

(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  
8 avril 2010 (08.04.2010)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2010/037960 A1**

(51) Classification internationale des brevets :  
*C01B 3/04* (2006.01)    *B01J 19/12* (2006.01)  
*C01B 3/50* (2006.01)    *F25J 3/06* (2006.01)  
*C01B 13/02* (2006.01)    *H05H 1/46* (2006.01)

Grenoble (FR). DELAUNAY, Marc-Yves [FR/FR]; 17, allée des Eyménées, F-38240 Meylan (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2009/051841

(74) Mandataires : LEBKIRI, Alexandre et al.; Cabinet Camus Lebkiri, 10, rue de la Pépinière, F-75008 Paris (FR).

(22) Date de dépôt international :  
29 septembre 2009 (29.09.2009)

(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, CL, 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, PE, 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.

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
0856613    30 septembre 2008 (30.09.2008)    FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :  
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR]; 25, rue Leblanc, Bâtiment " Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).

(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,

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : HITZ, Denis [FR/FR]; 5, avenue du Grand Chatelet, F-38000

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : DEVICE FOR PRODUCING HYDROGEN BY MEANS OF AN ELECTRON CYCLOTRON RESONANCE PLASMA

(54) Titre : DISPOSITIF DE PRODUCTION D'HYDROGENE PAR PLASMA A LA RESONANCE CYCLOTRON ELECTRONIQUE

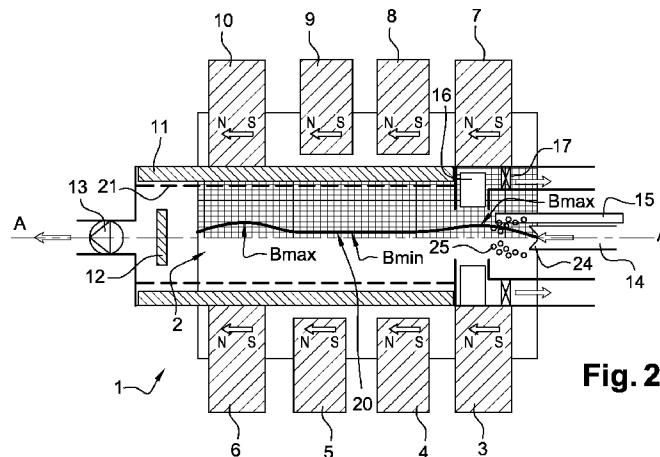


Fig. 2

(57) Abstract : The invention relates to a device (1) for producing hydrogen by means of a electron cyclotron resonance plasma, said device having a magnetic mirror configuration such that the module of the magnetic field has a non-point minimum essentially equal to the magnetic resonance field, and the magnetic field extends at least partially along the chamber (2), such that the plasma has the form of a sheet of plasma. Said device comprises water vapour injection means (14) for injecting the water vapour in the form of a supersonic jet, said means being provided with a planar nozzle (24) and a knife-edge (25) along the axis of the chamber (2) of the device, a selective cryogenic condenser (11) freezing the oxygen along the column of plasma generated in the chamber (2), and means for recovering (13) hydrogen produced from the decomposition, the oxygen being trapped by the at least one cryogenic condenser (11).

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



WO 2010/037960 A1



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

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des  
revendications, sera republiée si des modifications sont  
reçues (règle 48.2.h)

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

---

La présente invention concerne un dispositif (1) de production d'hydrogène par plasma à la résonance cyclotron électronique comportant une configuration de miroir magnétique telle que le module dudit champ magnétique présente un minimum non ponctuel sensiblement égale au champ magnétique de résonance, étendu au moins partiellement le long de ladite chambre (2), de sorte que ledit plasma ait la forme d'une nappe de plasma, les moyens d'injection de vapeur d'eau (14) injectant ladite vapeur d'eau sous forme d'un jet supersonique comprenant une tuyère plane (24) et un écorceur (25) selon l'axe de ladite chambre (2) dudit dispositif, un condenseur cryogénique (11) sélectif pour geler l'oxygène issu de la dissociation sans geler l'hydrogène issu de la dissociation, ledit condenseur cryogénique (11) sélectif gelant l'oxygène le long de ladite colonne de plasma générée dans ladite chambre (2), des moyens de récupération (13) de l'hydrogène issu de la dissociation, l'oxygène étant piégé par ledit au moins un condenseur cryogénique (11).

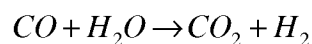
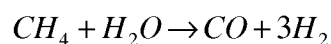
**Dispositif de production d'hydrogène par plasma à la résonance**  
**cyclotron électronique**

La présente invention concerne un dispositif de production d'hydrogène à partir d'un plasma à la résonance cyclotron électronique.

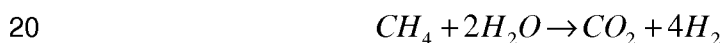
L'hydrogène (H<sub>2</sub>) apparaît aujourd'hui comme un vecteur énergétique très intéressant, qui est appelé à prendre de plus en plus d'importance et qui  
5 pourrait, à terme, se substituer avantageusement au pétrole et aux énergies fossiles, dont les réserves vont fortement décroître dans les décennies à venir. Dans cette perspective, il est nécessaire de développer des procédés efficaces de production d'hydrogène.

Il a certes été décrit de nombreux procédés de production  
10 d'hydrogène, à partir de différentes sources, mais nombre de ces procédés s'avèrent inadaptés vis-à-vis de la limitation des gaz à effet de serre.

Une première technique consiste à utiliser le reformage à la vapeur d'eau. Il s'agit d'une technique de transformation d'hydrocarbures légers tels que le méthane en gaz de synthèse par réaction avec la vapeur d'eau sur un  
15 catalyseur. Les deux principales réactions chimiques de cette méthode sont la production du gaz de synthèse et la conversion de CO :

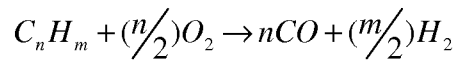


le bilan global étant

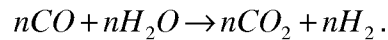


Un des problèmes majeurs de cette voie de synthèse est qu'elle engendre, à titre de sous-produits, des quantités importantes de gaz à effet de serre de type CO<sub>2</sub>.

Une seconde méthode consiste à utiliser une technique d'oxydation  
25 partielle : c'est une technique exothermique et généralement sans catalyseur d'oxydation de produits tels que le gaz naturel, les résidus pétroliers lourds, le charbon. La production de gaz de synthèse est donnée par la réaction :



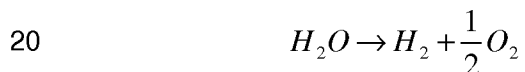
La conversion du monoxyde de carbone est donnée par la réaction :



Tout comme le reformage, cette technique produit une quantité  
5 importante de gaz carbonique.

Il peut également être fait mention d'une troisième technique utilisant la décomposition thermique directe de l'eau ; une telle technique nécessiterait des températures extrêmement élevées de l'ordre de 3000 à 4000 K (l'utilisation d'un catalyseur permet de diminuer cette température qui  
10 reste cependant très élevée, voisine de 1400 K). Cette technique de production est envisagée en utilisant des réacteurs nucléaires à haute température refroidis par un fluide caloporteur gazeux tel que l'hélium (cas des réacteurs, dits de quatrième génération, du type HTR « High Temperature Reactor »). De par son principe, c'est une technique qui est liée  
15 à la production d'uranium. L'autre inconvénient est qu'il est impensable d'utiliser cette méthode pour des petites productions d'hydrogène.

Une quatrième voie consiste à réaliser une électrolyse de l'eau : c'est une technique de dissociation de l'eau par passage d'un courant électrique selon la réaction :



Cette réaction, dont l'enthalpie est  $\Delta H = 285 \text{ kJ.mol}^{-1}$  (à 298K et 1bar) est réalisée selon le procédé suivant : une cellule d'électrolyte est constituée de deux électrodes, une anode et une cathode, reliées à un générateur de courant continu. Les électrodes sont plongées dans un électrolyte servant de  
25 milieu conducteur. Cet électrolyte est en général une solution aqueuse acide ou basique, une membrane polymère échangeuse de protons ( $H^+$ ) ou une membrane conductrice d'ions oxygène ( $O^{2-}$ ).

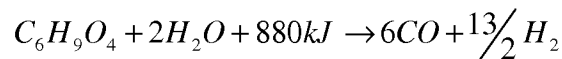
Cette technique pose cependant certaines difficultés ; ainsi les électrodes se corrodent dans le temps. Par ailleurs, un tel procédé nécessite  
30 le réglage permanent des concentrations et l'utilisation de membranes qui

sont soit fragiles pour les membranes organiques, soit à faible rendement pour les membranes minérales.

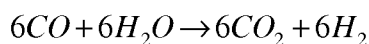
Une cinquième solution consiste à réaliser une décomposition de l'eau par cycle thermochimique (CTC) : ce procédé utilise une suite de réactions chimiques. Un exemple est l'utilisation du cycle iode-soufre basé sur la  
5 décomposition de deux acides à haute température : l'acide sulfurique produit de l'oxygène et du dioxyde de soufre, et l'acide iodhydrique produit de l'hydrogène et de l'iode.

L'inconvénient de cette technique est la mise en œuvre de réactions  
10 chimiques assez complexes produisant, en plus de l'hydrogène, beaucoup d'autres éléments tels que le soufre dans le cas du cycle iode-soufre ou le  $Fe_3O_4$  et l'HBr dans le cas du cycle UT-3.

Une sixième voie envisagée est la biomasse: obtenue par photosynthèse du gaz carbonique et de l'eau, elle utilise l'énergie solaire  
15 pour produire des molécules du type  $C_6H_9O_4$ . Il y a ensuite un traitement thermochimique selon la réaction :



Une gazéification à la vapeur d'eau vers 900 °C produit alors du gaz de  
synthèse ( $CO + H_2O$ ). Un supplément d'hydrogène est alors obtenu par la  
20 réaction de « gas shift » :



A nouveau, l'inconvénient principal de cette technique réside dans sa production de gaz carbonique.

Une septième technique consiste à réaliser la photo-électrolyse de  
25 l'eau : c'est un procédé qui utilise la dissociation de la molécule d'eau par un courant électrique produit par l'éclairement d'un photocatalyseur à semi-conducteur ( $TiO_2$ , AsGa).

Ce procédé ne produit pas de gaz de gaz à effet de serre mais possède un rendement de conversion relativement faible.

30 Une autre méthode de production de gaz hydrogène par plasma microondes est proposée dans le document WO2006/123883. Cette méthode utilise la dissociation de molécules gazeuses par impact

électronique. La méthode divulguée consiste en l'injection de fréquences microondes dans un tube diélectrique contenant un gaz ou une vapeur de type H<sub>2</sub>O ou CH<sub>4</sub> sous pression réduite, de l'ordre de 50-300 torr. Cette puissance microondes provoque l'ionisation et/ou la dissociation du gaz en libérant ainsi l'hydrogène (amorçage d'un plasma micro ondes). A l'extrémité du tube, un séparateur de type palladium permet de séparer l'hydrogène par diffusion gazeuse.

Une autre méthode de production d'hydrogène à partir des molécules d'eau est décrite dans le document WO2005/005009. La méthode divulguée consiste à placer les molécules d'eau dans un champ électromagnétique pour exciter les molécules par agitation thermique jusqu'à ce que leur énergie d'excitation dépasse l'énergie de liaison des atomes H et O composant la molécule d'eau.

Une autre méthode de production d'hydrogène en injectant de la vapeur d'eau dans un plasma est décrite dans le document US2004/0265137. Ce brevet décrit un procédé d'obtention d'hydrogène à partir de la vapeur dissociée dans un plasma. Le document mentionne notamment l'utilisation de la résonance cyclotron des électrons (RCE) pour produire ledit plasma. Par rapport aux méthodes de production d'hydrogène précédemment citées, l'utilisation d'une machine à plasma RCE présente de nombreux avantages :

- fonctionnement continu et stable ;
- pas de mise en œuvre de températures élevées ;
- pas d'usure (temps d'utilisation très long dû à l'absence de filament ou d'électrodes) ;
- pas de production de carbone ou de composés carbonés ;
- pas d'utilisation de complexes chimiques ;
- faible coût, si la structure magnétique est réalisée en aimants permanents.

Toutefois, malgré les avantages mentionnés ci-dessus, un problème majeur d'une telle machine à plasma qui casse, par impact électronique, les liaisons de la molécule d'eau, est la séparation des produits formés.

L'insertion d'un diélectrique est une solution possible. Cette méthode présente cependant l'inconvénient d'utiliser des composés rares et onéreux.

Dans ce contexte, la présente invention a pour but de fournir un dispositif de production d'hydrogène par un plasma à résonance cyclotron électronique à partir de l'eau, permettant une dissociation efficace des molécules d'eau et une séparation simple des produits formés ne requérant pas nécessairement des champs magnétiques importants.

A cette fin, l'invention propose un dispositif de production d'hydrogène avec un plasma à résonance cyclotron électronique comportant :

- 10 - une chambre étanche sous vide destinée à contenir un plasma,
- des moyens d'injection de vapeur d'eau dans ladite chambre,
- des moyens d'injection d'une onde haute-fréquence à l'intérieur de ladite chambre,
- une structure magnétique pour engendrer un champ magnétique dans
- 15 ladite chambre et générer un plasma suivant les lignes de champ magnétique, le module dudit champ magnétique présentant une configuration de miroir magnétique avec au moins une zone de résonance cyclotron électronique pour dissocier au moins partiellement les molécules d'eau introduites en phase vapeur et pour
- 20 ioniser au moins partiellement les produits de la dissociation,

ledit dispositif étant **caractérisé en ce que** ladite configuration de miroir magnétique est telle que le module dudit champ magnétique présente un minimum non ponctuel, sensiblement constant et sensiblement égal au champ magnétique correspondant à la résonance cyclotron électronique, étendu au moins partiellement le long de ladite chambre, de sorte que ledit plasma ait la forme d'une nappe de plasma ;

lesdits moyens d'injection de vapeur d'eau injectant ladite vapeur sous la forme d'un jet supersonique, lesdits moyens d'injection comportant une tuyère plane et un écorceur, ledit écorceur étant destiné à mettre en forme

30 ledit jet de vapeur de manière à ce qu'il soit dirigé selon l'axe de ladite chambre ;

ledit dispositif comportant :

- au moins un condenseur cryogénique sélectif pour geler l'oxygène issu de la dissociation sans geler l'hydrogène issu de la dissociation, ledit au moins un condenseur cryogénique sélectif gelant l'oxygène le long de ladite nappe de plasma générée dans ladite chambre ;
- 5 - des moyens de récupération de l'hydrogène issu de la dissociation, l'oxygène étant piégé par ledit au moins un condenseur cryogénique.

On entend par chambre étanche sous vide une chambre dans laquelle règne une pression de travail inférieure ou égale à  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar, ladite pression de travail correspondant sensiblement à la pression partielle de  
10 vapeur d'eau injectée dans la chambre.

On entend par champ magnétique sensiblement égal au champ magnétique correspondant à la résonance cyclotron électronique, un champ magnétique égal à  $\pm 10\%$  près au champ magnétique correspondant à la résonance cyclotron électronique.

15 On entend par champ magnétique sensiblement constant au champ magnétique de résonance, un champ magnétique ne s'écartant pas de plus de 10% du champ magnétique de résonance.

Grâce à l'invention, on obtient une production d'hydrogène efficace à partir de la vapeur d'eau. Le dispositif selon l'invention est basé sur  
20 l'utilisation combinée d'un plasma à la résonance cyclotron des électrons et d'au moins un condenseur cryogénique sélectif. Ce dispositif non émetteur de  $\text{CO}_2$  n'utilise ni électrodes, ni chauffage ohmique, ni membrane, ni températures élevées.

Grâce au principe du plasma à résonance cyclotron électronique, au  
25 passage du voisinage de la zone de résonance, les électrons acquièrent de l'énergie. Ils vont alors pouvoir dissocier les molécules d'eau, puis ioniser les produits de dissociation. Grâce à l'électroneutralité du plasma, ces ions vont suivre les électrons suivant les lignes de champ magnétique.

Selon l'invention, la configuration miroir du champ magnétique forme  
30 un profil du champ magnétique comportant un minimum non ponctuel, dit minimum à « champ plat », dont la valeur du module du champ magnétique est égale à la valeur du champ magnétique de résonance à  $\pm 10\%$  près.

Cette valeur du module du champ magnétique minimum, égale à ou très proche de la résonance cyclotron électronique est étendue au moins partiellement le long de la chambre étanche du dispositif, typiquement sur une longueur supérieure à 10 cm, comprise entre les deux maxima du champ magnétique, permettant d'obtenir ainsi une nappe étendue de plasma chaud. La valeur du module à l'intérieur de la chambre est constante sur toute la hauteur de ladite chambre pour un z donnée sur l'axe de la chambre. De cette façon, les électrons pourront acquérir une grande quantité d'énergie afin de dissocier efficacement les molécules d'eau et d'ioniser les produits de dissociation. De plus, l'oxygène issu de la dissociation des molécules d'eau sera piégé plus efficacement tout le long de la chambre étanche et sur une grande longueur.

En observant les diagrammes de phases des éléments hydrogène et oxygène pour les basses températures représentés en figure 1, la pression de fonctionnement de la machine à plasma considérée étant inférieure à  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar, on remarque que pour une température comprise entre 5K et 35K, l'oxygène est cryocondensé tandis que l'hydrogène reste sous forme gazeuse. Ainsi, en utilisant un ou plusieurs condenseurs cryogéniques formant la paroi de la chambre à plasma, refroidis à une température telle que les deux éléments, hydrogène et oxygène, composant le plasma se trouvent sous des phases différentes (hydrogène gazeux et oxygène solide), on peut piéger l'oxygène sous forme solide sans piéger l'hydrogène qui sera récupéré par d'autres moyens. La température du condenseur dépend des pressions partielles d'hydrogène à partir de la densité initiale du plasma qui est elle-même fonction de la fréquence microonde injectée. L'oxygène étant piégé, on utilise alors des moyens de récupération de l'hydrogène tels qu'un système de pompage classique (pompe turbomoléculaire par exemple) pour pomper l'hydrogène. Il est également possible d'utiliser avantageusement le fait que les particules ionisées suivent, par électroneutralité du plasma, les électrons qui sont guidés par les lignes de champ magnétiques.

En effet, si le dispositif de cryocondensation de l'oxygène est placé dans les lignes de champ magnétiques, on peut alors avantageusement

placer les dispositifs de cryocondensation de l'hydrogène en dehors des lignes de champ magnétique.

On notera que, bien qu'utilisant un champ électromagnétique, le dispositif selon l'invention n'utilise pas de procédé d'agitation thermique des  
5 molécules d'eau, mais en revanche casse les liaisons atomiques par collisions avec les électrons du plasma.

Selon un mode particulièrement avantageux de l'invention, ladite chambre comporte des moyens d'injection de vapeur d'eau injectant la vapeur d'eau selon l'axe longitudinal AA' de la chambre directement dans le  
10 plasma chaud.

Le dispositif selon l'invention peut également présenter une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessous, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles :

- 15 - ledit au moins un condenseur cryogénique sélectif pour geler l'oxygène forme la paroi interne de ladite chambre ;
- ledit au moins condenseur cryogénique sélectif pour geler l'oxygène est situé au niveau dudit minimum de champ magnétique non ponctuel ;
- 20 - ledit au moins un condenseur cryogénique sélectif pour geler l'oxygène est un condenseur de forme annulaire entourant ledit plasma présent dans ladite chambre ;
- ledit au moins un condenseur cryogénique sélectif pour geler l'oxygène issu de la dissociation sans geler l'hydrogène issu de la dissociation est à une température comprise entre 6 et 40K pour une  
25 pression moyenne sensiblement égale à  $5.10^{-3}$  mbar dans ladite chambre ;
- ledit dispositif comporte une pluralité de condenseurs cryogéniques sélectifs pour geler l'oxygène de forme annulaire entourant ledit plasma ;
- 30 - ledit dispositif comporte un deuxième condenseur cryogénique pour geler l'oxygène issu de la dissociation placé à l'extrémité de ladite

- chambre entre ladite configuration de miroir magnétique et lesdits moyens de récupération de l'hydrogène ;
- ladite structure magnétique comporte une pluralité d'aimants permanents ;
  - 5 - ladite pluralité d'aimants permanents possède le même sens d'aimantation ;
  - ladite structure magnétique comporte des aimants permanents dont les pôles se font face dans la zone d'injection de la vapeur d'eau ;
  - ladite structure magnétique comporte des aimants permanents dont  
10 les pôles se font face dans la zone de récupération de l'hydrogène ;
  - lesdits aimants permanents situés dans la zone d'injection de la vapeur d'eau possèdent une polarité différente desdits aimants permanents situés dans la zone de récupération de l'hydrogène ;
  - ladite structure magnétique comporte des aimants permanents de  
15 tailles différentes et présentant soit une même aimantation soit des aimantations différentes ;
  - ladite structure magnétique comporte des bobines à température ambiante et/ou des bobines supraconductrices à basse ou haute température critique, dites bas ou haut  $T_c$  ;
  - 20 - ledit dispositif comporte des moyens de récupération de l'eau non dissociée, lesdits moyens de récupération de l'eau non dissociée étant sensiblement agencés suivant l'axe (AA') d'injection de la vapeur ;
  - lesdits moyens de récupération de l'eau non dissociée forme un diaphragme autour desdits moyens d'injection de vapeur d'eau, de  
25 manière à délimiter la forme du jet de vapeur d'eau ;
  - lesdits moyens de récupération de l'eau non dissociée sont formés par un condenseur cryogénique ;
  - ledit dispositif comporte au moins un système de réinjection de l'eau non dissociée en phase vapeur et issue desdits moyens de  
30 récupération de l'eau non dissociée ;
  - ledit dispositif comporte un grillage présentant un maillage permettant d'arrêter la propagation des ondes hautes fréquences ;

- ledit grillage est inséré entre le plasma de la chambre et ledit au moins un condenseur cryogénique sélectif pour geler l'oxygène issu de la dissociation, de façon à protéger ledit au moins un condenseur cryogénique des ondes haute- fréquences ;
- 5 - ledit grillage est formé par un cylindre mobile métallique comportant des parties pleines et des parties ajourées pour la protection au moins partielle dudit au moins un condenseur cryogénique des ondes haute-fréquences ;
- ledit dispositif comporte une enceinte apte à récupérer l'oxygène  
10 lorsque la température dudit au moins un condenseur cryogénique pour geler l'oxygène est élevée ;
- lesdits moyens de récupération de l'hydrogène issu de la dissociation sont placés à l'extérieur de ladite configuration de miroir magnétique :
- lesdits moyens de récupération de l'hydrogène issu de la dissociation  
15 comportent une pompe servant à pomper l'hydrogène en phase gazeuse ;
- lesdits moyens de récupération de l'hydrogène issu de la dissociation comportent au moins un condenseur cryogénique pour geler l'hydrogène ;
- 20 - ledit dispositif comporte une enceinte apte à récupérer l'hydrogène lorsque la température dudit au moins un condenseur cryogénique pour geler l'hydrogène est élevée ;
- lesdits moyens d'injection d'une onde haute-fréquence à l'intérieur de ladite chambre comporte une fenêtre d'entrée placée dans un champ  
25 magnétique élevé pour que le plasma diffuse vers la chambre et éviter ainsi des impacts du plasma sur ladite fenêtre ;
- ledit module dudit minimum de champ magnétique est compris entre 90% de ladite valeur de résonance cyclotron électronique et ladite valeur de résonance cyclotron électronique ;
- 30 - ledit dispositif comporte des moyens d'injection d'ondes haute-fréquences multifréquences.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront clairement de la description qui en est donnée ci-dessous, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux figures annexées, parmi lesquelles :

- 5 - la figure 1 est une représentation des diagrammes de phases de l'hydrogène et de l'oxygène avec les valeurs correspondantes au point triple de chaque élément ;
- la figure 2 représente en vue de dessus un premier mode de réalisation du dispositif selon l'invention ;
- la figure 3 représente en vue de dessus un second mode de  
10 réalisation du dispositif selon l'invention ;
- la figure 4 représente en vue de dessus un troisième mode de réalisation du dispositif selon l'invention ;
- la figure 5 représente en vue de dessus un quatrième mode de réalisation du dispositif selon l'invention ;
- 15 - la figure 6 représente en vue de dessus un cinquième mode de réalisation du dispositif selon l'invention ;
- la figure 7 représente en vue de dessus un sixième mode de réalisation du dispositif selon l'invention.

20 Dans toutes les figures, les éléments communs portent les mêmes numéros de référence.

La figure 1 a déjà été décrite précédemment en référence à la présentation générale de l'invention.

La figure 2 est une représentation simplifiée d'un dispositif 1 de production d'hydrogène par un plasma à résonance cyclotron électronique  
25 selon un premier mode de réalisation de l'invention.

Le dispositif 1 comporte :

- une chambre étanche 2 de forme parallélépipédique (appelée indifféremment enceinte par la suite) sous vide ;
- huit barreaux d'aimants permanents 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 placés en  
30 dehors de la chambre 2 (les barreaux ont typiquement une hauteur comprise entre quelques centimètres et 1 m, voire plus si besoin est);

- un premier condenseur cryogénique 11 pour piéger l'oxygène formant la paroi latérale de la chambre étanche 2;
- un deuxième condenseur cryogénique 12 pour piéger l'oxygène situé perpendiculaire à l'axe AA' de la chambre 2 ;
- 5 - une pompe 13 permettant la récupération de l'hydrogène sous forme gazeuse ;
- des moyens d'injection de vapeur d'eau 14 dans la chambre 2 composés d'une enceinte où règne de la vapeur d'eau, cette
- 10 - enceinte étant reliée à la chambre étanche 2 par une tuyère 24 de manière à créer un jet supersonique de vapeur d'eau. Le jet de vapeur d'eau est mis en forme avec des écorceurs 25 constitués de tuyaux dans lesquels circule un liquide dont la température avoisine 5°C. La
- 15 - vapeur d'eau qui vient en contact avec les écorceurs 25 est immédiatement condensée et coule le long des écorceurs 25. Le jet de vapeur est ainsi limité en dimension radiale et est orienté selon l'axe AA' longitudinal de la chambre 2 ;
- des moyens de propagation d'ondes haute-fréquence 15, de type microondes basses fréquences inférieures ou sensiblement égale à 2,45GHz, formés par un guide d'ondes ou un câble coaxial équipé
- 20 - d'une fenêtre haute fréquence étanche à l'intérieur de la chambre 2 ;
- un condenseur cryogénique 16 pour piéger la vapeur d'eau non dissociée de manière à disposer d'une grande directivité du jet de
- 25 - vapeur ;
- une pompe 17 de recyclage de l'eau non dissociée en phase vapeur ou liquide ;

La chambre 2 est mise sous vide, le vide étant effectué par des moyens de pompage ad hoc. Afin d'avoir le moins d'impuretés dans la chambre 2, un vide résiduel de  $10^{-4}$  mbar minimum est nécessaire. Pendant le fonctionnement du dispositif 1, la pression de travail de la chambre 2 est

30 typiquement inférieure ou égale à  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar, cette pression étant liée à la pression partielle de vapeur d'eau injectée dans la chambre 2.

La structure magnétique, formée par les huit barreaux d'aimants permanents 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 entourant la chambre 2, produit à l'intérieur de la chambre 2 un champ magnétique axial dont la configuration du module correspond à une configuration de type miroir magnétique dont le profil présente au moins deux maxima ( $B_{\max}$ ) à des abscisses situées respectivement dans les zones d'injection et d'extraction et un minimum ( $B_{\min}$ ) non ponctuel étendu au moins partiellement le long de la chambre 2 et situé entre les deux maxima ( $B_{\max}$ ). Les deux maxima ( $B_{\max}$ ) ont une valeur supérieure à la valeur du champ magnétique ( $B_{\text{res}}$ ) pour laquelle on obtient la résonance cyclotron électronique. Le minimum ( $B_{\min}$ ) est un minimum dit à champ plat, dont la valeur est égale ou légèrement inférieure à la valeur pour laquelle on obtient la résonance cyclotron électronique sur une grande longueur d'abscisse.

La configuration de miroir magnétique est une configuration dite à minimum-B : les électrons du plasma sont confinés dans un puits magnétique. Plus la longueur du minimum-B inférieur ou égal au champ de résonance est grande plus le plasma comportera des électrons rapides conduisant à une meilleur dissociation de la vapeur d'eau en oxygène et en hydrogène.

Grâce au principe de résonance cyclotron électronique, au passage de la zone de résonance, les électrons vont acquérir de l'énergie. Ils vont alors pouvoir dissocier les molécules d'eau, puis partiellement ioniser les produits de dissociation. Les électrons suivent les lignes de champ magnétique grâce à la loi de Laplace ; et, grâce à l'électroneutralité du plasma, ces ions vont suivre les électrons sur les lignes de champ magnétique.

Les microondes injectées dans le plasma tendent à se propager à travers le plasma jusqu'à la zone de résonance. En effet, le transfert d'énergie de la puissance microonde injectée aux électrons du plasma se produit en un lieu de champ magnétique ( $B_{\text{res}}$ ) tel que la condition de résonance cyclotron électronique soit établie, c'est-à-dire lorsqu'il y a égalité

entre la pulsation de l'onde haute fréquence  $\omega_{HF}$  et la pulsation cyclotronique de l'électron :

$$\omega_{HF} = \omega_{ce} = q_e B_{res}/m_e$$

où  $q_e$  est la charge de l'électron (Cb) ;

- 5  $B_{res}$  est le champ magnétique correspondant à la résonance (T) ;  
 $m_e$  est la masse de l'électron.

Un générateur de microondes, non représenté, est placé à l'extérieur de la chambre 2 ; ce générateur injecte des ondes hautes fréquences dans la chambre 2 via les moyens de propagation 15. La gamme de fréquence des microondes peut aller du GHz à la centaine de GHz, le générateur le plus courant étant le magnétron à 2,45 GHz communément utilisé pour les fours microondes domestiques. Pour une fréquence de 2,45 GHz, on a un champ magnétique de résonance  $B_{res}=0,0875$  T. Toutefois, pour des dispositifs de production d'hydrogène miniatures (pour des systèmes embarqués par exemple), on peut également utiliser des transistors de puissance. En effet, il existe maintenant des transistors à effet de champ capables de délivrer environ 60 W à 14,5 GHz.

Avantageusement, la fenêtre d'entrée des ondes haute fréquence est placée dans une zone de fort champ magnétique, au niveau par exemple du premier maxima ( $B_{max}$ ) du profil 20 du module du champ magnétique axiale, de sorte que le plasma diffuse dans la direction de la chambre à plasma 2 et non vers la fenêtre d'entrée, de manière à éviter tout bombardement de cette fenêtre par le plasma, garantissant ainsi une durée de vie illimitée. Il est également possible d'utiliser des plasmas dits « sur-denses » (overdense en anglais) où la fréquence plasma est plus grande que la fréquence microondes. L'utilisation de plasmas « sur-denses » permet d'augmenter avantageusement la densité électronique donc d'augmenter l'efficacité du système.

Les moyens d'injection de vapeur d'eau 14 dans la chambre 2 sont placés préférentiellement à proximité des moyens de propagation 15 de microondes (toutefois, on peut également choisir un autre emplacement pour des raisons de commodité). L'eau est introduite dans la chambre à plasma 2

sous la forme d'un jet supersonique de vapeur dans le but d'obtenir une grande directivité de vapeur d'eau afin de diriger la vapeur d'eau directement dans le plasma chaud vers la zone de résonance de la chambre 2. Ce jet est issu d'une tuyère 24 elle-même servant d'orifice à une enceinte où se trouve la vapeur d'eau. Des écorceurs 25 sont placés à la sortie de la tuyère 24 afin de délimiter l'ouverture angulaire du jet. Ces écorceurs 25 sont constitués par des tuyaux dans lesquels circule un liquide dont la température avoisine 5°C (une température plus basse conduirait à une solidification de l'eau sur les écorceurs). La vapeur d'eau qui vient en contact avec les écorceurs 25 est immédiatement condensée et coule le long des écorceurs 25.

Afin d'améliorer encore cette directivité par la diminution de la taille du jet de vapeur, un condenseur cryogénique 16, formé par exemple par un anneau cryogénique, est placé au niveau du premier maxima ( $B_{\max}$ ) du champ magnétique, dont le profil 20 représente le module du champ magnétique le long de la chambre 2. Le condenseur cryogénique 16, dont la température avoisine les 200 K, est utilisé comme un diaphragme dans le but de piéger par cryocondensation la vapeur d'eau située en partie externe du jet de vapeur. Le condenseur 16 évite également la saturation en eau non dissociée des condenseurs cryogéniques 11 et 12 principaux nécessaires à la dissociation des éléments ionisés. Lorsque le condenseur cryogénique 16 est saturé d'eau, un dispositif, non représenté, permet d'isoler le condenseur 16 dans le but de le régénérer. Pour cela, le dispositif réchauffe les parois froides du condenseur afin de récupérer l'eau des parois froides sous forme liquide ou gazeuse pour être réinjecté dans le dispositif 1 par la pompe 17 de recyclage.

Le condenseur cryogénique 16 peut être remplacé indifféremment par un condenseur liquide comportant une tubulure verticale dans laquelle est établi un gradient de pression (de  $10^{-3}$  mbar à  $10^2$  mbar ou 1 bar). Ainsi, l'eau, qui passe de la forme vapeur à la forme liquide, coule le long de la tubulure verticale par gravité et est avantageusement recyclée via la pompe 17 de recyclage. Toutefois, si la tubulure de recyclage est courte, le gradient

de pression dans la tubulure peut rester faible et l'eau peut être réinjectée dans le dispositif 1 directement en phase vapeur.

La structure magnétique est formée par les aimants permanents 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10 en forme de barreaux ayant le même sens d'aimantation pour tous les aimants. L'orientation des aimants permanents 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10 est telle que, le profil magnétique 20 a une configuration de miroir magnétique formée par un minimum-B non ponctuel, dit à « minimum à champ plat » étendue sur une grande partie de la longueur du dispositif selon l'axe AA' et situé entre deux valeurs maximales ( $B_{\max}$ ) du champ magnétique. Les valeurs maximales du champ sont assez élevées, de l'ordre de 0,15 T à 0,3 T, de manière à limiter les fuites axiales du plasma ; les valeurs maximales pouvant également atteindre plusieurs Tesla.

La valeur du minimum-B est une valeur égale ou inférieure à la valeur du champ magnétique de résonance ( $B_{\text{res}}$ ) de l'ordre de 90% de  $B_{\text{res}}$ , c'est-à-dire environ 0,08T. Cette valeur du champ magnétique égale ou légèrement inférieure à la résonance cyclotron électronique est étendue sur une grande partie de la longueur du dispositif, de l'ordre de 25cm. Ainsi, les électrons pourront acquérir une grande quantité d'énergie afin de dissocier efficacement les molécules d'eau sur toute la longueur du dispositif 1.

Il est également possible d'utiliser une source d'injection microondes multifréquences dont la combinaison des largeurs de bande de chaque fréquence forme une large bande de fréquence conduisant à la formation d'une large zone de résonance ; la largeur de la zone de résonance correspondant sensiblement à la bande passante de la source microondes.

Grâce à la configuration magnétique à minimum-B plat, le plasma à la forme d'une longue colonne s'étendant sur une grande partie de la chambre, avec une densité importante en sortie du jet de vapeur et un gradient de pression le long de la chambre 2. Le dispositif 1 ne prévoit pas de confinement radial du plasma de par l'inhomogénéité radiale du champ magnétique. Dans ce cas, les particules ionisées formant le plasma ont tendance à subir une dérive radiale, selon un phénomène connu en physique des plasmas.

Les condenseurs cryogéniques 11 et 12 sont des condenseurs à parois froides, appelés cryo-panneau ou panneau cryogénique. Le condenseur 11 est placé avantageusement sur la surface interne de la chambre 2 de façon à condenser les particules ionisées désirées. Les parois froides du condenseur 11 ont une température avoisinant par exemple 20-30K de manière à condenser tout les éléments présents dans la chambre 2 sauf l'hydrogène qui reste sous forme gazeuse à cette température sous la pression de travail de 0,1 Pa.

En effet, selon les diagrammes de phases de la figure 1, à la pression de fonctionnement de l'enceinte 2, c'est-à-dire au minimum  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar, à une température comprise entre 6K et 40K (préférentiellement comprise entre 5K et 30K), il est possible de cryocondenser l'oxygène tout en gardant l'hydrogène sous forme gazeuse.

On notera que les différents composants issus de la dissociation de l'eau sont essentiellement ;  $H_2$ ,  $O_2$ , OH, H, O,  $O^+$ ,  $H^+$ ,  $H_2^+$ ,  $O_2^+$ ,  $OH^-$ . Tous les éléments ionisés se neutralisent avant de toucher une paroi (soit une paroi froide d'un cryo-panneau soit une autre paroi), tandis que les éléments neutres se recombinaient pour donner des éléments stables :  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2O$ .

Le condenseur cryogénique 12 est placé avantageusement dans l'axe du jet de vapeur 14 en dehors du plasma avant un système de pompage de l'hydrogène, de façon à condenser les particules ionisées d'oxygène ainsi que la vapeur d'eau non dissociée. L'oxygène issue de la dissociation du l'eau étant piégé sur toute la longueur du dispositif 1, il suffit alors de pomper l'hydrogène axialement à l'autre extrémité du dispositif 1 et de l'envoyer dans un compresseur (non représenté).

Un grillage haute-fréquence 21 (HF) est placé devant les cryopanneaux 11 de manière à protéger les cryopanneaux et à éviter leur échauffement par les microondes, le maillage du grillage HF (21) étant déterminé en fonction de la longueur d'ondes des microondes.

On notera que, selon le quadrillage représenté en figure 2, un carreau en abscisse correspond sensiblement à 1 cm. Les dimensions de chaque aimant ont été calculées de manière à obtenir, dans la chambre à plasma,

une longue zone de résonance, où les électrons prennent suffisamment d'énergie pour dissocier les molécules d'eau et ioniser au moins partiellement les produits de dissociation.

Le meilleur taux de dissociation de l'eau étant obtenu pour des  
5 pressions inférieures à  $5.10^{-3}$  mbar, cette valeur est considérée comme une pression maximum dans l'enceinte 2, d'autant plus que les électrons ne seraient plus guidés magnétiquement si l'on accroît cette pression au-delà de  $5.10^{-3}$  mbar.

La figure 3 est une variante de la figure précédente (les moyens en  
10 commun entre les dispositifs 1 et 30 portent les mêmes numéros de référence et réalisent les mêmes fonctions). Le dispositif 30 selon ce second mode de réalisation se différencie du dispositif 1 de la figure 2 en ce qu'il comporte une pluralité de condenseurs cryogéniques 31, 32, 33, 34 à parois froides de type cryo-panneau ou panneau cryogénique placés à l'intérieur de  
15 la chambre 2. Typiquement selon ce mode de réalisation, chaque condenseur cryogénique 31, 32, 33, 34 parmi les quatre représentés est placé entre une succession d'aimants.

Un cylindre métallique 35, mobile selon l'axe AA' est inséré entre les condenseurs 31, 32, 33, 34 et le plasma. Le cylindre métallique 35 est utilisé  
20 comme écran de protection des condenseurs 31, 32, 33, 34. Le cylindre 35 comporte des parties pleines et des parties ajourées 37 par un maillage, ledit maillage correspondant à la longueur d'ondes des microondes utilisées.

Lorsque toutes les parties ajourées sont placées devant les condenseurs 31, 32, 33, 34, l'oxygène dissocié par le plasma est piégé par  
25 les parois froides des condenseurs 31, 32, 33, 34. Les parois froides des condenseurs 31, 32, 33, 34 ont une température avoisinant par exemple 20-30K de manière à condenser tout les éléments présents dans la chambre 2 sauf l'hydrogène qui reste sous forme gazeuse. Dans une deuxième position de ce cylindre 35 mobile, les parties pleines sont placées devant les parois  
30 froides des condenseurs 31, 32, 33, 34. Dans cette position, le dispositif est à l'arrêt permettant la récupération de l'oxygène par régénération des parois froides des condenseurs 31, 32, 33, 34 par réchauffement de celles-ci.

La figure 4 est une variante de la figure précédente (les moyens en commun entre les dispositifs 30 et 40 portent les mêmes numéros de référence et réalisent les mêmes fonctions). Le dispositif 40 selon ce troisième mode de réalisation se différencie du dispositif 30 de la figure 3 en ce qu'il comporte un cylindre métallique mobile 41 comportant un agencement particulier des parties pleines 36 et des parties ajourées 37.

La disposition de ces parties pleines 36 et de ces parties grillagées 37 est telle que dans une première position du cylindre 41 trois condenseurs cryogéniques, par exemple 31, 32 et 34 sont en fonctionnement, c'est-à-dire qu'ils piègent les éléments d'hydrogène, et un condenseur cryogénique, par exemple 33, est dans un processus de régénération. De la sorte, le dispositif 40 peut fonctionner sans interruption. Dès qu'une paroi d'un condenseur 31, 32, 33, ou 34 est saturée, il suffit de déplacer le cylindre mobile 41 selon différentes positions de manière à occulter du plasma la paroi saturée en oxygène en dans le but de la régénérer lors du fonctionnement du dispositif.

Selon un mode particulier de l'invention, il est possible de disposer les différents condenseurs 31, 32, 33, 34 à différentes distances du centre de la chambre 2 où siège le plasma chaud. Par exemple, le condenseur 34 placé près du jet de vapeur sera plus éloignée du centre de la chambre 2 de façon à le protéger des projections d'eau du jet de vapeur qui viendrait se geler exagérément sur la paroi froide. Le condenseur 31 situé près du système de récupération de l'hydrogène sous forme gazeuse peut être placé plus proche du plasma ou du centre de la chambre 2 de manière à pouvoir pomper les derniers atomes d'oxygène restant dans cette zone.

La figure 5 est une variante de la figure précédente (les moyens en commun entre les dispositifs 40 et 50 portent les mêmes numéros de référence et réalisent les mêmes fonctions). Le dispositif 50 selon ce quatrième mode de réalisation se différencie du dispositif 40 de la figure 4 en ce qu'il comporte un nez 51 en matériau ferromagnétique permettant d'augmenter l'efficacité du miroir magnétique situé dans la zone d'injection des microondes.

La pièce ajoutée est une pièce sensiblement de forme allongée en fer ou en ferro-cobalt par exemple et englobant les moyens de propagation d'ondes haute-fréquence 15 et entourant le jet de vapeur d'eau 14.

De cette façon, la disposition et le matériau du nez 51 permettent  
5 d'augmenter le premier maxima ( $B_{\max}$ ) du profil 53 sans modifier le minimum-B restant identique aux modes de réalisation détaillés précédemment, le profil 53 représentant l'intensité du champ magnétique axiale présent dans la chambre 2.

De cette façon, la valeur maximale  $B_{\max}$  du profil 53 peut être trois fois  
10 supérieure à la valeur maximale  $B_{\max}$  du profil 20 détaillé dans les modes de réalisation de l'invention précédents illustrés en référence aux figures 2 à 4, ce qui assure un meilleur confinement du plasma.

La valeur du minimum-B est égale ou légèrement inférieure à la valeur  
15 du champ magnétique de résonance ( $B_{\text{res}}$ ) de l'ordre de 90% de  $B_{\text{res}}$ , c'est-à-dire environ 0,08T. Cette valeur du champ magnétique égale ou légèrement inférieure à la résonance cyclotron électronique est étendue sur une grande partie de la longueur du dispositif, de l'ordre de 25cm.

La figure 6 est une variante de la figure précédente (les moyens en  
commun entre les dispositifs 50 et 60 portent les mêmes numéros de  
20 référence et réalisent les mêmes fonctions). Le dispositif 60 selon ce cinquième mode de réalisation se différencie du dispositif 50 de la figure 5 en ce qu'il comporte un deuxième nez ferromagnétique 52 placé au niveau d'un deuxième maxima  $B_{\max}$  du profil 56.

Ainsi selon ce cinquième mode de réalisation, le profil 56 représentant  
25 l'intensité du champ magnétique présente deux maximas dont l'intensité est plus élevée que les maximas des modes de réalisations précédents, assurant ainsi un meilleur confinement du plasma.

La figure 7 est une représentation simplifiée d'un sixième mode de  
réalisation d'un dispositif 70 de production d'hydrogène par un plasma à  
30 résonance cyclotronique électronique.

Le dispositif 70 comporte :

- une chambre étanche 72 de forme parallélépipédique (appelée indifféremment enceinte par la suite) sous vide ;
- huit barreaux d'aimants permanents 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80 placés en dehors de la chambre 72 (les barreaux ont typiquement une hauteur comprise entre quelques centimètres et 1m, voire plus si nécessaire) ;
- un premier condenseur cryogénique 81 pour piéger l'oxygène formant la paroi latéral de la chambre étanche 72 ;
- un deuxième condenseur cryogénique 82 pour piéger l'oxygène situé perpendiculaire à l'axe de la chambre 72 ;
- une pompe 83 permettant la récupération de l'hydrogène sous forme gazeuse ;
- des moyens d'injection de vapeur d'eau 84 dans la chambre 72 composés d'une enceinte où règne de la vapeur d'eau, cette enceinte étant reliée à la chambre étanche 72 par une tuyère 94 de manière à créer un jet supersonique de vapeur d'eau. Le jet de vapeur d'eau est mis en forme avec des écorceurs 95 constitués de tuyaux dans lesquels circule un liquide dont la température avoisine 5°C. La vapeur d'eau qui vient en contact avec les écorceurs 95 est immédiatement condensée et coule le long des écorceurs 95. Le jet de vapeur est ainsi limité en dimension radiale et est orienté selon l'axe AA' longitudinal de la chambre 72 ;
- des moyens d'injection d'ondes haute-fréquence 85, de type microondes, formés par un guide d'ondes ou un câble coaxial équipé d'une fenêtre haute fréquence étanche à l'intérieur de la chambre 72 ;
- un condenseur cryogénique 86 pour piéger la vapeur d'eau non dissociée de manière à disposer d'une grande directivité du jet de vapeur ;
- une pompe 87 de recyclage de l'eau non dissociée en phase vapeur ou liquide.

La chambre 72 est mise sous vide, le vide étant effectué par des moyens de pompage ad hoc. Afin d'avoir le moins d'impuretés dans la

chambre 2, un vide résiduel de  $10^{-4}$  mbar minimum est nécessaire. Pendant le fonctionnement du dispositif 70, la pression de travail de la chambre 72 est typiquement inférieure ou égale à  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar, cette pression étant liée à la pression partielle de vapeur d'eau injectée dans la chambre 2.

5 La structure magnétique est formée par les huit barreaux d'aimants permanents 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80 entourant la chambre 2.

Les barreaux d'aimants 75, 76, 79, 80 ont le même sens d'aimantation selon l'axe longitudinal de la chambre 72, correspondant au sens d'aimantation des barreaux 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10 tel que représenté dans  
10 les figures précédentes.

De manière similaire à la description faite précédemment le profil magnétique 90 a une configuration de type miroir magnétique formée par un minimum-B non ponctuel, dit à « minimum à champ plat » étendu au moins partiellement le long de la chambre 2 et situé entre deux valeurs maximales  
15 ( $B_{\max}$ ) du champ magnétique. Les valeurs maximales du champ ( $B_{\max}$ ) sont assez élevées, de l'ordre de 0,15 T à 0,3 T, de manière à limiter les fuites axiales du plasma.

Les barreaux d'aimants 73, 74, 77, 78 sont placés aux extrémités de l'enceinte 2 et leur sens d'aimantation est perpendiculaire au sens  
20 d'aimantation des aimants 75, 76, 79, 80, les lignes de champ créées par ces aimants 73, 77 et 74, 78 étant en opposition. La mise en place d'aimants avec un sens d'aimantation perpendiculaire au sens de l'axe longitudinal AA' de l'enceinte permet de diminuer la taille des aimants 75, 76, 79, 80 qui permettent d'obtenir une configuration de miroir magnétique avec un  
25 minimum-B à champ plat légèrement inférieur ou égal au champ magnétique de résonance.

De cette façon, les aimants situés autour de la chambre 2 occupent moins de place que dans les représentations précédentes, ce qui permet de simplifier la mise en place des moyens de régénération des parois froides  
30 des condenseurs cryogéniques présent à l'intérieur de la chambre 2.

Selon une variante de la figure 6, les aimants 75, 79 et les aimants 76, 80 peuvent être de tailles différentes modifiant ainsi le profil magnétique. Par

exemple, les aimants 76 et 80 peuvent être de taille plus petite de manière à fournir un champ magnétique axial avec une valeur du minimum-B, au voisinage de l'injection de vapeur d'eau, proche du champ magnétique de résonance et une valeur du minimum-B plus faible que le champ magnétique de résonance au niveau de la zone de la chambre 2 proche de l'extraction de l'hydrogène. Cette variante permet de disposer d'électrons moins énergétiques au niveau d'une zone proche de l'extraction de l'hydrogène avec un meilleur confinement afin de pouvoir dissocier les molécules d'eau encore présentes dans cette zone. Pour cela, on réalise dans cette zone un confinement plus classique avec un profil comportant un fort gradient de champ, en abaissant le minimum-B et en gardant les valeurs des maxima ( $B_{\max}$ ) constantes.

L'invention a été principalement décrite avec un moyen permettant l'extraction de l'hydrogène sous forme gazeuse situé à l'extrémité de la chambre 2 et pompant l'hydrogène axialement ; toutefois, il est également possible d'équiper le dispositif selon l'invention d'un moyen d'extraction de l'hydrogène pompant l'hydrogène de la chambre radialement au niveau de l'extrémité de la chambre du dispositif. En effet, dans le cas de l'utilisation d'une configuration miroir magnétique simple telle que représentée sur les figures 2 à 7, il peut y avoir un flux de particules important dans l'axe de la machine, ce flux de particules étant d'autant plus faible lorsque  $B_{\max}$  est grand. Un pompage radial de l'hydrogène permet d'obtenir de l'hydrogène pur à 100%.

L'invention a été principalement décrite, dans les modes de réalisation illustrés en référence aux figures 2 à 7, avec une extraction d'hydrogène au niveau de l'extrémité de la chambre effectuée par aspiration de l'hydrogène sous forme gazeuse au moyen d'une pompe. Il est également possible, selon l'invention, d'introduire dans la chambre 2 au niveau de la zone d'extraction de l'hydrogène et en dehors des lignes de champ magnétique des condenseurs cryogéniques à parois froides pour piéger l'hydrogène, tels que des cryo-panneaux pleins ou ajourés et dont la température des parois est inférieure à 5K. Ainsi, l'hydrogène et l'oxygène sont fixés sur des parois

froides indépendantes qu'il suffira de réchauffer indépendamment l'une de l'autre pour récupérer séparément l'hydrogène et l'oxygène soit sous forme liquide, soit sous forme gazeuse.

L'invention a été principalement décrite avec une configuration magnétique comportant un minimum-B égal ou inférieur à la valeur correspondant au champ magnétique de résonance dont la valeur du minimum-B est une valeur constante sur une certaine longueur de la chambre du dispositif correspondant à la distance entre les deux maxima ( $B_{\max}$ ) ; toutefois dans une autre représentation de l'invention, le minimum-B de la configuration magnétique peut osciller autour d'une valeur minimum, tout en restant très proche de cette valeur minimum sur une grande distance de la chambre du dispositif correspondant à la distance entre les deux maxima ( $B_{\max}$ ).

L'invention a été principalement décrite avec une chambre parallélépipédique entourée d'une structure magnétique formée par des barreaux d'aimants et comportant des condenseurs cryogéniques en forme de plaque ; toutefois, l'invention est également réalisable avec une chambre à plasma étanche cylindrique entourée d'une structure magnétique formée par des aimants circulaire et comportant des condenseurs cryogéniques en forme d'anneaux placé sur la longueur de la chambre à plasma.

L'invention a été principalement décrite avec une chambre parallélépipédique entourée d'une structure magnétique formée par des barreaux d'aimants ; toutefois, une partie de la structure magnétique entourant la chambre à plasma comme par exemple les barreaux d'aimants supérieurs peuvent être également utilisés comme barreaux d'aimants inférieurs d'une structure magnétique entourant une deuxième chambre à plasma étanche.

Enfin, l'invention a été principalement décrite avec un champ magnétique axial, toutefois, il est également possible d'ajouter une composante radiale au champ magnétique axial, pour la dissociation par exemple d'autres éléments nécessitant l'utilisation d'un champ magnétique

radial et/ou pour éviter des fuites radiales du plasma due à la dérive des particules et assurer ainsi un meilleur confinement du plasma.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation qui vient d'être décrit.

5           Ainsi, si on souhaite traiter une quantité d'eau plus importante, il est possible d'augmenter les dimensions de l'appareillage tout en veillant à avoir de zones de résonance dans la chambre à plasma. Ainsi, on pourra augmenter la longueur du minimum-B égal ou légèrement inférieure à la résonance selon les besoins jusqu'à plusieurs mètres. On notera que plus le  
10 plateau du minimum-B sera long, plus le dispositif selon l'invention sera efficace.

Il est par ailleurs possible d'utiliser des bobines (supraconductrices ou non) de champ magnétiques pour créer des champs plus intenses.

Même si l'invention a été plus particulièrement décrite pour des  
15 fréquences microondes basses fréquence de l'ordre de 2,45 GHz, on peut bien entendu utiliser des fréquences microondes plus importantes, ainsi que deux injections de microondes avec des fréquences voisines de manière à obtenir une valeur de minimum-B comprise entre les deux valeurs de résonance, ainsi que plusieurs injections de microondes dont la largeur de  
20 bande de chacune (quelques MHz) conduit à une largeur de bande de fréquence très étendue et donc à une zone de résonance plus large.

REVENDICATIONS

1. Dispositif (1, 70) de production d'hydrogène à résonance cyclotron électronique comportant :
- 5           - une chambre (2, 72) étanche sous vide destinée à contenir un plasma,
- des moyens d'injection de vapeur d'eau (14, 84) dans ladite chambre (2, 72),
- des moyens d'injection (15, 85) d'une onde haute-fréquence à
- 10           l'intérieur de ladite chambre (2, 72),
- une structure magnétique (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80) pour engendrer un champ magnétique dans ladite chambre (2, 72) et générer un plasma suivant les lignes de champ magnétique, le module dudit champ magnétique présentant une
- 15           configuration de miroir magnétique avec au moins une zone de résonance cyclotron électronique pour dissocier au moins partiellement les molécules d'eau introduites en phase vapeur et pour ioniser au moins partiellement les produits de la dissociation, ledit dispositif étant **caractérisé en ce que** ladite configuration de miroir
- 20           magnétique est telle que le module dudit champ magnétique présente un minimum non ponctuel, sensiblement constant et, sensiblement égal au champ magnétique correspondant à la résonance cyclotron électronique et étendu au moins partiellement le long de ladite chambre (2, 72), de sorte que ledit plasma ait la forme d'une nappe de plasma ;
- 25           lesdits moyens d'injection de vapeur d'eau (14, 84) injectant ladite vapeur sous forme d'un jet supersonique, lesdits moyens d'injection (14, 84) comportant une tuyère plane (24, 94) et un écorceur (25, 95), ledit écorceur (25, 95) étant destiné à mettre en forme ledit jet de vapeur de manière à ce qu'il soit dirigé selon l'axe (AA') de ladite
- 30           chambre (2, 72) ;
- ledit dispositif (1, 70) comportant :

- 5
- au moins un condenseur cryogénique (11, 31, 32, 33, 34, 81) sélectif pour geler l'oxygène issu de la dissociation sans geler l'hydrogène issu de la dissociation, ledit au moins un condenseur cryogénique (11, 31, 32, 33, 34, 81) sélectif gelant l'oxygène le long de ladite nappe de plasma générée dans ladite chambre (2, 72) ;
  - des moyens de récupération (13, 83) de l'hydrogène issu de la dissociation, l'oxygène étant piégé par ledit au moins un condenseur cryogénique (11, 31, 32, 33, 34, 81).

10

2. Dispositif (1, 70) selon la revendication 1 caractérisé en ce que ledit au moins un condenseur cryogénique (11, 31, 32, 33, 34, 81) sélectif pour geler l'oxygène forme la paroi interne de ladite chambre (2, 72).

15

3. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 2 caractérisé en ce que ledit au moins un condenseur cryogénique (11, 32, 33, 34, 81) sélectif pour geler l'oxygène est situé au niveau dudit minimum de champ magnétique non ponctuel.

20

4. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 3 caractérisé en ce que ledit au moins un condenseur cryogénique sélectif pour geler l'oxygène est un condenseur de forme annulaire entourant ledit plasma présent dans ladite chambre (2, 72).

25

5. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 4 caractérisé en ce que ledit au moins un condenseur cryogénique (11, 31, 32, 33, 34, 81) sélectif pour geler l'oxygène issu de la dissociation sans geler l'hydrogène issu de la dissociation est à une température comprise entre 6 et 40K pour une pression moyenne sensiblement égale à  $5 \cdot 10^{-3}$  mbar dans ladite chambre (2, 72).

30

6. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 5 caractérisé en ce qu'il comporte une pluralité de condenseurs cryogéniques

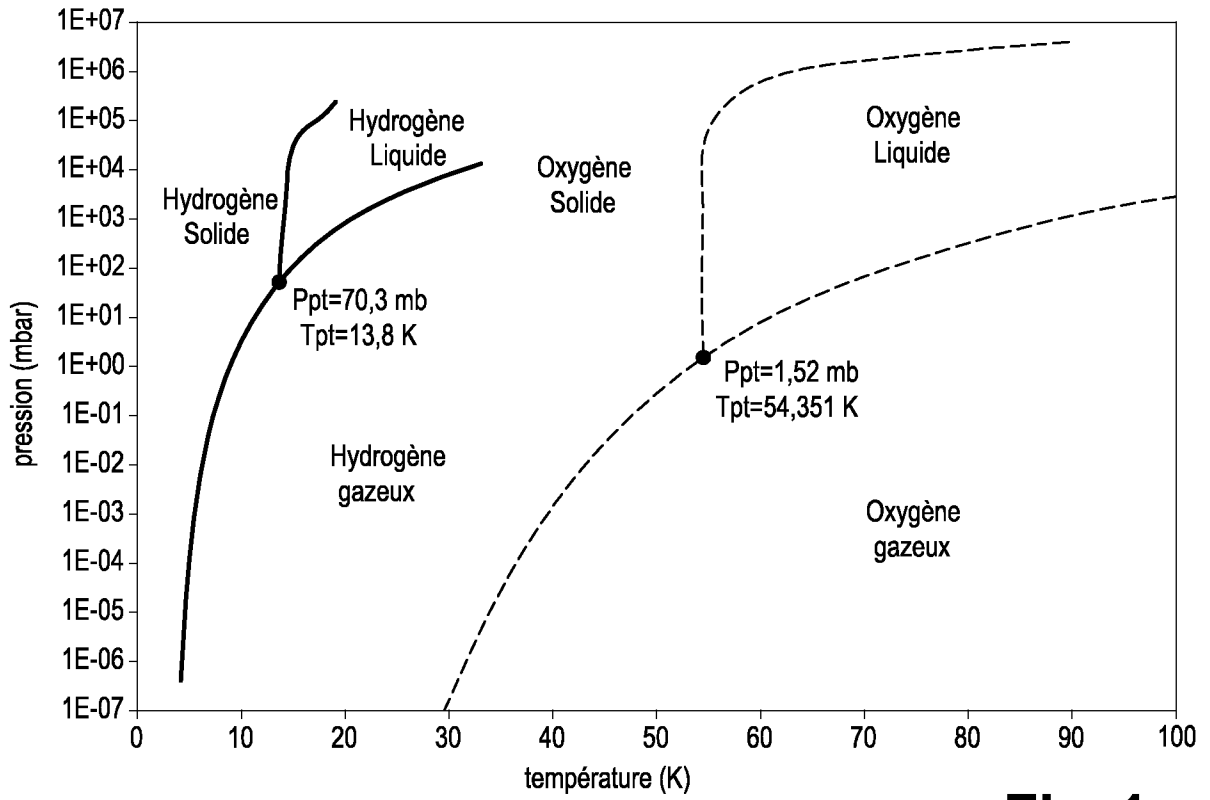
sélectifs pour geler l'oxygène de forme annulaire entourant ledit plasma.

- 5 7. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 6 caractérisé en ce qu'il comporte un deuxième condenseur cryogénique (12, 82) pour geler l'oxygène issu de la dissociation placé à l'extrémité de ladite chambre (2, 72) entre ladite configuration de miroir magnétique et lesdits moyens de récupération (13, 83) de l'hydrogène.
- 10
8. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 7 caractérisé en ce que ladite structure magnétique (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80) comporte une pluralité d'aimants permanents.
- 15
9. Dispositif (1, 70) selon la revendication 8 caractérisé en ce que ladite pluralité d'aimants permanents (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 76, 75, 79, 80) possède le même sens d'aimantation.
- 20
10. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 9 caractérisé en ce que ladite structure magnétique (73, 77) comporte des aimants permanents dont les pôles se font face dans la zone d'injection de la vapeur d'eau.
- 25
11. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 10 caractérisé en ce que ladite structure magnétique (74, 78) comporte des aimants permanents dont les pôles se font face dans la zone de récupération de l'hydrogène.
- 30
12. Dispositif (1, 70) selon la revendication 10 et la revendication 11 caractérisé en ce que lesdits aimants permanents situés dans la zone d'injection de la vapeur d'eau possèdent une polarité différente desdits aimants permanents situés dans la zone de récupération de l'hydrogène.
- 35

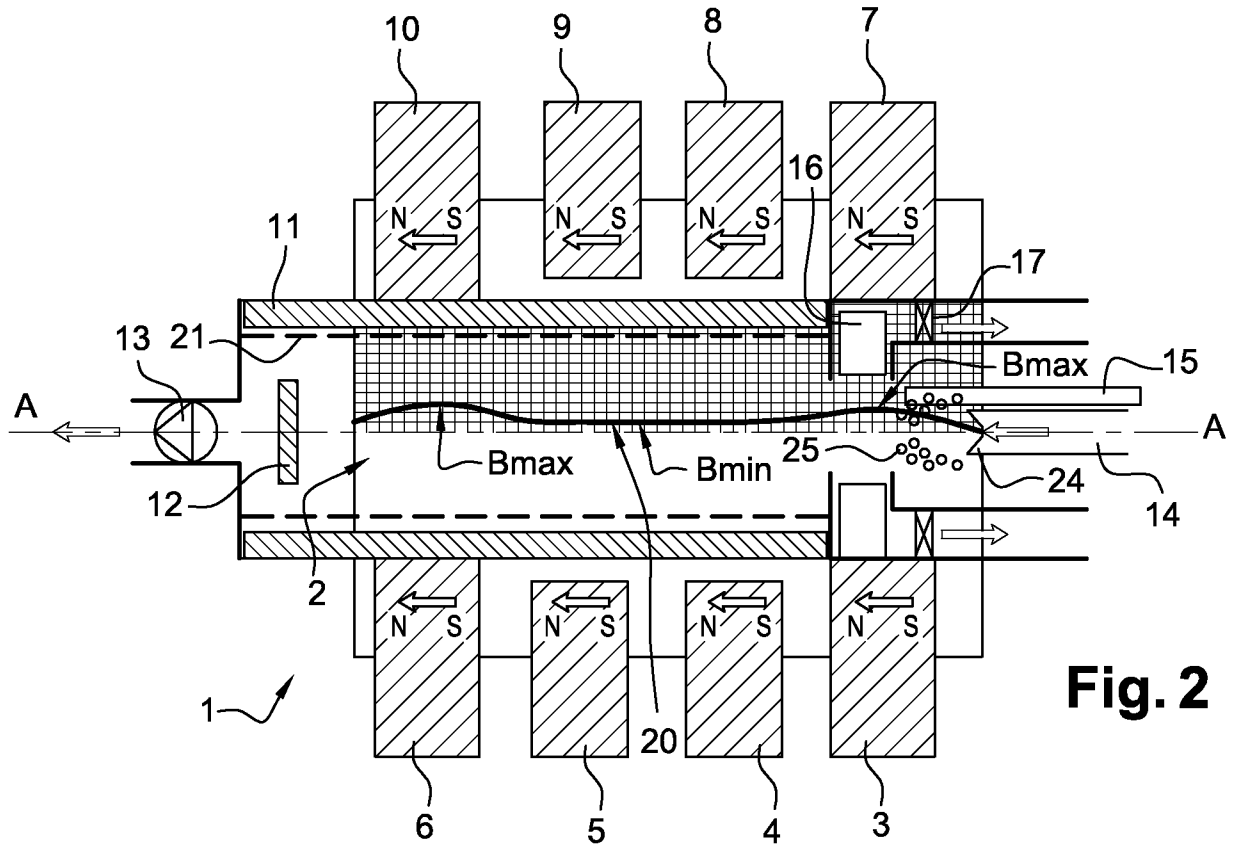
- 5 13. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 12 caractérisé en ce que ladite structure magnétique (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80) comporte des aimants permanents de tailles différentes et présentant soit une même aimantation soit des aimantations différentes.
- 10 14. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 13 caractérisé en ce que ladite structure magnétique comporte des bobines à température ambiante et/ou des bobines supraconductrices à basse ou haute température critique, dites bas ou haut Tc.
- 15 15. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 14 caractérisé en ce qu'il comporte des moyens (16, 86) de récupération de l'eau non dissociée, lesdits moyens (16, 86) de récupération de l'eau non dissociée étant sensiblement agencés suivant l'axe (AA') d'injection de la vapeur.
- 20 16. Dispositif (1, 70) selon la revendication 15 caractérisé en ce que lesdits moyens (16, 86) de récupération de l'eau non dissociée forme un diaphragme autour desdits moyens d'injection de vapeur d'eau (14, 84), de manière à délimiter la forme du jet de vapeur d'eau.
- 25 17. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 15 à 16 caractérisé en ce que lesdits moyens (16, 86) de récupération de l'eau non dissociée sont formés par un condenseur cryogénique.
- 30 18. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 17 caractérisé en ce qu'il comporte au moins un système (17, 87) de réinjection de l'eau non dissociée en phase vapeur et issue desdits moyens de récupération (16, 86) de l'eau non dissociée.

19. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 18 caractérisé en ce qu'il comporte un grillage (21, 35) présentant un maillage permettant d'arrêter la propagation des ondes hautes fréquences.
- 5 20. Dispositif (1, 70) selon la revendication 19 caractérisé en ce que ledit grillage (21) est inséré entre le plasma de la chambre (2) et ledit au moins un condenseur cryogénique (11, 31, 32, 33, 34, 81) sélectif pour geler l'oxygène issu de la dissociation, de façon à protéger ledit au moins un condenseur cryogénique (11, 31, 32, 10 33, 34, 81) des ondes haute- fréquences.
21. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 19 à 20 caractérisé en ce que ledit grillage (35) est formé par un cylindre mobile métallique comportant des parties pleines (36) et des 15 parties ajourées (37) pour la protection au moins partielle dudit au moins un condenseur cryogénique (31, 32, 33, 34) des ondes haute- fréquences.
22. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 21 caractérisé 20 en ce qu'il comporte une enceinte apte à récupérer l'oxygène lorsque la température dudit au moins un condenseur cryogénique (11, 31, 32, 33, 34, 81) pour geler l'oxygène est élevée.
23. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 22 caractérisé 25 en ce que lesdits moyens (13, 83) de récupération de l'hydrogène issu de la dissociation sont placés à l'extérieur de ladite configuration de miroir magnétique.
24. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 23 caractérisé 30 en ce que lesdits moyens (13, 83) de récupération de l'hydrogène issu de la dissociation comportent une pompe servant à pomper l'hydrogène en phase gazeuse.

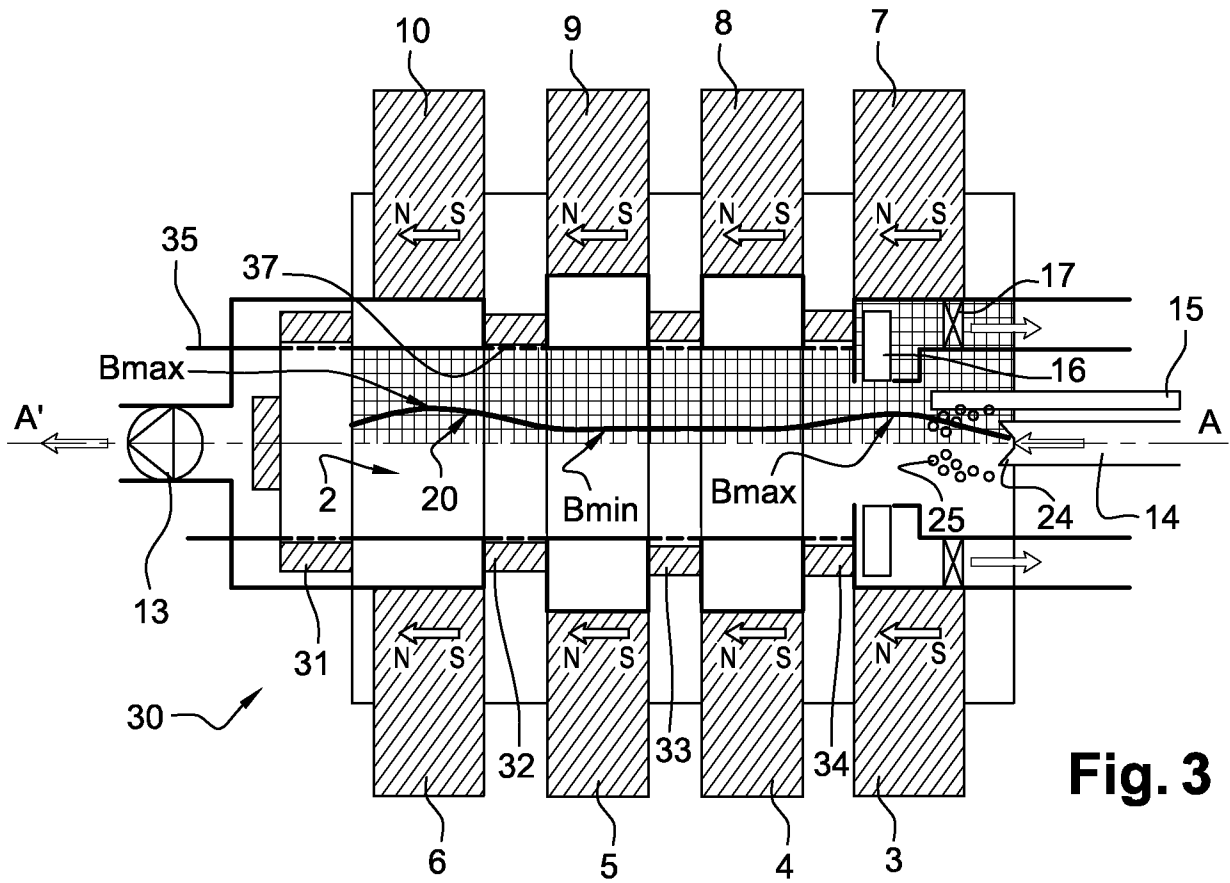
25. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 24 caractérisé en ce que lesdits moyens (13, 83) de récupération de l'hydrogène issu de la dissociation comportent au moins un condenseur cryogénique pour geler l'hydrogène.
- 5
26. Dispositif (1, 70) selon la revendication 25 caractérisé en ce qu'il comporte une enceinte apte à récupérer l'hydrogène lorsque la température dudit au moins un condenseur cryogénique pour geler l'hydrogène est élevée.
- 10
27. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 26 caractérisé en ce que lesdits moyens d'injection (15, 85) d'une onde haute-fréquence à l'intérieur de ladite chambre (2, 72) comporte une fenêtre d'entrée placée dans un champ magnétique élevé pour que le plasma diffuse vers la chambre (2, 72) et éviter ainsi des impacts du plasma sur ladite fenêtre.
- 15
28. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 27 caractérisé en ce que ledit module dudit minimum de champ magnétique est compris entre 90% de ladite valeur de résonance cyclotron électronique et ladite valeur de résonance cyclotron électronique.
- 20
29. Dispositif (1, 70) selon l'une des revendications 1 à 28 caractérisé en ce qu'il comporte des moyens d'injection d'ondes haute-fréquences multifréquences.
- 25



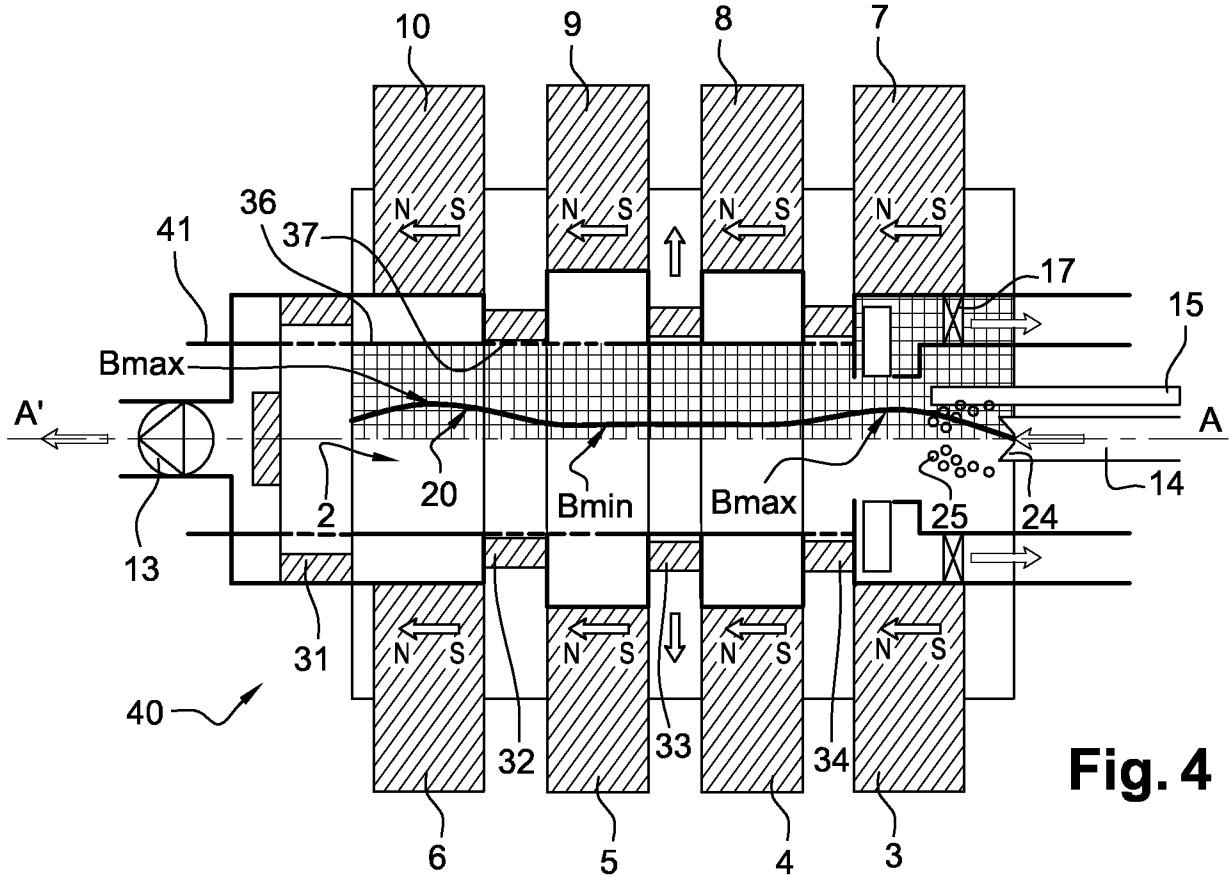
**Fig. 1**



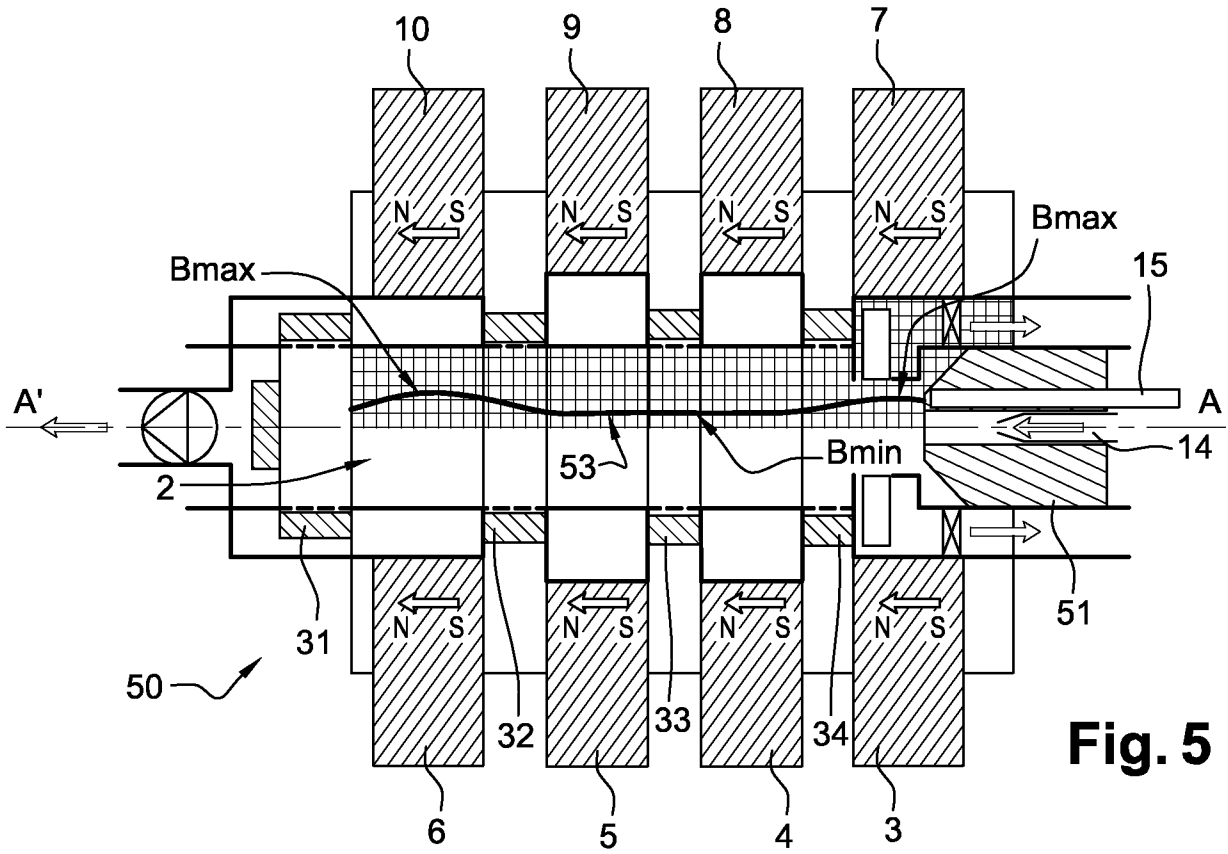
**Fig. 2**



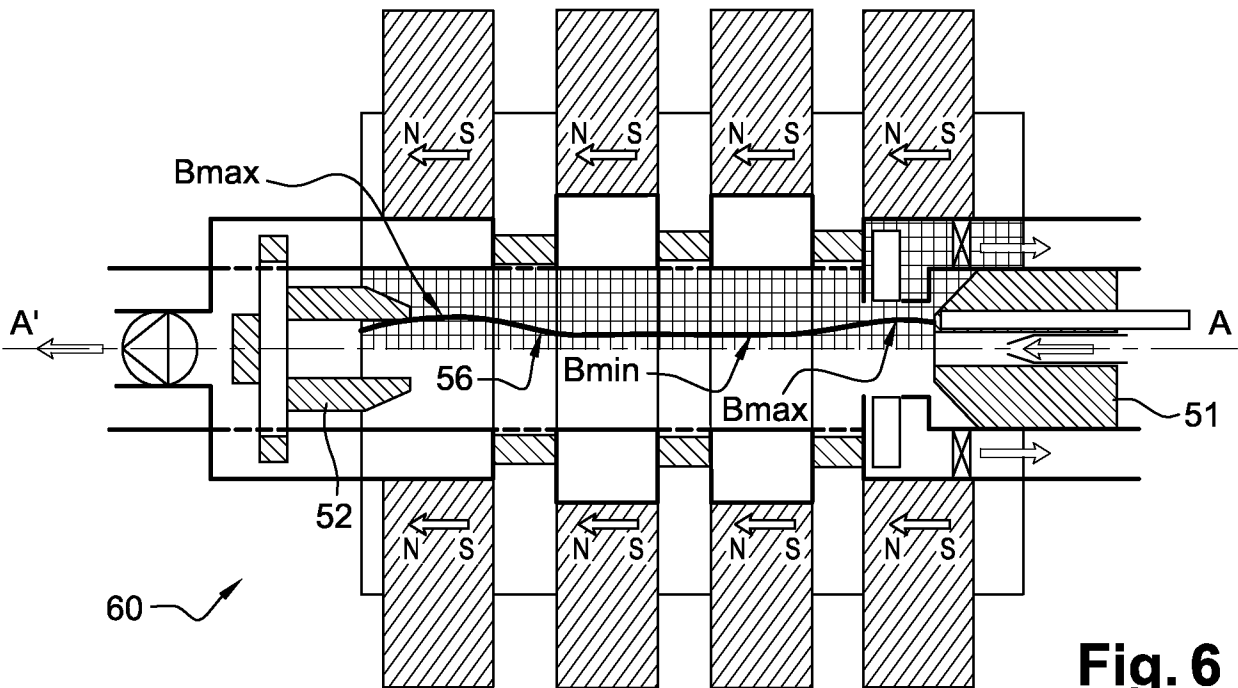
**Fig. 3**



**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**

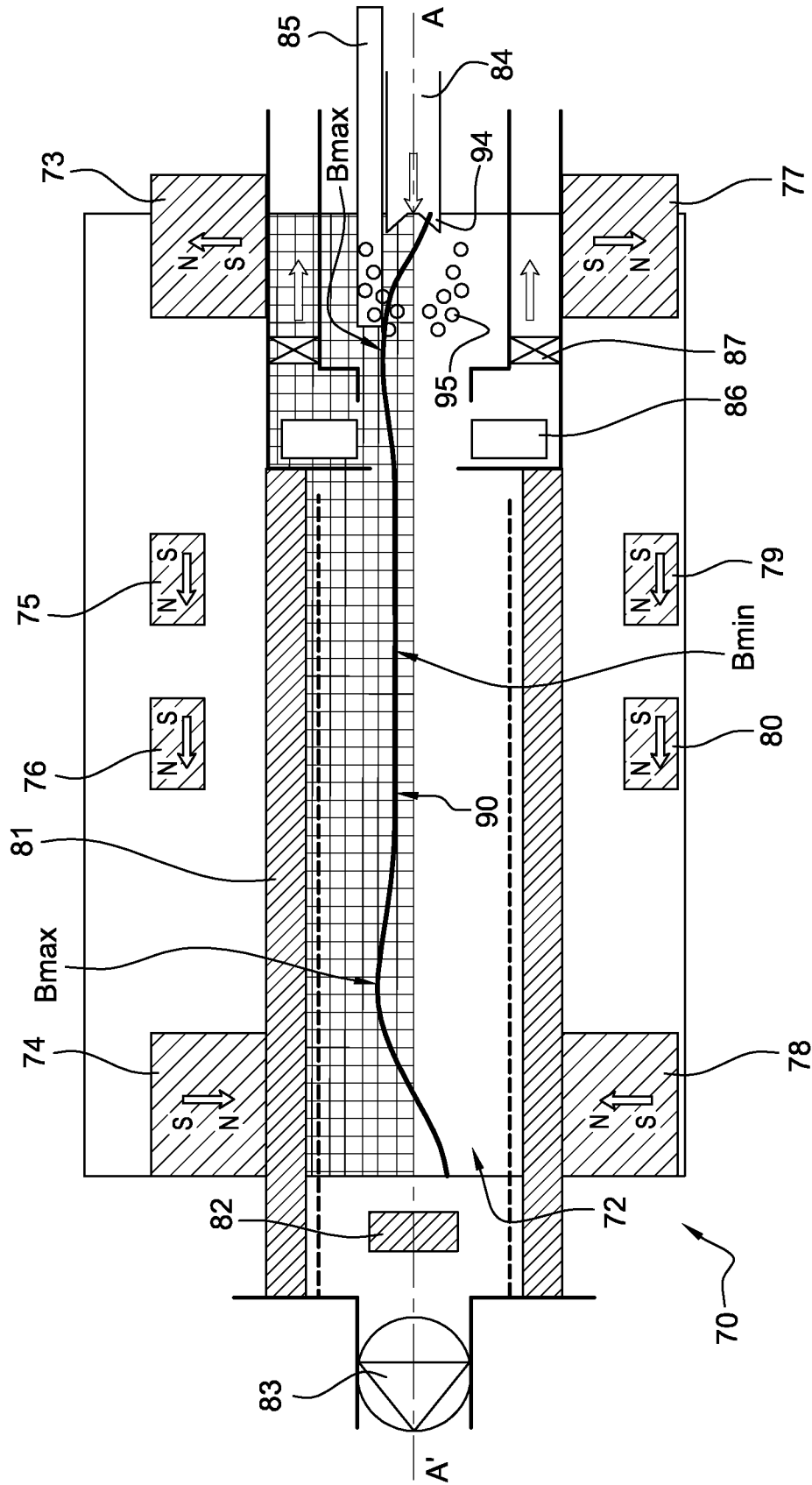


Fig. 7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/FR2009/051841

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
INV. C01B3/04 H05H1/46	C01B3/50	C01B13/02 B01J19/12 F25J3/06
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C01B B01J F25J H05H		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004/265137 A1 (BAR-GADDA RONNY [US]) 30 December 2004 (2004-12-30) cited in the application the whole document	1-29
A	DE 10 2004 030717 A1 (MAYER GUENTER [DE]) 19 January 2006 (2006-01-19)  paragraph [0111]	1-2, 4-7, 15, 17-18, 22-26
X	WO 2005/005009 A (BAR GADDA LLC [US]) 20 January 2005 (2005-01-20) cited in the application the whole document	1-29
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention	
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.	
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
10 February 2010	17/02/2010	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Engelen, Karen	

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/FR2009/051841

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 967 628 A (EHRET H P [DE]) 29 December 1999 (1999-12-29)  the whole document -----	1,8-14, 19-21, 27-29
A	FR 2 583 250 A (FRANCE ETAT [FR]) 12 December 1986 (1986-12-12)  the whole document -----	1,8-14, 19-21, 27-29
A	BOCKRIS J O'M ET AL: "On the splitting of water" INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V., BARKING, GB, vol. 10, no. 3, 1 January 1985 (1985-01-01), pages 179-201, XP025414060 ISSN: 0360-3199 [retrieved on 1985-01-01] page 182, left-hand column, line 29 - page 186, left-hand column, line 14 -----	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2009/051841

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2004265137 A1	30-12-2004	NONE	
<hr/>			
DE 102004030717 A1	19-01-2006	NONE	
<hr/>			
WO 2005005009 A	20-01-2005	CA 2572434 A1	20-01-2005
		EP 1765745 A2	28-03-2007
<hr/>			
EP 0967628 A	29-12-1999	NONE	
<hr/>			
FR 2583250 A	12-12-1986	DE 3675092 D1	29-11-1990
		EP 0209469 A1	21-01-1987
		JP 2021685 C	26-02-1996
		JP 7032072 B	10-04-1995
		JP 62031999 A	10-02-1987
		US 4745337 A	17-05-1988
<hr/>			

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2009/051841

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> INV. C01B3/04      C01B3/50      C01B13/02      B01J19/12      F25J3/06 H05H1/46		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b>		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) C01B B01J F25J H05H		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2004/265137 A1 (BAR-GADDA RONNY [US]) 30 décembre 2004 (2004-12-30) cité dans la demande le document en entier -----	1-29
A	DE 10 2004 030717 A1 (MAYER GUENTER [DE]) 19 janvier 2006 (2006-01-19)  alinéa [0111] -----	1-2, 4-7, 15, 17-18, 22-26
X	WO 2005/005009 A (BAR GADDA LLC [US]) 20 janvier 2005 (2005-01-20) cité dans la demande le document en entier -----	1-29
----- -/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents		
<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention	
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date	"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément	
"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)	"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier	
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens	"&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée  10 février 2010	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale  17/02/2010	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé  Engelen, Karen	

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>EP 0 967 628 A (EHRET H P [DE]) 29 décembre 1999 (1999-12-29)</p> <p>le document en entier</p> <p>-----</p>	<p>1,8-14, 19-21, 27-29</p>
A	<p>FR 2 583 250 A (FRANCE ETAT [FR]) 12 décembre 1986 (1986-12-12)</p> <p>le document en entier</p> <p>-----</p>	<p>1,8-14, 19-21, 27-29</p>
A	<p>BOCKRIS J O'M ET AL: "On the splitting of water" INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V., BARKING, GB, vol. 10, no. 3, 1 janvier 1985 (1985-01-01), pages 179-201, XP025414060 ISSN: 0360-3199 [extrait le 1985-01-01] page 182, colonne de gauche, ligne 29 - page 186, colonne de gauche, ligne 14</p> <p>-----</p>	<p>1</p>

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2009/051841

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2004265137 A1	30-12-2004	AUCUN	
DE 102004030717 A1	19-01-2006	AUCUN	
WO 2005005009 A	20-01-2005	CA 2572434 A1 EP 1765745 A2	20-01-2005 28-03-2007
EP 0967628 A	29-12-1999	AUCUN	
FR 2583250 A	12-12-1986	DE 3675092 D1 EP 0209469 A1 JP 2021685 C JP 7032072 B JP 62031999 A US 4745337 A	29-11-1990 21-01-1987 26-02-1996 10-04-1995 10-02-1987 17-05-1988