux compartiments sont reliés à un circuit extérieur d'utilisation, qui est ainsi parcouru par un courant électrique aussi longtemps que les deux réactions peuvent se dérouler dans la pile. Pour assurer la poursuite de ces réactions et par conséquent la persistance du courant électrique, il est nécessaire de régénérer les
15 solutions utilisées au fur et à mesure de la consommation des substances réactives.

Dans ce type de pile à combustible, cette régénération est généralement réalisée par voie purement chimique, dans des réacteurs
20 distincts de la pile proprement dite.

Il est de pratique courante d'opérer la régénération de la solution cathodique au moyen d'oxygène; cette opération peut être mise en oeuvre dans des conditions économiques satisfaisantes.

25

En ce qui concerne la régénération de la solution anodique, il est connu d'effectuer cette opération en utilisant de l'hydrogène ou du carbone. Toutefois, la réaction de réduction de Fe^{+++} par l'hydrogène est lente, en raison du potentiel élevé du couple $\text{Fe}^{++}/\text{Fe}^{+++}$; elle
30 nécessite dès lors l'emploi d'un catalyseur, ce qui en augmente le coût. Par ailleurs, la régénération par le carbone requiert que l'opération se déroule à 150 - 200°C, et par conséquent sous pression, ce qui n'est pas favorable au point de vue économique.

35 La présente invention propose un matériau combustible inédit, qui permet de remédier aux inconvénients précités en assurant la régénération

rapide et économique de la solution anodique d'une pile à combustible au fer. Elle porte également sur un procédé d'utilisation de ce matériau combustible, sur une pile à combustible utilisant ce matériau ainsi que sur les applications d'une telle pile à combustible.

5

Conformément à la présente invention, un matériau combustible pour un élément redox au fer d'une pile à combustible est caractérisé en ce qu'il est constitué, au moins en partie, par un foil de fer.

10 Par foil de fer il faut entendre, au sens de la présente invention, une feuille de fer mince, d'une épaisseur de préférence inférieure à $100\ \mu\text{m}$, produite par tout moyen approprié tel que le laminage ou le dépôt électrolytique, et se trouvant sous une forme quelconque telle que rouleau, feuille plane ou froissée, déchets, chutes, etc.

15

Selon une variante particulière, le foil est revêtu d'une couche d'une substance hygroscopique, telle qu'une gélatine; cette substance peut constituer une sorte d'éponge destinée à servir de réservoir pour la solution à régénérer; elle assure également un écartement des spires

20 de foil et dès lors un bon contact avec la solution, dans le cas où le foil se trouve sous forme de rouleau.

Selon une autre variante de l'invention, le foil est percé de trous et il est enroulé en rouleau, de préférence compact, de telle façon qu'au
25 moins une partie de ces trous communiquent d'une spire à l'autre.

Comme on l'a indiqué plus haut, le foil de fer est utilisé, conformément à l'invention, pour assurer la régénération de la solution anodique dans une pile à combustible au fer de type redox.

30

De façon connue, cette régénération consiste en une réduction du Fe^{+++} , produit dans le compartiment anodique de la pile, en Fe^{++} qui est ensuite réintroduit dans ce compartiment anodique.

35 Selon un autre aspect de l'invention, un procédé d'utilisation de foil de fer dans une pile à combustible redox au fer est caractérisé en ce

que l'on prélève une portion de la solution anodique de ladite pile, en ce que l'on met cette portion de solution en contact avec ledit matériau combustible, en ce que l'on dissout ledit matériau combustible dans ladite portion de solution, en ce que l'on régénère 5 ladite portion de solution en réduisant au moins une partie des ions ferriques qu'elle contient et en ce que l'on réintroduit ladite portion de solution régénérée dans la pile à combustible.

Ces opérations sont de préférence effectuées en continu, en faisant 10 circuler la solution successivement à travers le compartiment anodique de la pile à combustible et le réacteur de régénération contenant le foil de fer.

Selon l'invention, on dissout le foil de fer dans la solution à régé- 15 nérer, en effectuant la réduction des ions ferriques de la solution au moyen du fer provenant du foil, on provoque la précipitation des ions ferreux excédentaires et on élimine ledit précipité, afin de maintenir la concentration désirée en ions ferreux dans la solution.

20 Le précipité ainsi récupéré peut, à son tour, être utilisé pour fabriquer à nouveau du foil, par exemple par voie électrolytique.

Dans le cadre du présent procédé, on peut utiliser des solutions contenant n'importe quel sel de fer, pour autant que ce sel soit soluble 25 dans l'eau.

Il s'est cependant avéré particulièrement intéressant d'utiliser des solutions de chlorures de fer.

30 Ces chlorures présentent en effet une très grande solubilité et ils permettent dès lors d'utiliser des solutions très concentrées. De plus, les ions chlore ont un effet dépassivant qui entraîne une accélération de la corrosion, c'est-à-dire de la dissolution du foil de fer.

Les solutions peuvent également contenir un ou plusieurs sels inertes, en particulier du NaCl. Une telle addition, limitée par exemple à 1 % en poids, a pour effet de réduire la résistance interne de la pile et d'augmenter la puissance électrique fournie par la pile.

5

Un aspect supplémentaire de l'invention porte sur une pile à combustible pour la mise en oeuvre du procédé prédité.

De façon connue, une telle pile comporte un compartiment cathodique,
10 un circuit de régénération de la solution cathodique, un compartiment anodique et un circuit de régénération de la solution anodique. Conformément à l'invention, une telle pile est en outre caractérisée en ce que le circuit de régénération de la solution anodique comporte un réacteur qui contient un matériau combustible constitué au moins en
15 partie par un foil de fer.

Selon une variante avantageuse, ce circuit comporte également un dispositif de réglage de la teneur en fer de la solution anodique. Ce dispositif est de préférence un appareil de précipitation du fer excé-
20 dentaire.

Les divers aspects de l'invention seront perçus plus clairement et l'invention pourra être mise en oeuvre plus aisément si l'on se réfère à la description plus détaillée qui va suivre. Cette description porte
25 sur une réalisation concrète de l'invention, donnée à titre d'exemple; elle est illustrée par les dessins annexés, dans lesquels la figure 1 rappelle le principe d'une pile à combustible redox; et la figure 2 représente une pile à combustible où la régénération de la solution anodique est assurée par le foil de fer, conformément
30 ment à la présente invention.

Les figures 1 et 2 ne constituent bien entendu que des représentations schématisques, qui ne comprennent que les éléments directement nécessaires à la compréhension de l'invention. Des éléments identiques ou
35 analogues sont désignés par les mêmes repères numériques dans les deux figures. Enfin, les directions de circulation des fluides tels que les

solutions, les gaz ou le courant électrique, ainsi que les sens des diverses réactions chimiques, sont indiqués par les flèches.

On a représenté dans la figure 1 le schéma d'une pile à combustible redox de type connu, dont le fonctionnement repose sur les réactions d'oxydation et de réduction du fer.

La pile se compose essentiellement d'un compartiment cathodique 1, qui contient une solution riche en ions Fe^{+++} , et un compartiment anodique 10 2, qui contient une solution riche en ions Fe^{++} . Ces deux compartiments sont séparés par une membrane 3 échangeuse d'ions de type cationique. Une telle membrane ne laisse passer que des anions X^- ; elle empêche le mélange des solutions contenues dans les compartiments 1 et 2.

15

Les électrodes 4, 5 qui ne servent que de collecteurs de courant, sont réalisées en un matériau bon conducteur de l'électricité, généralement en graphite. Il est préférable d'utiliser un feutre de graphite ou une mousse métallique afin d'augmenter la surface de réaction et ainsi la 20 puissance de la pile. Ces électrodes sont reliées à un circuit extérieur d'utilisation symbolisé par une lampe 6. .

Au cours de la décharge d'une telle pile, le Fe^{+++} du compartiment cathodique 1 est réduit selon la réaction :



tandis que le Fe^{++} du compartiment anodique 2 est oxydé suivant la réaction :



30 L'électron libéré à l'électrode 5 par la réaction (2) passe par le circuit extérieur et parvient à l'autre électrode 4 où il constitue l'électron nécessaire au déroulement de la réaction (1). La pile produit ainsi un courant électrique I utilisable sous une tension qui dépend des concentrations relatives des deux composants Fe^{++} et Fe^{+++} 35 dans chaque compartiment. La conservation de la neutralité de la charge électrique impose le passage d'un courant ionique dans la

solution; ce courant est produit par la migration d'anions X^- à travers la membrane échangeuse 3.

Au fur et à mesure que les réactions progressent, la concentration en Fe^{++} augmente dans le compartiment 1 et la concentration en Fe^{+++} augmente dans le compartiment 2. Lorsque le rapport des concentrations Fe^{++}/Fe^{+++} est égal dans les deux compartiments, la tension électrique devient nulle, les réactions s'arrêtent et le courant électrique cesse de circuler dans le circuit extérieur.

10

Pour éviter l'interruption du courant produit par la pile, on régénère les solutions utilisées dans les compartiments cathodique et anodique respectivement. Ces opérations de régénération sont effectuées dans des réacteurs distincts de la pile proprement dite, respectivement en présence d'oxygène dans un réacteur 7 pour la solution cathodique et en présence d'hydrogène ou de carbone dans un réacteur 8 pour la solution anodique. Dans ces conditions, le déroulement des réactions et la production de courant électrique se poursuivent aussi longtemps que la régénération des solutions est assurée.

20

Cette description correspond aux piles à combustible redox qui sont actuellement bien connues.

La figure 2 représente une pile à combustible redox dans laquelle, conformément à l'invention, on utilise du foil de fer pour réaliser la régénération de la solution anodique. Cette pile comporte également les éléments connus que sont les compartiments cathodique 1 et anodique 2 séparés par une membrane échangeuse d'ions 3, ainsi que les collecteurs 4, 5 reliés à un circuit extérieur 6.

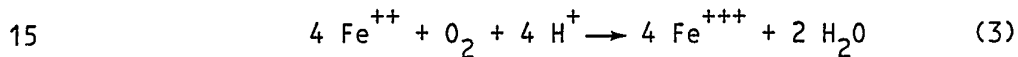
30

La régénération de la solution cathodique est réalisée au moyen d'oxygène dans un réacteur 7; il est prévu ici un catalyseur, constitué de platine sur du charbon actif, pour accélérer la réaction. Sans sortir du cadre de l'invention, le compartiment cathodique de la pile à combustible peut contenir un sel d'un métal multivalent autre que le fer, ou un matériau oxydant autre que l'oxygène; on peut notam-

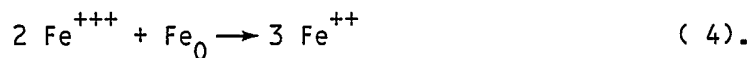
ment utiliser des matériaux ayant un effet oxydant tel que le chlore, certains composés de chlore (eau de Javel), le permanganate, les peroxodisulfates, etc. De même, ce compartiment cathodique peut être celui d'une pile classique. La régénération à l'oxygène, et
5 notamment par l'oxygène de l'air, est particulièrement intéressante dans le cas où la pile est utilisée pour assurer la propulsion électrique d'un véhicule.

La caractéristique essentielle de l'invention réside dans le fait que
10 le combustible utilisé pour la régénération de la solution anodique est le foil de fer 9.

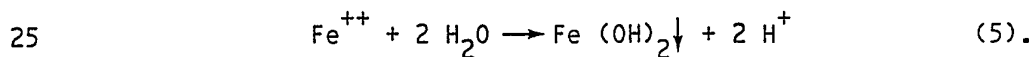
Dans ces conditions, la régénération de la solution cathodique se fait suivant la réaction :



tandis que la réaction de régénération de la solution anodique s'écrit :



20 La dissolution du foil suivant la réaction (4) enrichit la solution anodique en ions ferreux, qui deviennent excédentaires par rapport aux ions ferriques. On maintient la concentration requise en ions ferreux, par exemple en assurant la précipitation de l'excédent par la réaction :



Dans ce cas, la réaction (5) régénère l'acidité (H^+) consommée par la réaction (3) car les ions H^+ peuvent traverser la membrane échangeuse
3, en raison de leurs faibles dimensions.

30

Dans la figure 2, le circuit de régénération de la solution anodique comporte un appareil de précipitation 10, où l'on assure, périodiquement ou en continu, la précipitation et l'évacuation des ions ferreux en excès dans la solution.

35

La circulation des solutions cathodique et anodique dans leur circuit de régénération respectif est assurée par les pompes 11, 12.

En outre les compartiments cathodique 1 et anodique 2 sont garnis d'un matériau conducteur constitué ici par du feutre de carbone; ils forment ainsi des électrodes ayant une très grande surface spécifique et permettant dès lors de recueillir des courants d'intensité élevées.

5 On peut, sans sortir du cadre de l'invention, utiliser des électrodes constituées de divers matériaux présentant une grande surface spécifique, pour autant qu'ils soient conducteurs de l'électricité et chimiquement inertes à l'égard des solutions utilisées dans ces compartiments. C'est le cas notamment de la mousse de carbone ou de
10 graphite, ainsi que de la mousse de certains métaux et alliages métalliques. Avec ce type d'électrodes, toute la solution d'un compartiment est pompée à travers les pores de l'électrode correspondante et ne circule donc pas du collecteur vers la membrane.

15 Le réacteur de régénération 8 contient du foil de fer 9, ici présenté sous la forme d'un rouleau dont les spires ne sont pas serrées. Cette forme est particulièrement intéressante car elle présente une très grande surface de contact avec la solution, ce qui favorise la dissolution du foil et par conséquent la régénération de la solution.

20

L'utilisation du foil de fer pour régénérer la solution anodique d'une telle pile à combustible présente plusieurs avantages.

La très faible épaisseur du foil permet de disposer d'une très grande
25 surface de contact sous un volume limité; le réacteur 8 peut donc avoir des dimensions relativement faibles tout en présentant un rendement intéressant.

Le foil peut être de qualité médiocre et présenter des défauts tels
30 que des piqûres, des trous, des déchirures, etc.; il peut être sous forme de déchets, chutes, limailles, ou autres sans compromettre le rendement de la régénération.

Le précipité de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ recueilli en 10 peut être recyclé pour la
35 fabrication de foil.

Une pile à combustible consommant du foil de fer conformément à la présente invention peut être utilisée dans les applications les plus diverses, telles que la propulsion de véhicules, l'éclairage ou le chauffage de locaux, l'alimentation de moteurs électriques, etc.

5

Il faut encore souligner que l'utilisation du matériau combustible proposé par la présente invention n'entraîne aucune pollution de l'environnement, ce qui est particulièrement important dans le domaine de la propulsion des véhicules.

10

L'exemple qui suit montre l'intérêt de l'emploi d'une telle pile à combustible pour la propulsion d'un véhicule automobile au moyen d'un moteur de 60 kW.

15 Dans le cas d'un moteur à combustion interne, la consommation à pleine puissance serait d'environ 4,8 g/s, en tenant compte d'un pouvoir énergétique de 10.000 kcal/kg pour l'essence ainsi que d'un rendement moyen de 30 %. Cela correspond sensiblement à une consommation de 13 l d'essence aux 100 km, à pleine puissance et à vitesse élevée.

20

Dans le cas d'un moteur électrique, le rendement est proche de 100 %. Pour réaliser la puissance de 60 kW au moyen de 100 éléments de pile de 1,5 V/400 A, la consommation à puissance maximale est de 23 g/s de fer transformé dans l'ensemble de la pile. Comme la régénération de 25 g de Fe^{+++} ne nécessite que 1 g de fer, la consommation d'un tel moteur s'élève à 11,6 g/s de foil, soit 2,4 fois le poids de l'essence.

Il en résulte que 78 kg de foil peuvent procurer la même autonomie que 33 kg d'essence. Cependant, les 78 kg de foil ne nécessitent qu'un
30 réservoir d'environ 15 l, tandis que les 33 kg d'essence requièrent un réservoir de 41 l. Le gain de volume est particulièrement appréciable.

REVENDEICATIONS

1. Matériau combustible ferreux pour un élément d'une pile à combustible, caractérisé en ce qu'il est constitué au moins en partie par un foil de fer.
2. Matériau combustible suivant la revendication 1, caractérisé en ce que le foil de fer est revêtu d'une substance hygroscopique.
3. Matériau combustible suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le foil est percé de trous et en ce qu'il est enroulé en rouleau de telle façon qu'au moins une partie de ces trous communiquent d'une spire à l'autre.
4. Procédé d'utilisation d'un matériau combustible suivant l'une ou l'autre des revendications 1 à 3 dans un élément redox au fer d'une pile à combustible, caractérisé en ce que l'on prélève une portion de la solution anodique de ladite pile, en ce que l'on met cette portion de solution en contact avec ledit matériau combustible, en ce que l'on dissout ledit matériau combustible dans ladite portion de solution, en ce que l'on régénère ladite portion de solution en réduisant au moins une partie des ions ferriques qu'elle contient et en ce que l'on réintroduit ladite portion de solution régénérée dans la pile à combustible.
5. Procédé suivant la revendication 4, caractérisé en ce que l'on règle la teneur en ions fer de ladite portion de solution anodique régénérée.
6. Procédé suivant l'une ou l'autre des revendications 4 et 5, caractérisé en ce que ladite solution anodique est une solution aqueuse d'au moins un sel de fer tel qu'un sulfate ou un chlorure.
7. Procédé suivant l'une ou l'autre des revendications 4 à 6, caractérisé en ce que ladite solution anodique contient au moins un sel inerte, tel que NaCl.

8. Pile à combustible pour la mise en oeuvre du procédé de l'une ou l'autre des revendications 4 à 7, comportant un compartiment cathodique, un circuit de régénération de la solution cathodique, un compartiment anodique et un circuit de régénération de la solution anodique, caractérisée en ce que le circuit de régénération de la solution anodique comporte un réacteur qui contient un matériau combustible constitué au moins en partie par un foil de fer.
9. Pile à combustible suivant la revendication 8, caractérisée en ce que le circuit de régénération de la solution anodique comporte un dispositif de réglage de la teneur en ions fer de ladite solution anodique.
10. Pile à combustible suivant l'une ou l'autre des revendications 8 et 9, caractérisée en ce que le compartiment cathodique contient un sel d'au moins un métal multivalent autre que le fer.
11. Pile à combustible suivant l'une ou l'autre des revendications 8 à 10, caractérisée en ce que le compartiment cathodique contient un matériau exerçant un effet oxydant autre que l'oxygène.
12. Pile à combustible suivant l'une ou l'autre des revendications 8 à 11, caractérisée en ce qu'au moins une des électrodes est constituée au moins partiellement d'un matériau présentant une grande surface spécifique, tel qu'une mcusse de graphite, de carbone, de métal ou d'alliage métallique.
13. Utilisation d'une pile à combustible conforme à l'une ou l'autre des revendications 8 à 12, pour l'alimentation d'un moteur électrique destiné à la propulsion d'un véhicule.
-

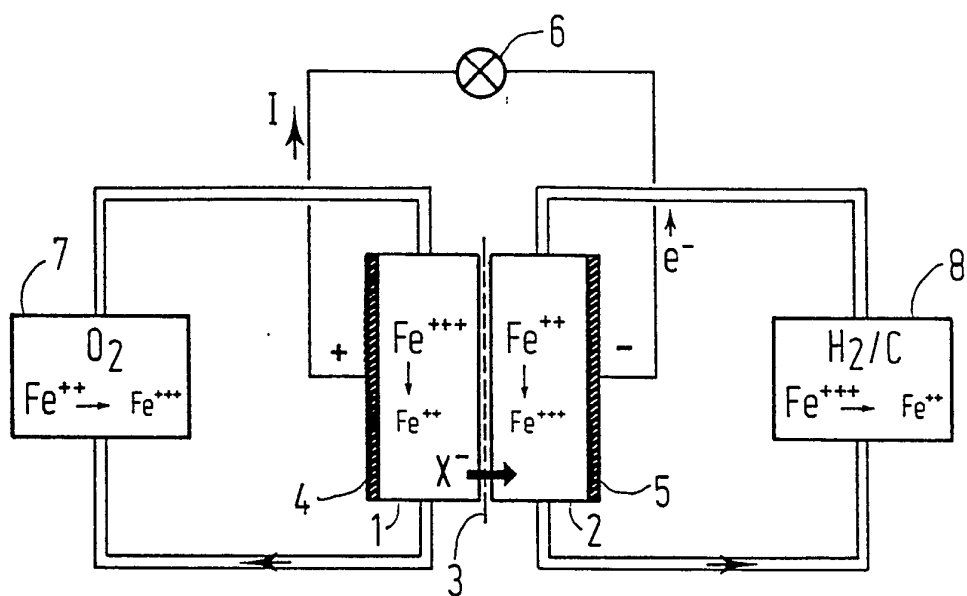


FIG.1_

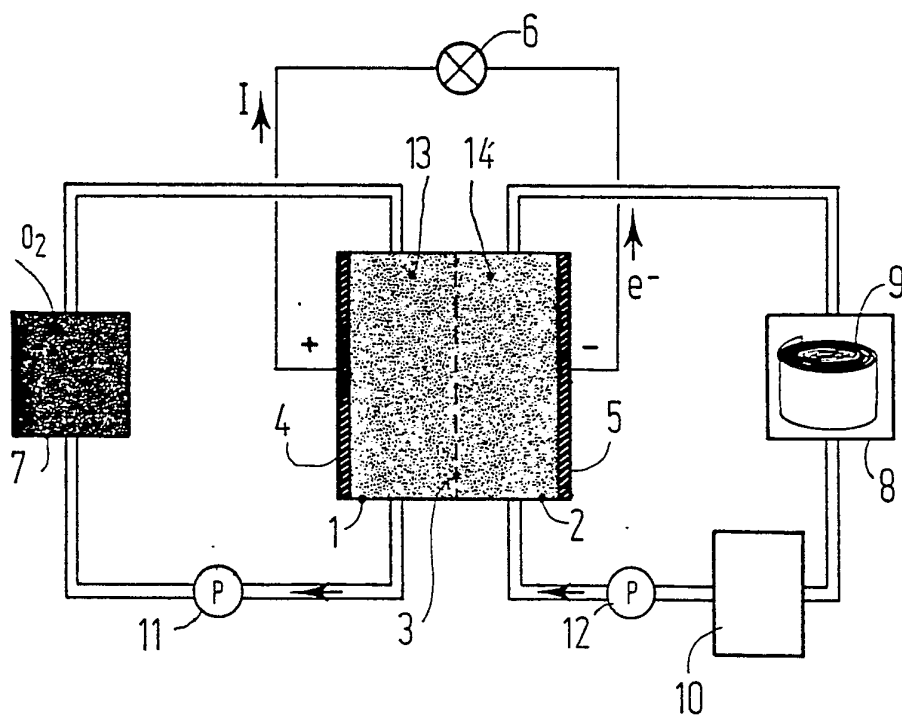


FIG.2_