

(12) BREVET D'INVENTION BELGE

(47) Date de publication : 09/05/2022

(21) Numéro de demande : BE2020/5703

(22) Date de dépôt : 09/10/2020

(62) Divisé de la demande de base :

(62) Date de dépôt demande de base :

(51) Classification internationale : B01J 6/00, B01J 12/00, B01J 19/08, B01J 4/00, B01J 19/00

(30) Données de priorité :

(73) Titulaire(s) :

MATERIA NOVA asbl
ASBL
7000, MONS
Belgique

(72) Inventeur(s) :

MASERI Fabrizio
7000 MONS
Belgique

GODFROID Thomas
7000 MONS
Belgique

(54) RÉACTEUR À GAZ PLASMA

(57) La présente invention concerne un réacteur à plasma comprenant : un espace de réacteur, une entrée de gaz axiale appropriée pour un écoulement de fluide dans une direction axiale, ladite entrée axiale comprenant des fentes d'injection radiales pour décharger un jet de mélange gazeux dans ledit espace de réacteur, un disque de détente de gaz en aval, qui s'étend radialement à partir de l'entrée coaxiale et qui est situé en aval desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale, des moyens de génération de plasma appropriés pour ioniser un milieu gazeux dans ledit espace de réacteur, et un conteneur de réacteur cylindrique, coaxial avec ladite entrée de gaz, englobant ledit espace de réacteur, ledit conteneur de réacteur comprenant des moyens de sortie. L'invention concerne en outre un réacteur à plusieurs étages. L'invention concerne également l'utilisation dudit réacteur à plasma.

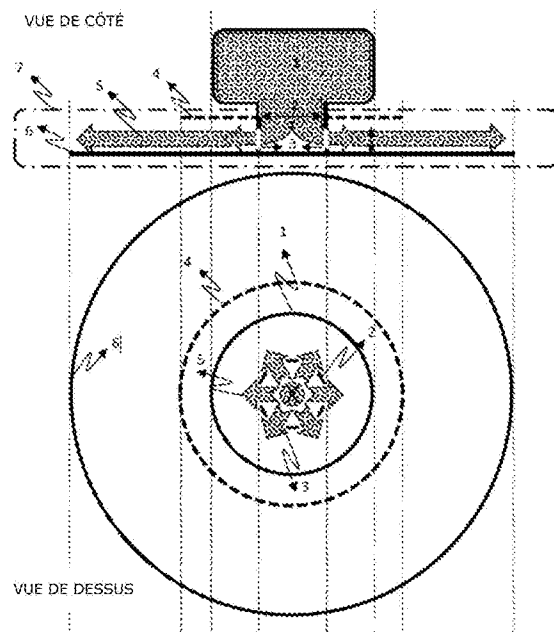


Figure 1.

RÉACTEUR À GAZ PLASMA

CHAMP DE L'INVENTION

- 5 La présente invention concerne un réacteur adapté aux réactions chimiques ainsi qu'à la création d'un plasma dans au moins une partie du réacteur. En particulier, le réacteur convient aux réactifs gazeux à haute pression.

ETAT DE L'ART

10

Il existe un certain nombre de méthodes et aussi de systèmes de décomposition des hydrocarbures en une partie carbone et en hydrogène. Les méthodes traditionnelles de production d'hydrogène à partir d'hydrocarbures dans un processus industriel concernent le reformage des hydrocarbures à la vapeur. Souvent, de l'air ou de l'oxygène est ajouté au mélange vapeur-hydrocarbures en déficit. Ces méthodes sont inefficaces car des parties importantes des hydrocarbures à convertir ont été utilisées comme sources d'énergie pour le processus, obtenant ainsi un faible facteur d'utilisation. En outre, le rendement a encore été réduit du fait que le processus de combustion n'était pas complet, ce qui a entraîné la production de monoxyde et de dioxyde de carbone, ainsi que d'oxydes d'azote en présence d'azote. Ces gaz résiduels issus des processus ne pourront pas être utilisés à d'autres fins que comme gaz combustible, ce qui entraînera le rejet de gaz polluants pour l'environnement. En outre, la séparation de l'hydrogène gazeux et des sous-produits gazeux peut être difficile et entraîner un coût supplémentaire.

25

La pyrolyse thermique conventionnelle des hydrocarbures naturels est une réaction d'équilibre activée thermiquement à des températures allant de 1200 à 2000 K. Cette méthode présente des performances énergétiques et de conversion limitées. Certaines utilisent un catalyseur pour fonctionner à une température plus basse (~ 1000 K) avec des rendements encore limités et entraînant d'autres problèmes tels que la désactivation du catalyseur en raison du dépôt de carbone. La régénération d'un tel catalyseur désactivé est consommatrice d'énergie et produit souvent une grande quantité de CO₂.

35

En ce qui concerne le facteur d'utilisation de la charge d'hydrocarbures, la pyrolyse au plasma s'est avérée beaucoup plus efficace et un certain nombre d'expériences ont été réalisées avec l'utilisation de torches à plasma. Comme mentionné dans

l'introduction, cela n'a toutefois pas permis d'obtenir une production industrielle continue en raison du faible rendement thermique, des faibles pressions d'entrée du méthane nécessaires pour obtenir un plasma stable, des faibles pressions de sortie de l'hydrogène nécessitant plusieurs étages de compresseurs et une grande quantité
5 d'énergie pour stocker et transporter l'hydrogène de manière industrielle.

EP 0 675 925 décrit une méthode et un dispositif pour la décomposition pyrolytique des hydrocarbures en une partie de carbone et en hydrogène. Un des problèmes de ce dispositif est l'utilisation d'une cuve de réaction standard. Pendant le
10 fonctionnement, de grandes sections de ce récipient de réaction n'atteignent pas les conditions appropriées pour la décomposition ou la réaction. En conséquence, le rendement du réacteur est assez faible. En outre, le réacteur fonctionne à des pressions trop faibles pour être applicables à une grande échelle industrielle.

15 US2003/0024806 décrit un réacteur à tourbillon de plasma. Cependant, ce réacteur à tourbillon de plasma est conçu pour les déchets municipaux comme source de carbone plutôt que d'hydrocarbures gazeux. De plus, le réacteur possède une petite zone de plasma réactif dans l'espace du réacteur. Par conséquent, un grand segment du réacteur n'est pas utilisé au maximum. L'efficacité de la réaction thermique et du
20 plasma est faible.

La présente invention vise à résoudre au moins certains des problèmes et inconvénients mentionnés ci-dessus. L'objectif de l'invention est de fournir une méthode qui élimine ces inconvénients. La présente invention vise à résoudre au
25 moins un des inconvénients mentionnés ci-dessus.

RÉSUMÉ DE L'INVENTION

La présente invention et ses concrétisations servent à apporter une solution à un ou
30 plusieurs des inconvénients mentionnés ci-dessus. À cette fin, la présente invention concerne un réacteur à plasma selon la revendication 1.

La conception du réacteur vise à améliorer :

- la superposition de plasma puissant et de gaz réactif pour obtenir à la fois une
35 haute densité de puissance et une bonne superposition plasma/gaz,
- une meilleure utilisation du plasma thermique, permettant l'utilisation de sources concentrées qui sont généralement associées à des pertes radiatives

- élevées et à une énergie fatale importante ainsi qu'à des coûts de matériaux onéreux en raison des températures très élevées,
- permettent l'utilisation de gaz (industriel) à haute pression, comme 20 bars et plus, dans un système de réacteur à plasma. Les conceptions GLIDARC peuvent fonctionner à des pressions allant jusqu'à 10 bars maximum ; les torches à plasma thermique fonctionnent généralement à la pression atmosphérique ou en dessous,
 - permettre l'utilisation de matériaux moins chers en évitant les effets thermiques et chimiques sur la cuve du réacteur,
 - permettre un fonctionnement sûr et sécurisé malgré des températures élevées, un plasma et des espèces ioniques très réactifs et éventuellement des tensions élevées selon les moyens de génération du plasma,
 - permettent de passer facilement d'un réacteur à un seul étage à des réacteurs à étages multiples afin d'augmenter facilement le débit du réacteur sans avoir à le reconcevoir.

Les modes de réalisation préférés de l'appareil sont indiqués dans les revendications 2 à 11.

- Une incarnation préférée spécifique se rapporte à une invention selon la revendication 3. Ces réacteurs à plasma présentent un chevauchement important entre le plasma et le gaz réactif. En outre, le réacteur favorise la conversion de la pression du gaz d'entrée à une température élevée à l'intérieur du réacteur par dissipation cinétique. Ceci est le résultat de la géométrie plane du réacteur. En conséquence, l'efficacité de la réaction du plasma ainsi que l'efficacité thermique sont considérablement améliorées.

Dans un second aspect, l'invention concerne un réacteur à plasma à plusieurs étages selon la revendication 12.

- Dans un troisième aspect, l'invention concerne l'utilisation d'un réacteur à plasma selon la revendication 13. Dans une incarnation privilégiée du deuxième aspect, l'invention concerne l'utilisation d'un réacteur à plasma selon la revendication 14 pour la pyrolyse du méthane en hydrogène par plasma.

- La conversion du méthane en hydrogène est actuellement réalisée industriellement par reformage à la vapeur, formant un mélange d'hydrogène, de CO et de CO₂. La pyrolyse par plasma du méthane en hydrogène et en noir de carbone permet

avantageusement une séparation facile entre l'hydrogène et le noir de carbone. Il n'y a pas de production de CO ou de CO₂ et la quantité d'hydrogène produite par unité de méthane est plus importante. Ceci est écologiquement souhaitable pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. En outre, la quantité d'énergie thermique (définie par l'enthalpie de réaction standard) nécessaire pour dissocier le CH₄ en H₂ et C est considérablement plus faible par unité de H₂ que le reformage du méthane à la vapeur ainsi que l'électrolyse de l'eau.

Une température élevée est nécessaire pour obtenir un équilibre réactionnel souhaitable (déplacé vers les produits dissociés) ; mais la réaction de dissociation elle-même absorbe une quantité d'énergie assez faible de l'environnement par rapport au reformage à la vapeur ou à la dissociation de l'eau (par exemple, l'électrolyse).

15 DESCRIPTION DES FIGURES

La numérotation suivante fait référence à :

- 1 Source de gaz à haute pression
- 2 Entrée de gaz axiale
- 20 3 Fentes d'injection radiales
- 4 Disque d'expansion de gaz en amont (facultatif)
- 5 Illustration de l'expansion possible du gaz dans l'espace du réacteur
- 6 Disque d'expansion de gaz en aval
- 7 Conteneur de réacteur cylindrique
- 25 8 Source d'ondes
- 9 Guide d'ondes et dispositif d'adaptation d'impédance adaptés pour ajuster et diriger les ondes.
- 10 Noyau interne du disque d'expansion de gaz en amont (électrode)
- 11 Revêtement externe ou revêtement du disque de détente du gaz en amont (diélectrique)
- 30 12 Noyau interne du disque d'expansion des gaz en aval (électrode)
- 13 Revêtement extérieur ou revêtement du disque de détente du gaz en aval (diélectrique)
- 14 Illustration du plasma hybride à arc glissant
- 35 15 15.I et 15.II est la paire d'électrodes entre lesquelles le plasma hybride à arc glissant est généré.

La **figure 1** montre une vue de côté en coupe et une vue de dessus en coupe d'une incarnation d'un réacteur à plasma selon la présente invention.

La **figure 2** montre une vue de côté en coupe d'une incarnation d'un réacteur à plasma à un ou plusieurs étages selon la présente invention.

5 La **figure 3** montre une vue de côté en coupe d'une incarnation d'un réacteur à plasma avec génération de plasma d'ondes.

La **figure 4A** montre une vue de côté en coupe d'un réacteur à plasma avec génération de plasma par décharge à barrière diélectrique (DBD).

10 La **figure 4B** montre une vue de dessus en coupe transversale d'un réacteur à plasma avec génération de plasma par décharge à barrière diélectrique (DBD).

La **figure 4C** montre une vue latérale en coupe d'un disque d'expansion de gaz en aval et d'un disque d'expansion de gaz en amont adaptés à la génération de plasma par décharge à barrière diélectrique (DBD).

15 La **figure 5A** montre une vue de dessus en coupe transversale d'un réacteur à plasma avec des moyens de génération de plasma à arc glissant.

La **figure 5B** montre une vue de dessus en coupe transversale d'un réacteur à plasma avec des moyens de génération de plasma à arc glissant pendant le fonctionnement.

20 La **figure 5C** montre une vue latérale en coupe d'un disque d'expansion de gaz en aval adapté à la génération de plasma à arc glissant.

La **figure 5D** montre une vue latérale en coupe d'un disque de détente de gaz en aval et d'un disque de détente de gaz en amont adaptés à la génération de plasma à arc glissant.

25 La **figure 6A** montre une vue de dessus en coupe transversale d'un réacteur à plasma sans ailettes.

La **figure 6B** montre une vue de dessus en coupe transversale d'un réacteur à plasma à aubes.

30 La **figure 7A** présente un graphique représentant le rapport entre les forces dissipatives et les forces inertielles du gaz en expansion dans l'espace du réacteur en fonction de la largeur H entre un disque d'expansion amont et un disque d'expansion aval (m).

La **figure 7B** présente un graphique représentant le rapport entre les forces dissipatives et les forces inertielles du gaz en expansion dans l'espace du réacteur en fonction de la vitesse du gaz (m/s).

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE L'INVENTION

La présente invention concerne un réacteur adapté aux réactions chimiques ainsi que la création d'un plasma dans au moins une partie du réacteur.

5

Sauf définition contraire, tous les termes utilisés dans la divulgation de l'invention, y compris les termes techniques et scientifiques, ont le sens qui leur est communément donné par l'une des compétences ordinaires dans l'art auquel appartient cette invention. Des définitions de termes sont incluses à titre indicatif pour mieux
10 apprécier l'enseignement de la présente invention.

Dans le présent document, les termes suivants ont la signification suivante :

Les termes "Un", "une" et "le/la/les" utilisés dans le présent document renvoient à la
15 fois au singulier et au pluriel, à moins que le contexte n'indique clairement le contraire. À titre d'exemple, "un compartiment" désigne un ou plusieurs compartiments.

Les termes "comprend", "comprend", et "comprend" et "composé de", tels qu'ils sont
20 utilisés dans le présent document, sont synonymes de "comprend", "y compris", "inclut" ou "contient", "contenant", "contient" et sont des termes inclusifs ou non limitatifs qui précisent la présence de ce qui suit, par exemple un composant, et n'excluent pas ou n'excluent pas la présence de composants, caractéristiques, éléments, membres, étapes supplémentaires, connus dans la technique ou divulgués
25 dans celle-ci.

En outre, les termes premier, deuxième, troisième et autres dans la description et dans les revendications, sont utilisés pour distinguer des éléments similaires et pas nécessairement pour décrire un ordre séquentiel ou chronologique, sauf indication
30 contraire. Il est entendu que les termes ainsi utilisés sont interchangeable dans des circonstances appropriées et que les éléments constitutifs de l'invention décrits dans le présent document peuvent fonctionner dans d'autres séquences que celles décrites ou illustrées dans le présent document.

35 La récitation des plages numériques par les paramètres comprend tous les nombres et fractions subsumés dans cette plage, ainsi que les paramètres récités.

Alors que les termes "un ou plusieurs" ou "au moins un", tels qu'un ou plusieurs ou au moins un membre d'un groupe de membres, sont clairs en *soi*, par le biais d'une nouvelle illustration, le terme englobe *entre autres une* référence à l'un quelconque desdits membres, ou à deux ou plusieurs desdits membres, tels que, par *exemple*,
5 tout ≥ 3 , ≥ 4 , ≥ 5 , ≥ 6 ou ≥ 7 etc. desdits membres, et jusqu'à tous lesdits membres.

Sauf définition contraire, tous les termes utilisés dans la divulgation de l'invention, y compris les termes techniques et scientifiques, ont le sens qui leur est communément donné par l'une des compétences ordinaires dans l'art auquel appartient cette
10 invention. Des définitions des termes utilisés dans la description sont incluses à titre indicatif afin de mieux apprécier l'enseignement de la présente invention. Les termes ou définitions utilisés dans le présent document sont fournis uniquement pour aider à la compréhension de l'invention.

15 La référence à "une forme de réalisation" ou "une forme de réalisation" dans cette spécification signifie qu'une caractéristique particulière, une structure ou un caractère décrit en relation avec la forme de réalisation est inclus dans au moins une forme de réalisation de la présente invention. Ainsi, les expressions "dans une forme de réalisation" ou "dans une forme de réalisation" qui apparaissent à divers endroits de
20 la présente description ne se réfèrent pas nécessairement toutes à la même forme de réalisation, mais peuvent le faire. En outre, les traits, structures ou caractéristiques particuliers peuvent être combinés de toute manière appropriée, comme cela apparaîtrait à l'homme du métier à partir de la présente divulgation, en une ou plusieurs incarnations. En outre, si certaines formes de réalisation décrites
25 dans le présent document comprennent certaines caractéristiques, mais pas d'autres, incluses dans d'autres formes de réalisation, les combinaisons de caractéristiques de différentes formes de réalisation sont censées entrer dans le champ d'application de l'invention et former différentes formes de réalisation, au sens où l'entendent les spécialistes. Par exemple, dans les revendications suivantes, n'importe laquelle des
30 incarnations revendiquées peut être utilisée dans n'importe quelle combinaison.

Dans un premier temps, l'invention concerne un réacteur à plasma comprenant :

- un espace de réacteur,
- une entrée de gaz axiale adaptée à un écoulement de fluide dans une direction
35 axiale, ladite entrée axiale comprenant des fentes d'injection radiales pour décharger un jet de mélange gazeux dans ledit espace du réacteur,

- un disque de détente de gaz en aval, qui s'étend radialement à partir de l'entrée coaxiale et qui est situé en aval desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale,
 - des moyens de génération de plasma adaptés pour ioniser un milieu gazeux dans ledit espace du réacteur, et
 - un conteneur de réacteur cylindrique, coaxial avec ladite entrée de gaz, englobant ledit espace de réacteur, ledit conteneur de réacteur comprenant des moyens de sortie.
- 10 Dans une réalisation privilégiée de l'invention, ledit réacteur à plasma comprend en outre un disque d'expansion de gaz en amont, qui s'étend radialement depuis l'entrée coaxiale et est situé en amont desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale.
- 15 Dans une autre variante de l'invention, la largeur H entre le disque de détente de gaz en aval et le disque de détente de gaz en amont est inférieure à 100 cm, de préférence inférieure à 75 cm, de préférence inférieure à 50 cm, de préférence inférieure à 25,00 cm, de préférence inférieure à 20,00 cm, de préférence inférieure à 10,00 cm, de préférence inférieure à 8,00 cm, de préférence inférieure à 6.00 cm,
- 20 de préférence plus bas que 5,00 cm, de préférence plus bas que 4,00 cm, de préférence plus bas que 3,00 cm, de préférence plus bas que 2,00 cm, de préférence plus bas que 1,00 cm, de préférence plus bas que 0,80 cm, de préférence plus bas que 0,60 cm, de préférence plus bas que 0,50 cm, de préférence plus bas que 0,40 cm, de préférence plus bas que 0,30 cm, de préférence plus bas que 0,25 cm, de
- 25 de préférence plus bas que 0,20 cm.

Dans une version privilégiée de l'invention, ledit disque d'expansion de gaz en amont est doté de moyens d'échange de chaleur. Dans une autre variante de l'invention, le disque d'expansion de gaz en aval est équipé de moyens d'échange de chaleur. Dans

30 une autre variante de l'invention, le disque d'expansion de gaz en amont et le disque d'expansion de gaz en aval sont tous deux dotés de moyens d'échange de chaleur. Les moyens d'échange de chaleur sont connus dans l'art. Dans une version privilégiée, les disques d'expansion de gaz sont munis de passages de fluide creux. Ces passages de fluide peuvent être utilisés pour chauffer un fluide, tel que l'eau. Le

35 refroidissement est avantageux car la gestion thermique de l'espace du réacteur permet de maintenir sa durabilité et de réduire les coûts de production. En outre, la

récupération de la chaleur améliore l'efficacité thermique du réacteur à plasma et réduit ses coûts d'exploitation.

5 Dans une version plus privilégiée, le disque d'expansion de gaz en aval et le disque d'expansion de gaz en amont sont adaptés aux zones de plasma thermique (dissociation) et aux zones à fort échange thermique (trempe, recombinaison, condensation). De préférence, les zones de plasma thermique sont adaptées aux échanges thermiques limités, y compris les matériaux et/ou les revêtements à conductivité thermique limitée. De préférence, les zones à fort échange thermique 10 conviennent à un échange thermique élevé. Particulièrement les matériaux à conductivité thermique, mais aussi les moyens d'échange de chaleur. De préférence, la zone de plasma thermique est radialement plus proche de l'entrée de gaz axiale que la zone d'échange de chaleur élevé.

15 Dans une version privilégiée de l'invention, les fentes d'injection radiales sont munies d'ailettes s'étendant radialement. Dans une version préférée de la présente invention, les ailettes sont fixes. C'est-à-dire que les ailettes ne tournent pas, ne s'ajustent pas et ne se déplacent pas pendant le fonctionnement du réacteur à plasma. Divers types d'ailettes sont connus dans la technique et peuvent être utilisés dans le cadre de la 20 présente invention, notamment : les ailettes linéaires, les ailettes à profil aérodynamique, les ailettes détachées. Le but de ces aubes est de diriger le flux d'air en expansion dans une direction souhaitée grâce à l'effet Young-Coanda. En particulier, les aubes sont adaptées pour produire une expansion tourbillonnaire dans l'espace cylindrique du réacteur. Cela permet d'améliorer le mélange gaz-plasma, en 25 particulier le micromélange, et d'augmenter le temps de séjour ou le temps de contact des gaz dans la zone de plasma à l'intérieur du réacteur pour améliorer l'efficacité de la conversion physico-chimique.

30 Le moyen de génération de plasma décrit ici est de préférence choisi dans la liste suivante : une source d'onde, une décharge à barrière diélectrique, un arc glissant ou une combinaison de ces éléments. Chacun de ces modes de réalisation sera examiné plus en détail.

35 Dans une réalisation particulière, l'invention concerne un réacteur à plasma selon le premier aspect de l'invention, dans lequel le moyen de génération du plasma est une source d'ondes. Un plasma peut être formé à partir d'un ou de plusieurs gaz de traitement ou d'un mélange de gaz en appliquant un champ électrique à partir d'une

alimentation électrique, ce qui chauffe le mélange. Les sources d'ondes appropriées comprennent les ondes de moyenne fréquence, les ondes de radiofréquence (RF) ou les micro-ondes ; et peuvent être couplées de manière inductive ou capacitive. Ces techniques sont connues dans le milieu. Le réacteur à plasma selon la présente invention peut être utilisé avec des sources d'ondes en mode pulsé et en mode continu.

Dans une version privilégiée, le moyen de génération du plasma est une source de micro-ondes.

Dans une version privilégiée, le moyen de génération du plasma est une source d'ondes avec un guide d'ondes et un dispositif d'adaptation d'impédance. Dans une variante plus courante, on utilise des sources d'ondes multiples et des guides d'ondes et des dispositifs d'adaptation d'impédance. De préférence, ces guides d'ondes multiples et ces dispositifs d'adaptation d'impédance sont disposés radialement par rapport au réacteur. Les micro-ondes sont une source ponctuelle puissante. Le guide d'ondes et le boîtier d'adaptation d'impédance peuvent être utilisés pour injecter de la puissance là où c'est nécessaire sans avoir besoin d'électrodes dans le réacteur. L'interférence constructive peut être utilisée pour obtenir des zones de plasma à forte dissociation moléculaire. L'interférence destructive peut être utilisée pour réduire la densité de puissance dans d'autres zones.

20

Les ondes créées par la source d'ondes sont de préférence des ondes planes. Les ondes créées par la source d'ondes sont de préférence des ondes stationnaires. Les ondes stationnaires sont bien adaptées pour créer des zones de densité de puissance maximale et minimale en raison des interférences. Cela est particulièrement vrai lorsque plusieurs sources d'ondes sont utilisées. Les ondes stationnaires sont plus faciles à contrôler en ce qui concerne l'interférence ; surtout si l'on tient compte de l'injection vers l'avant / de la réflexion vers l'arrière. Ceci est bénéfique pour générer des zones de forte dissociation et des zones qui permettent une recombinaison efficace ; améliorant ainsi l'efficacité énergétique du réacteur.

30

Dans une concrétisation particulière du premier aspect, l'invention porte sur un réacteur à plasma comprenant :

- un espace de réacteur,
- une entrée de gaz axiale adaptée à un écoulement de fluide dans une direction axiale, ladite entrée axiale comprenant des fentes d'injection radiales pour décharger un jet de mélange gazeux dans ledit espace du réacteur,

35

- un disque de détente de gaz en aval, qui s'étend radialement à partir de l'entrée coaxiale et qui est situé en aval desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale,
- un conteneur de réacteur cylindrique, coaxial avec ladite entrée de gaz, englobant ledit espace de réacteur, ledit conteneur de réacteur comprenant des moyens de sortie,
- au moins une source d'ondes et
- au moins un guide d'onde et une boîte d'adaptation d'impédance configurés pour créer des ondes planes au moins partiellement dans l'espace du réacteur.

10

Dans une autre réalisation particulière, l'invention concerne un réacteur à plasma selon le premier aspect de l'invention, dans lequel le moyen de génération du plasma est une décharge à barrière diélectrique (DBD). Dans une réalisation préférée, le réacteur à plasma comprend à la fois un disque d'expansion de gaz en amont et un disque d'expansion de gaz en aval ayant un noyau ou une électrode interne électriquement conducteur et un revêtement diélectrique externe, approprié pour générer un plasma DBD. Le plasma DBD est généré en connectant une première électrode à un générateur haute tension (modes AC et DC pulsé) et en mettant à la terre la seconde électrode. Les matériaux appropriés pour les électrodes peuvent être choisis parmi l'acier inoxydable, les alliages métalliques réfractifs et les carbures conducteurs, sans toutefois s'y limiter. Les matériaux appropriés pour un revêtement diélectrique peuvent être choisis parmi Al_2O_3 , SiO_2 et ZrO_2 , mais ne sont pas limités à ceux-ci. L'avantage est que la puissance est répartie de manière homogène entre les électrodes. Cela conduit à un chevauchement important avec le gaz en expansion entre lesdites électrodes. De plus, cela permet de désigner une première zone avec un plasma froid, adaptée à la dissociation des réactifs, et une seconde zone sans plasma, adaptée à la condensation et à la recombinaison. Ces zones sont étroitement contrôlées par la géométrie des disques d'expansion de gaz en amont et en aval. En outre, le chevauchement entre la distribution de l'énergie et le gaz d'expansion est important en raison de la conception du réacteur.

30

Dans une concrétisation particulière du premier aspect, l'invention porte sur un réacteur à plasma comprenant :

- un espace de réacteur,
- une entrée de gaz axiale adaptée à un écoulement de fluide dans une direction axiale, ladite entrée axiale comprenant des fentes d'injection radiales pour décharger un jet de mélange gazeux dans ledit espace du réacteur,

35

- un disque de détente de gaz en aval, qui s'étend radialement à partir de l'entrée coaxiale et qui est situé en aval desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale,
- 5 - un disque de détente de gaz en amont, qui s'étend radialement à partir de l'entrée coaxiale et est situé en amont desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale, dans lequel le disque de détente de gaz en amont et le disque de détente de gaz en aval comprennent un noyau interne conducteur et un revêtement diélectrique externe, et
- 10 - un conteneur de réacteur cylindrique, coaxial avec ladite entrée de gaz, englobant ledit espace de réacteur, ledit conteneur de réacteur comprenant des moyens de sortie.

Dans une autre réalisation particulière, l'invention concerne un réacteur à plasma selon le premier aspect de l'invention, dans lequel le moyen de génération de plasma est la génération de plasma à arc glissant. Le plasma hybride à arc glissant est généré entre une paire d'électrodes. On utilise de préférence plusieurs paires d'électrodes (c'est-à-dire un nombre pair d'électrodes). Dans une version préférée, ces électrodes sont disposées sur un disque d'expansion de gaz en aval ou un disque d'expansion de gaz en amont. Dans une version, les paires d'électrodes peuvent être placées sur un disque d'expansion de gaz en aval. Dans une autre version, les paires d'électrodes peuvent être placées sur un disque d'expansion de gaz en amont. Dans une autre variante, la première électrode des paires d'électrodes peut être placée sur un disque d'expansion de gaz en amont et la deuxième électrode des paires d'électrodes peut être placée sur un disque d'expansion de gaz en aval. De préférence, les électrodes sont en forme de fil et orientées radialement. De préférence, les électrodes ont un diamètre de 0,05 mm à 2,00 mm, plus préférablement de 0,10 mm à 1,00 mm. Le nombre de paires d'électrodes, leur géométrie (localisation dans le réacteur, longueur, ...) et la puissance électrique (tension et courant) déterminent la densité de puissance dans le gaz en expansion. Les électrodes sont faites de matériaux conducteurs et résistants à la température. Ces matériaux peuvent être choisis parmi l'acier inoxydable, les alliages métalliques à haute température de fusion, les matériaux conducteurs et les céramiques (c'est-à-dire le carbone), mais ne sont pas limités à ceux-ci. La gestion de la distribution de l'énergie électrique et du rapport tension/courant est essentielle.

35 Cela peut être réalisé en connectant des paires d'électrodes en parallèle (courant élevé divisé entre toutes les paires d'électrodes) et en série (chutes de courant et de tension uniques à chaque paire d'électrodes).

Les réacteurs à arc glissant peuvent fonctionner avec différentes sources de tension, y compris, mais sans s'y limiter, avec des courants continus, des courants continus pulsés, des courants alternatifs monophasés, triphasés et multiphasés. Les courants peuvent être pulsés, par exemple en courant continu pulsé pour augmenter la puissance de crête, avec une haute fréquence correspondant de préférence à l'impédance de l'arc.

Dans une autre concrétisation particulière du premier aspect, l'invention porte sur un réacteur à plasma comprenant :

- 10 - un espace de réacteur,
- une entrée de gaz axiale adaptée à un écoulement de fluide dans une direction axiale, ladite entrée axiale comprenant des fentes d'injection radiales pour décharger un jet de mélange gazeux dans ledit espace du réacteur,
- un disque de détente de gaz en aval, qui s'étend radialement à partir de l'entrée coaxiale et qui est situé en aval desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale, dans lequel au moins une paire d'électrodes a été déposée sur ledit disque de détente de gaz en aval, et
- 15 - un conteneur de réacteur cylindrique, coaxial avec ladite entrée de gaz, englobant ledit espace de réacteur, ledit conteneur de réacteur comprenant des moyens de
- 20 sortie.

Dans une autre concrétisation particulière du premier aspect, l'invention porte sur un réacteur à plasma comprenant :

- un espace de réacteur,
- 25 - une entrée de gaz axiale adaptée à un écoulement de fluide dans une direction axiale, ladite entrée axiale comprenant des fentes d'injection radiales pour décharger un jet de mélange gazeux dans ledit espace du réacteur,
- au moins une paire d'électrodes comprenant une première et une seconde électrode,
- 30 - un disque de détente de gaz en aval, qui s'étend radialement depuis l'entrée coaxiale et est situé en aval desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale, dans lequel la première électrode est déposée sur ledit disque de détente de gaz en aval,
- un disque d'expansion de gaz en amont, qui s'étend radialement depuis l'entrée coaxiale et est situé en amont desdites fentes d'injection radiales par rapport à
- 35 ladite direction axiale, dans lequel la deuxième électrode est déposée sur ledit disque d'expansion de gaz en amont, et

- un conteneur de réacteur cylindrique, coaxial avec ladite entrée de gaz, englobant ledit espace de réacteur, ledit conteneur de réacteur comprenant des moyens de sortie.

5 Dans un second aspect, la présente invention concerne un réacteur à plasma à plusieurs étages comprenant au moins une cellule de réacteur à plasma selon le premier aspect de l'invention. De préférence, le réacteur à plasma multi-étages comprend un empilement de réacteurs à plasma selon le premier aspect de l'invention. Dans une version préférée, ledit réacteur à plasma multi-étages utilise
10 une seule entrée de gaz commune. Le réacteur planaire selon la présente invention peut avantageusement être empilé autour d'une seule entrée de gaz commune. Cela permet une mise à l'échelle pratique et facile. La mise à l'échelle peut en outre être utilisée de manière modulaire si cela est souhaité. En outre, le réacteur à plasma multi-étages dans son ensemble n'a pas la forme plane d'un seul étage et peut être
15 conçu pour mieux s'adapter à l'espace disponible ou aux contraintes de conception, tout en conservant les avantages de l'efficacité améliorée de la réaction thermique et du plasma associée à la forme plane d'un seul étage.

Dans un troisième aspect, la présente invention concerne l'utilisation d'un réacteur à
20 plasma selon le premier aspect de l'invention ou d'un réacteur à étages multiples selon le deuxième aspect de la présente invention.

Dans une incarnation privilégiée du troisième aspect, le réacteur à plasma est utilisé pour les réactions thermiques de dissociation des gaz. Les exemples appropriés
25 comprennent, sans s'y limiter, la dissociation thermique des hydrocarbures, H_2S , H_2Se , etc.

Dans une autre incarnation privilégiée du troisième aspect, le réacteur à plasma est utilisé pour les réactions chimiques gazeuses. Dans une autre variante, la réaction
30 peut être utilisée pour permettre des réactions de type Sabatier en l'absence de catalyseur, c'est-à-dire le reformage du CO_2 et de l'hydrogène en hydrocarbures et/ou le reformage de l'azote et de l'hydrogène en ammoniac.

La présente invention porte sur l'utilisation d'un réacteur à plasma selon le premier aspect de l'invention ou d'un réacteur à étages multiples selon le second aspect de
35 la présente invention pour la pyrolyse par plasma d'hydrocarbures, de préférence du méthane, en hydrogène et en noir de carbone. La décomposition pyrolytique par plasma d'hydrocarbures, tels que le méthane, en noir de carbone et en hydrogène

est connue. Cependant, de nombreux problèmes subsistent avec cette technologie. Par conséquent, l'hydrogène gris à l'échelle industrielle est généralement produit avec une quantité importante de CO₂ comme sous-produit par le reformage à la vapeur d'eau des hydrocarbures plutôt que par la pyrolyse au plasma des hydrocarbures. En particulier, les réacteurs à plasma connus dans la profession exigent de faibles pressions d'entrée des hydrocarbures et fournissent de l'hydrogène à une faible pression de sortie, ce qui ne convient pas pour une application industrielle. En outre, le rendement thermique des réacteurs est généralement faible. En général, le rendement est faible parce que les conditions propices à la décomposition des hydrocarbures et à la formation d'hydrogène et de noir de carbone ne se produisent que dans un petit segment de l'espace du réacteur. Le réacteur à plasma de la présente invention permet de surmonter ou d'améliorer plusieurs de ces problèmes. Toutefois, il est évident que l'invention ne se limite pas à cette application.

15

Le réacteur selon l'invention peut être utilisé dans toutes sortes de réactions à haute température, en particulier les réactions au plasma et les réactions au gaz.

L'invention est décrite plus en détail par les exemples non limitatifs suivants qui illustrent l'invention et ne sont pas destinés à limiter la portée de l'invention et ne doivent pas être interprétés comme tels.

20

La présente invention sera maintenant décrite plus en détail, en se référant à des exemples qui ne sont pas limitatifs.

25

EXEMPLES ET/ OU DESCRIPTION DES FIGURES

Dans le but de mieux illustrer les propriétés de l'invention, ce qui suit présente, à titre d'exemple et ne limitant en rien les autres applications potentielles, une description d'un certain nombre d'applications privilégiées de la méthode d'examen de l'état du coulis utilisé dans une connexion mécanique basée sur l'invention, dans laquelle

30

La figure 1 montre une vue latérale en coupe et une vue de dessus en coupe d'un réacteur à plasma. Le réservoir à haute pression 1 alimente l'entrée de gaz axiale 2 en réactifs gazeux ou vaporisés. La pression dans l'entrée de gaz axiale peut atteindre 20 à 50 bars. Ceci est avantageux car des pressions plus élevées permettent un débit

35

de gaz plus important. En outre, les gaz dans l'industrie sont généralement stockés et transférés à des pressions élevées. Il est avantageux d'utiliser au moins l'énergie potentielle du gaz pressurisé.

5 Le gaz sous pression entre dans l'espace du réacteur par les fentes d'injection radiales
3. Le flux de gaz en expansion 5 se dilate radialement dans l'espace du réacteur. Le
disque d'expansion de gaz 6 en aval favorise l'expansion du film de gaz grâce à l'effet
Young-Coanda. Le diamètre de ce disque peut être ajusté pour atteindre une pression
et une vitesse radiale souhaitées du gaz en expansion. Il peut également être utilisé
10 pour régler avec précision la distribution de la puissance du plasma dans le réacteur.
Le disque d'expansion du gaz en amont, en option, aide également à former le flux
d'expansion du gaz et à ajuster la pression et la vitesse radiale du gaz. Les propriétés
du gaz peuvent en outre être ajustées en faisant varier le diamètre du disque de
dilatation du gaz en amont ainsi que la largeur H entre les disques de dilatation du
15 gaz en amont et en aval. L'espace du réacteur est délimité par une boîte externe 7,
munie de moyens de sortie du gaz (non aspiré).

La figure 2 montre une vue de côté en coupe d'une incarnation d'un réacteur à plasma
à un et plusieurs étages selon la présente invention. Plusieurs étages de réacteur à
20 plasma peuvent être empilés autour d'une entrée de gaz axiale étendue.

La figure 3 montre une incarnation d'un réacteur à plasma avec génération de plasma
d'ondes. Une source d'ondes ou magnétron 8 est utilisée pour générer des ondes.
Ces ondes sont guidées et ajustées à l'aide d'un guide d'ondes et d'une boîte
25 d'adaptation d'impédance 9. Plusieurs magnétrons et boîtes de guides d'ondes et
d'impédance peuvent être utilisés, de préférence dans une disposition radiale, pour
obtenir des transferts de puissance élevés par les ondes vers le gaz en extension. En
outre, le guide d'ondes et le boîtier d'adaptation d'impédance peuvent être configurés
pour des zones d'interférence constructive afin d'obtenir des zones dans l'espace du
30 réacteur avec une puissance absorbée élevée.

Les figures 4A, 4B et 4C illustrent l'incarnation d'un réacteur à plasma avec
génération de plasma par décharge à barrière diélectrique (DBD). La DBD nécessite
deux électrodes revêtues d'un matériau diélectrique. Dans une configuration
35 privilégiée, les électrodes sont les disques d'expansion de gaz en amont et en aval,
comme l'illustre la figure 4C. Le noyau du disque d'expansion de gaz en amont 10 et
du disque d'expansion de gaz en aval 12 est constitué d'un matériau conducteur tel

que l'acier inoxydable, les alliages métalliques réfractifs, les carbures conducteurs et les oxydes métalliques conducteurs. La surface externe du disque d'expansion des gaz en amont et du disque d'expansion des gaz en aval est revêtue d'un matériau diélectrique tel que Al_2O_3 , SiO_2 ou ZrO_2 . En appliquant un générateur de haute tension à une électrode 10 ou 12 et en mettant à la terre l'autre électrode, une décharge à barrière diélectrique est créée. Cette configuration est avantageuse car la puissance du plasma est générée de manière homogène à l'intérieur de l'espace intermédiaire entre les disques d'expansion du gaz vers le bas et vers le haut. De plus, il y a un chevauchement parfait avec la couche de gaz en expansion. En limitant la longueur des disques d'expansion de gaz ou des noyaux d'électrodes dans les disques d'expansion de gaz, une première zone de dissociation du plasma bien contrôlée peut être créée dans l'espace du réacteur, suivie d'une seconde zone de condensation et de recombinaison. Par exemple, le méthane peut être dissocié en hydrogène atomique, carbone et leurs ions dans la zone de dissociation et par conséquent condensé pour former de l'hydrogène gazeux H_2 et des nanopoudres de carbone dans la zone de condensation.

Les figures 5A et 5B illustrent une incarnation d'un réacteur à plasma avec des moyens de génération de plasma à arc glissant. Le plasma hybride à arc glissant est généré entre une paire d'électrodes 15.I et 15.II. Un arc électrique peut être allumé à l'intérieur de la couche de gaz dans l'espace du réacteur, de préférence près des fentes d'injection de gaz. Cela crée une zone de plasma thermique qui favorise une forte dissociation du gaz réactif (zone de dissociation). À mesure que le gaz se dilate radialement, la densité de puissance diminue, créant des zones avec un plasma plus froid et/ou sans plasma, ce qui permet le processus de condensation.

Le disque d'expansion de gaz en aval et le disque d'expansion de gaz en amont (en option) peuvent être utilisés avantageusement pour maintenir les électrodes 15.I et 15.II. La figure 5C illustre une réalisation de moyens de génération de plasma à arc glissant dans laquelle les deux électrodes 15.I et 15.II sont positionnées sur un disque d'expansion des gaz en amont 4. Dans une autre variante, les deux électrodes 15.I et 15.II peuvent être positionnées sur le disque d'expansion des gaz en aval 6. La figure 5D illustre une réalisation de moyens de génération de plasma à arc glissant dans laquelle une première électrode 15.I est positionnée sur le disque d'expansion des gaz en amont 4 et une seconde électrode 15.II est positionnée sur le disque d'expansion des gaz en aval. Les électrodes sont constituées d'un matériau conducteur qui peut résister à des températures élevées, comme un fil d'acier

inoxydable, divers alliages à haute température de fusion, des céramiques électriquement conductrices, etc. Les techniques de dépôt appropriées sont connues dans l'art. Les électrodes sont de préférence en forme de fil et positionnées dans une direction radiale. Les électrodes ont de préférence une épaisseur comprise entre 0,05 et 2 mm, plus préférentiellement entre 0,1 et 1 mm.

La figure 6A présente une vue en coupe d'une structure de réacteur à plasma sans aubes. La figure 6B présente une vue en coupe d'une structure de réacteur à plasma avec aubes. Des aubes statiques, de préférence fixées près des fentes d'injection de gaz sur le côté de l'espace du réacteur, peuvent être utilisées pour ajuster l'angle d'injection et le flux de réactifs gazeux dans l'espace du réacteur par l'effet Young-Coanda. En particulier, des tourbillons ou des turbulences peuvent être créés. Cela peut améliorer le mélange du gaz et du plasma dans le réacteur. Un écoulement tourbillonnaire a un trajet d'écoulement sensiblement accru à l'intérieur du réacteur, ce qui est associé à une plus grande réduction de la vitesse du gaz à l'intérieur dudit réacteur. Ceci est bénéfique pour permettre à l'entrée de gaz axiale de fonctionner à des pressions plus élevées.

Un graphique montrant le rapport entre les forces dissipatives et les forces inertielles P_P/P_K [-] dans l'espace du réacteur en fonction de la largeur H [m] entre un disque d'expansion amont et un disque d'expansion aval est présenté à la figure 7A. Il s'ensuit que la dissipation cinétique est élevée pour une faible largeur H . En particulier lorsque H est inférieure à 0,01 cm, les forces cinétiques sont supérieures aux forces d'inertie. Ce graphique suppose une vitesse maximale du gaz v_{max} de 340 m/s et un rayon du réacteur L de 0,5 m.

Un graphique représentant le rapport entre les forces dissipatives et les forces inertielles P_P/P_K [-] du gaz en expansion dans l'espace du réacteur en fonction de la vitesse du gaz (m/s) est présenté à la figure 7B. Ce graphique montre le cas de la largeur H [m] entre un disque de dilatation amont et un disque de dilatation aval de 1 cm et 0,25 cm respectivement. À des vitesses de gaz suffisamment faibles, une largeur H de 1 cm est suffisante pour une dissipation cinétique élevée. À des vitesses de gaz élevées, une dissipation cinétique élevée par rapport aux forces d'inertie peut être maintenue à une largeur H de 0,25 cm.

La présente invention n'est en aucun cas limitée aux incarnations décrites dans les exemples et/ou illustrées dans les figures. Au contraire, les méthodes selon la

présente invention peuvent être réalisées de nombreuses manières différentes sans s'écarter de la portée de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Réacteur à plasma comprenant :
 - un espace de réacteur,
 - 5 - une entrée de gaz axiale adaptée à un écoulement de fluide dans une direction axiale, ladite entrée axiale comprenant des fentes d'injection radiales pour décharger un jet de mélange gazeux dans ledit espace du réacteur,
 - 10 - un disque de détente de gaz en aval, qui s'étend radialement à partir de l'entrée coaxiale et qui est situé en aval desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale,
 - des moyens de génération de plasma adaptés pour ioniser un milieu gazeux dans ledit espace du réacteur, et
 - 15 - un conteneur de réacteur cylindrique, coaxial avec ladite entrée de gaz, englobant ledit espace de réacteur, ledit conteneur de réacteur comprenant des moyens de sortie.

2. Réacteur à plasma selon la revendication 1, dans lequel ledit réacteur à plasma comprend en outre un disque d'expansion de gaz en amont, qui s'étend radialement depuis l'entrée coaxiale et est situé en amont desdites
20 fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale.

3. Réacteur à plasma selon la revendication 2, dans lequel la largeur H entre le disque d'expansion de gaz en aval et le disque d'expansion de gaz en amont est inférieure à 10 cm, de préférence inférieure à 5 cm, plus préférablement
25 inférieure à 1 cm.

4. Réacteur à plasma selon l'une des revendications 1-3, dans lequel ledit disque d'expansion de gaz en amont est muni de moyens d'échange de chaleur.

- 30 5. Réacteur à plasma selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel ledit disque d'expansion de gaz en aval est muni de moyens d'échange de chaleur.

6. Réacteur à plasma selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel les fentes d'injection radiales sont munies d'ailettes s'étendant radialement.
35

7. Réacteur à plasma selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le moyen de génération du plasma est choisi parmi la liste suivante : une source

d'ondes, une décharge à barrière diélectrique (DBD), un arc glissant ou une combinaison de ceux-ci.

8. Réacteur à plasma selon l'une des revendications 1-7, comprenant réacteur à plasma comprenant :
- 5 - un espace de réacteur,
 - une entrée de gaz axiale adaptée à un écoulement de fluide dans une direction axiale, ladite entrée axiale comprenant des fentes d'injection radiales pour décharger un jet de mélange gazeux dans ledit espace du réacteur,
 - 10 - un disque de détente de gaz en aval, qui s'étend radialement à partir de l'entrée coaxiale et qui est situé en aval desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale,
 - un conteneur de réacteur cylindrique, coaxial avec ladite entrée de gaz, englobant ledit espace de réacteur, ledit conteneur de réacteur comprenant des moyens de sortie,
 - 15 - au moins une source d'ondes et
 - au moins un guide d'onde et une boîte d'adaptation d'impédance configurés pour créer des ondes planes au moins partiellement dans l'espace du réacteur.
- 20
9. Réacteur à plasma selon l'une des revendications 1-7, comprenant réacteur à plasma comprenant :
- un espace de réacteur,
 - une entrée de gaz axiale adaptée à un écoulement de fluide dans une direction axiale, ladite entrée axiale comprenant des fentes d'injection radiales pour décharger un jet de mélange gazeux dans ledit espace du réacteur,
 - 25 - un disque de détente de gaz en aval, qui s'étend radialement à partir de l'entrée coaxiale et qui est situé en aval desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale,
 - 30 - un disque de détente de gaz en amont, qui s'étend radialement à partir de l'entrée coaxiale et est situé en amont desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale, dans lequel le disque de détente de gaz en amont et le disque de détente de gaz en aval comprennent un noyau interne conducteur et un revêtement diélectrique externe, et
 - 35

- un conteneur de réacteur cylindrique, coaxial avec ladite entrée de gaz, englobant ledit espace de réacteur, ledit conteneur de réacteur comprenant des moyens de sortie.

5 10. Réacteur à plasma selon l'une des revendications 1-7, comprenant réacteur à plasma comprenant :

- un espace de réacteur,
- une entrée de gaz axiale adaptée à un écoulement de fluide dans une direction axiale, ladite entrée axiale comprenant des fentes d'injection radiales pour décharger un jet de mélange gazeux dans ledit espace du réacteur,
- un disque de détente de gaz en aval, qui s'étend radialement à partir de l'entrée coaxiale et qui est situé en aval desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale, dans lequel au moins une paire d'électrodes a été déposée sur ledit disque de détente de gaz en aval,
- un conteneur de réacteur cylindrique, coaxial avec ladite entrée de gaz, englobant ledit espace de réacteur, ledit conteneur de réacteur comprenant des moyens de sortie.

20 11. Réacteur à plasma selon l'une des revendications 1-7, comprenant réacteur à plasma comprenant :

- un espace de réacteur,
- une entrée de gaz axiale adaptée à un écoulement de fluide dans une direction axiale, ladite entrée axiale comprenant des fentes d'injection radiales pour décharger un jet de mélange gazeux dans ledit espace du réacteur,
- au moins une paire d'électrodes comprenant une première et une seconde électrode,
- un disque de détente de gaz en aval, qui s'étend radialement depuis l'entrée coaxiale et est situé en aval desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale, dans lequel la première électrode est déposée sur ledit disque de détente de gaz en aval,
- un disque d'expansion de gaz en amont, qui s'étend radialement depuis l'entrée coaxiale et est situé en amont desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale, dans lequel la deuxième électrode est déposée sur ledit disque d'expansion de gaz en amont, et

- un conteneur de réacteur cylindrique, coaxial avec ladite entrée de gaz, englobant ledit espace de réacteur, ledit conteneur de réacteur comprenant des moyens de sortie.

5 12. Réacteur à plasma à plusieurs étages comprenant un empilement de réacteurs à plasma selon l'une des revendications précédentes 1 à 11.

13. Utilisation d'un réacteur à plasma ou d'un réacteur à plasma à plusieurs étages selon l'une des revendications 1 à 12.

10

14. Utilisation d'un réacteur à plasma ou d'un réacteur à plasma à plusieurs étages selon l'une des revendications 1 à 12 pour la pyrolyse du méthane en hydrogène par plasma.

15

FIGURES

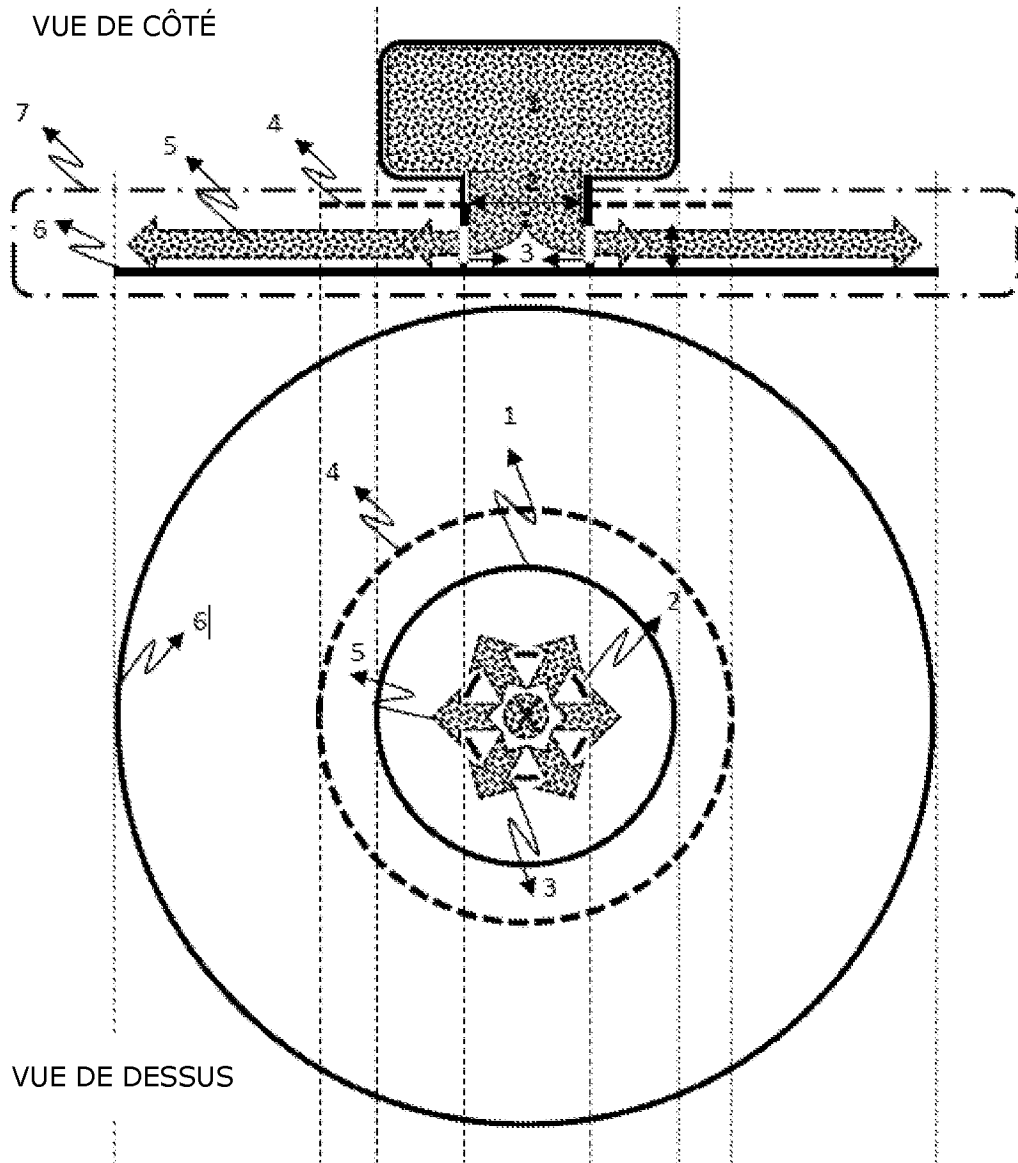


Figure 1

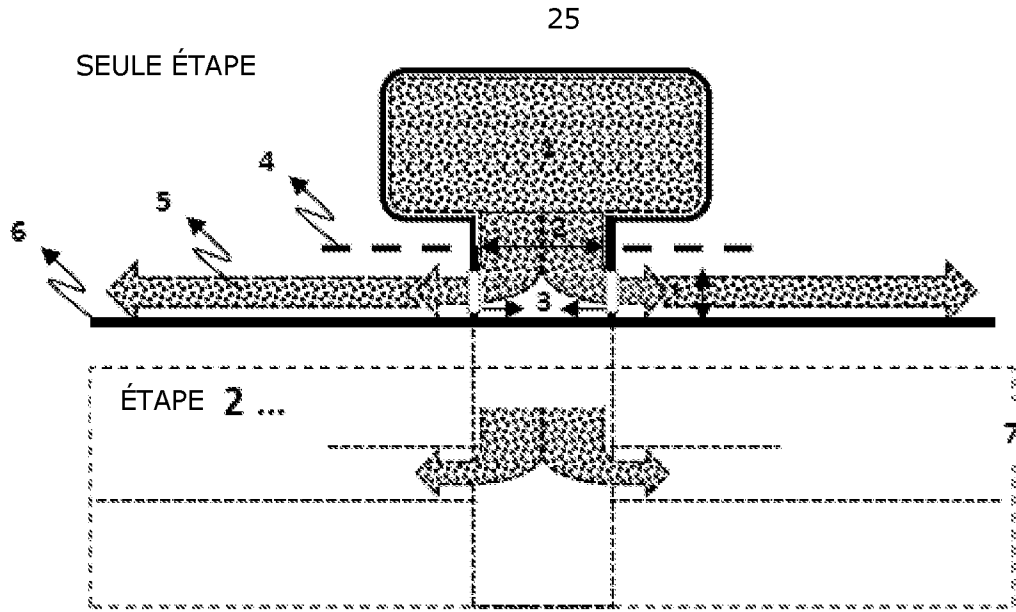


Figure 2

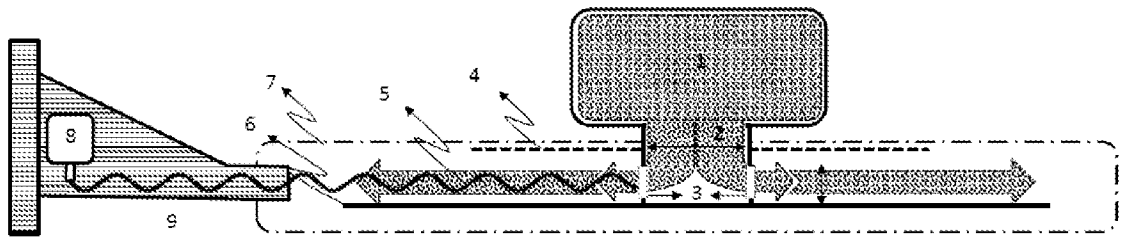


Figure 3

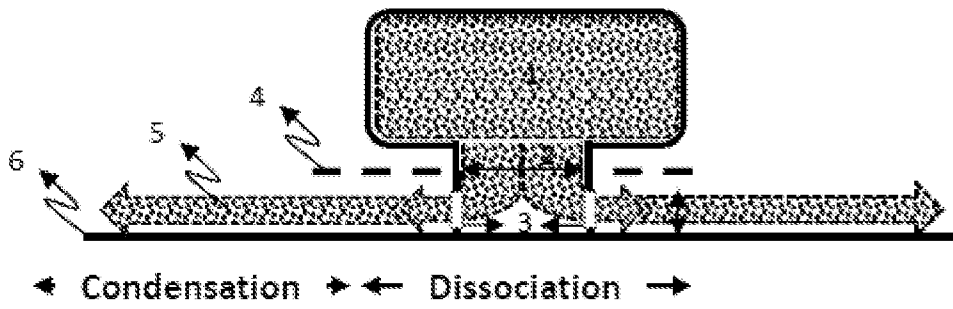


Figure 4A

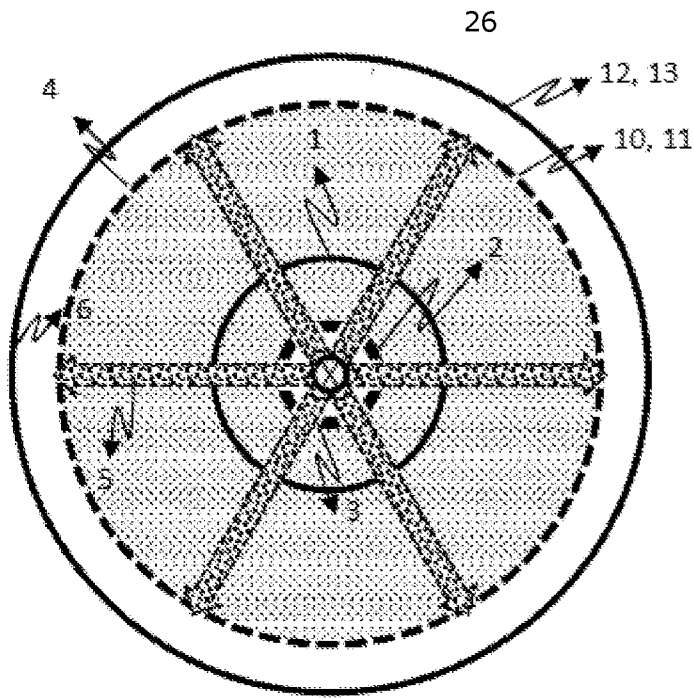


Figure 4B

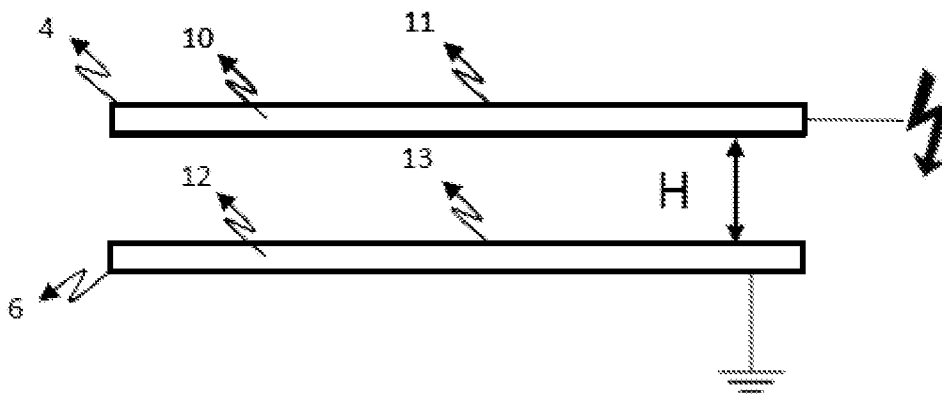


Figure 4C

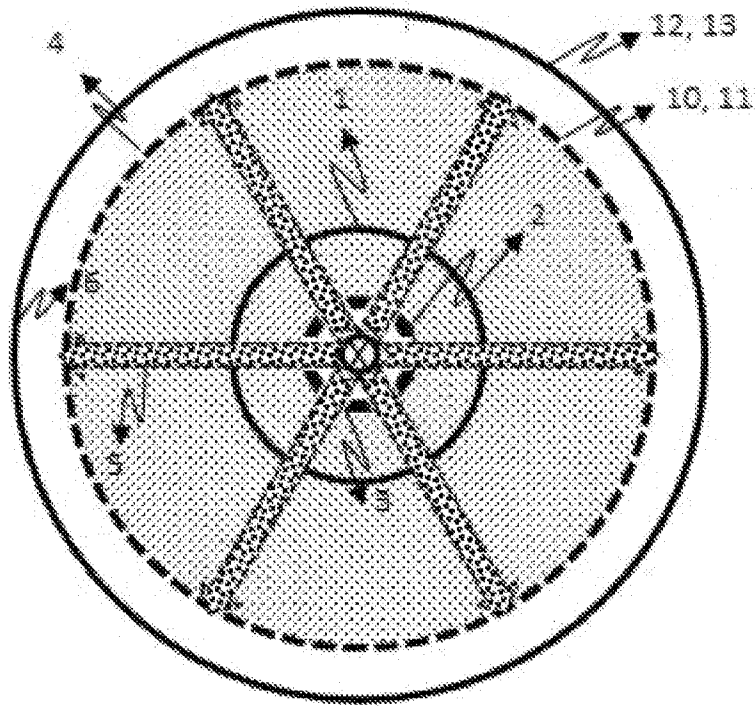


Figure 5A

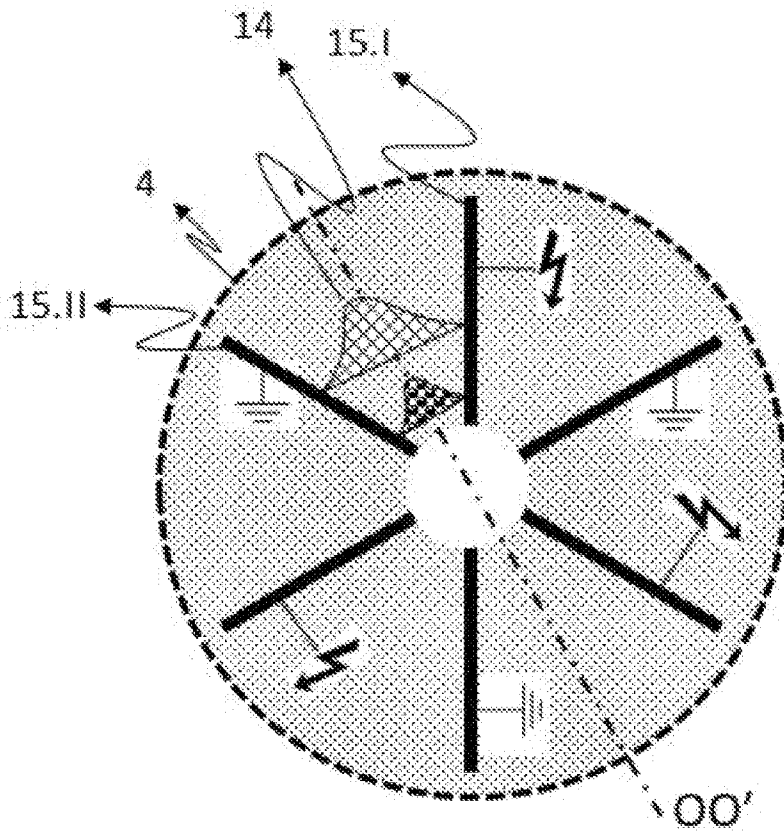


Figure 5B

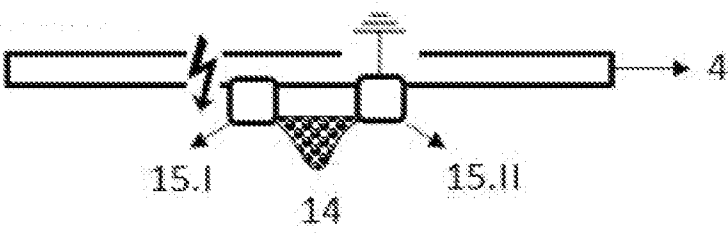


Figure 5C

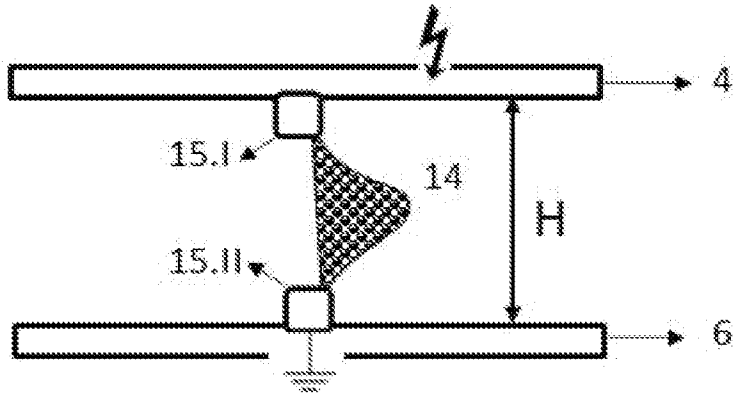


Figure 5D

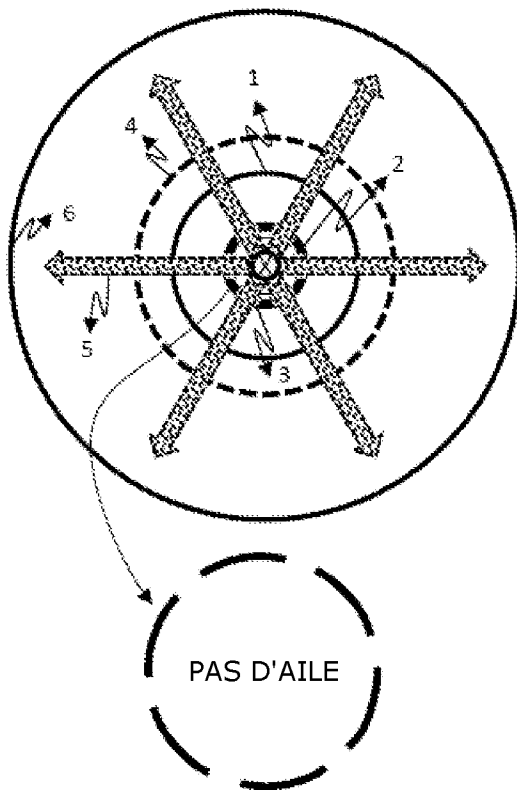


Figure 6A

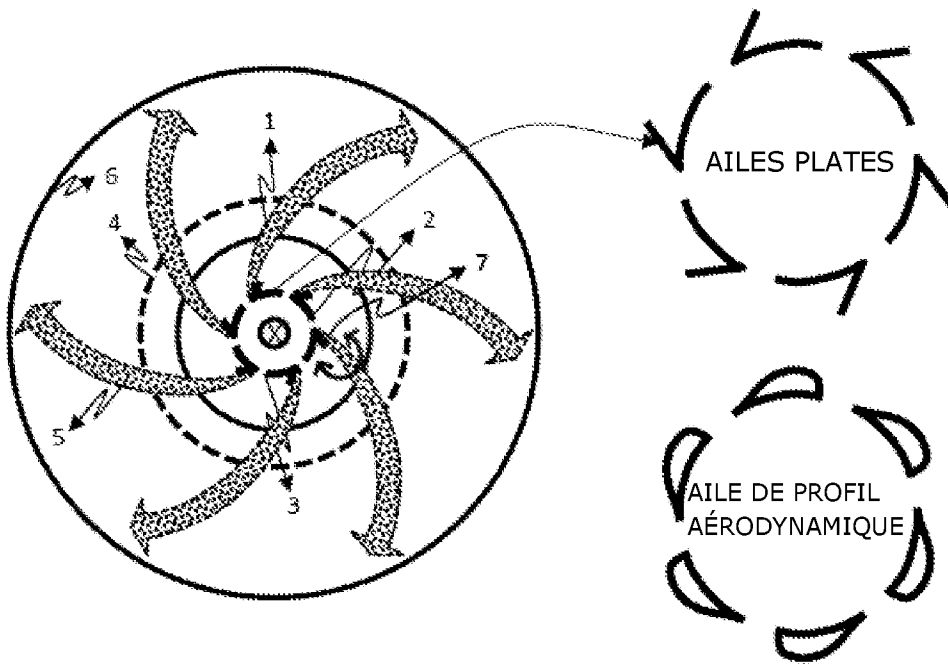


Figure 6B

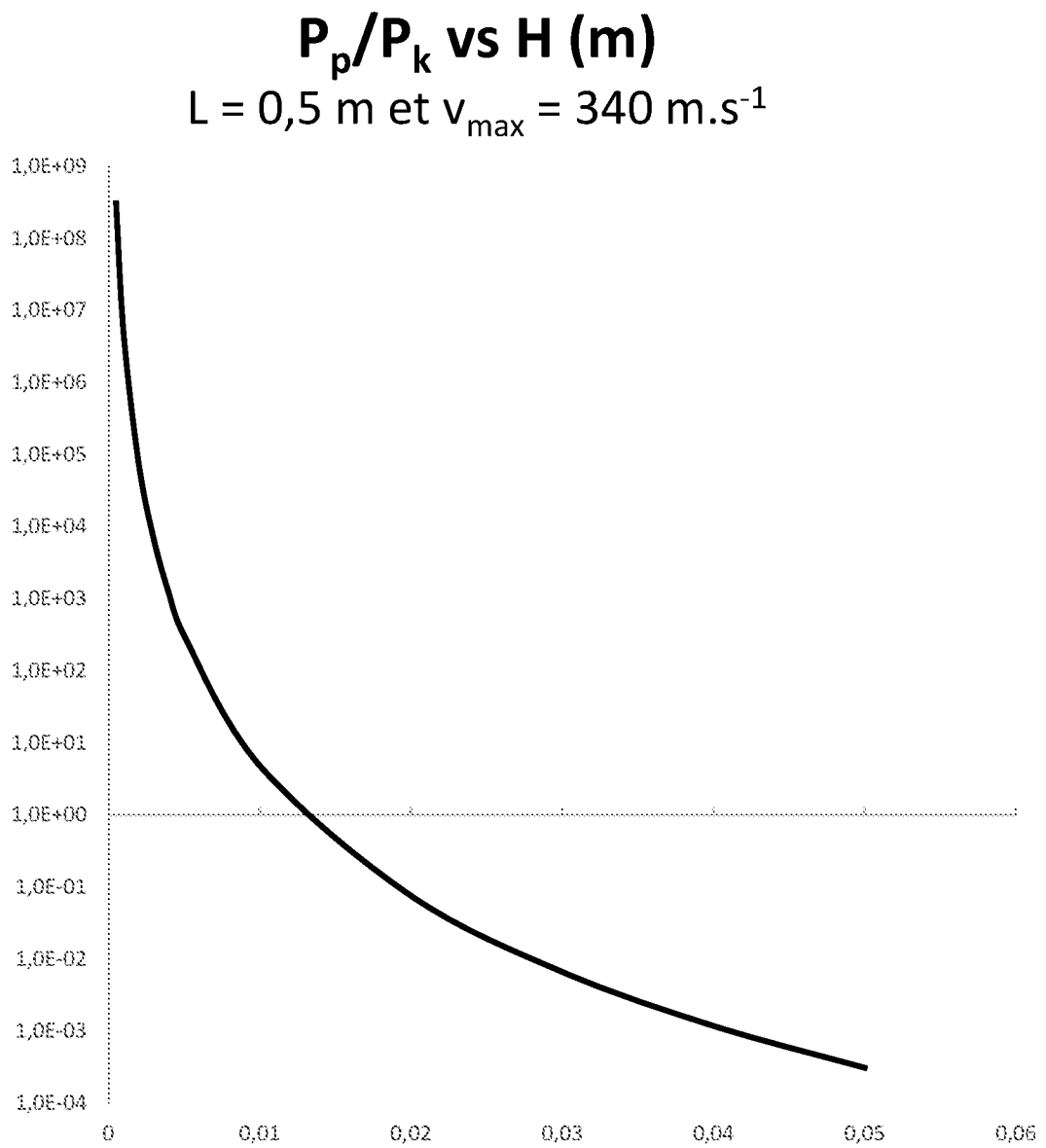


Figure 7A

P_p/P_k vs vitesse du gaz ($m.s^{-1}$)

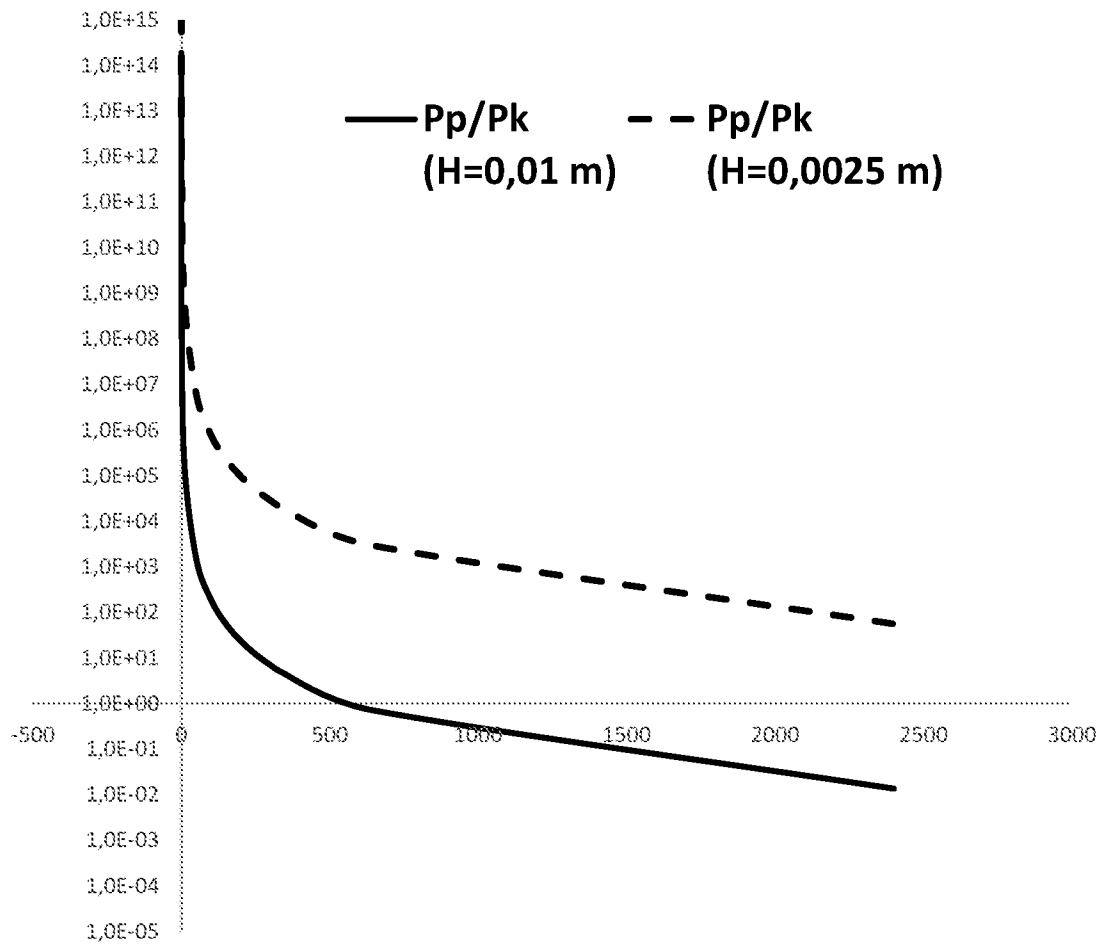


Figure 7B

TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL ÉTABLI EN VERTU DE L'ARTICLE XI.23., §10 DU CODE DE DROIT ÉCONOMIQUE BELGE

IDENTIFICATION DE LA DEMANDE INTERNATIONALE	REFERENCE DU DEPOSANT OU DU MANDATAIRE
Demande nationale belge n° 202005703	Date du dépôt 09-10-2020
	Date de priorité revendiquée
Déposant (Nom) MATERIA NOVA ASBL	
Date de la requête d'une recherche de type international 09-01-2021	Numéro attribué par l'administration chargée de la recherche internationale à la requête d'une recherche de type international SN77659
I. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE (en cas de plusieurs symboles de la classification, les indiquer tous)	
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB Voir rapport de recherche	
II. DOMAINES RECHERCHES	
Documentation minimale consultée	
Système de classification	Symboles de la classification
IPC	Voir rapport de recherche
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents font partie des domaines consultés	
III. <input type="checkbox"/> IL A ÉTÉ ESTIMÉ QUE CERTAINES REVENDECTIONS NE POUVAIENT FAIRE L'OBJET D'UNE RECHERCHE (Observations sur la feuille supplémentaire)	
IV. <input type="checkbox"/> ABSENCE D'UNITÉ DE L'INVENTION ET/OU CONSTATATION RELATIVE À L'ÉTENDUE DE LA RECHERCHE (Observations sur la feuille supplémentaire)	

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Demande de recherche No

BE 202005703

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. B01J6/00 B01J12/00 B01J19/08 B01J4/00 B01J19/00 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) B01J		
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 réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie °	Documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 2008/138117 A1 (PLASCO ENERGY GROUP INC [CA]; TSANGARIS ANDREAS [CA]; BACON MARC [CA]) 20 novembre 2008 (2008-11-20) * page 59, alinéa 3 - page 60, alinéa 4; revendications; figures 7-14, 20a, 26b, 29b, 32, 33, 66-77 * * page 36, alinéa 7 - page 37, alinéa 1 * * page 20, alinéa 5 - page 22, alinéa 4 * -----	1-14
A,D	EP 0 675 925 A1 (KVAERNER ENG [NO]) 11 octobre 1995 (1995-10-11) cité dans la demande * page 4, ligne 43 - page 5, ligne 2; figure 3a * -----	1-14
<input 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 "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date "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) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt 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 "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 "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 "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche de type international a été effectivement achevée 31 mai 2021		Date d'expédition du rapport de recherche de type international
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 Serra, Renato

RAPPORT DE RECHERCHE DE TYPE INTERNATIONAL

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande de recherche n

BE 202005703

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2008138117	A1	20-11-2008	AU 2008250931 A1 20-11-2008
			GB 2463850 A 31-03-2010
			PE 20090264 A1 04-04-2009
			WO 2008138117 A1 20-11-2008

EP 0675925	A1	11-10-1995	AU 5824094 A 19-07-1994
			CA 2149410 A1 07-07-1994
			CN 1090549 A 10-08-1994
			DE 69319621 T2 23-12-1999
			DZ 1741 A1 17-02-2002
			EP 0675925 A1 11-10-1995
			MA 23067 A1 01-07-1994
			NO 176969 B 20-03-1995
			US 5989512 A 23-11-1999
			WO 9414899 A1 07-07-1994



OPINION ÉCRITE

Dossier N° SN77659	Date du dépôt(<i>jour/mois/année</i>) 09.10.2020	Date de priorité (<i>jour/mois/année</i>)	Demande n° BE202005703
Classification internationale des brevets (CIB) INV. B01J6/00 B01J12/00 B01J19/08 B01J4/00 B01J19/00			
Déposant MATERIA NOVA ASBL			

La présente opinion contient des indications et les pages correspondantes relatives aux points suivants :

- Cadre n° I Base de l'opinion
- Cadre n° II Priorité
- Cadre n° III Absence de formulation d'opinion quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle
- Cadre n° IV Absence d'unité de l'invention
- Cadre n° V Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration
- Cadre n° VI Certains documents cités
- Cadre n° VII Irrégularités dans la demande
- Cadre n° VIII Observations relatives à la demande

Formulaire BE237A (feuille de couverture) (Janvier 2007)	Examineur Serra, Renato
--	----------------------------

OPINION ÉCRITE

Demande n°
BE202005703

Cadre n° I Base de l'opinion

1. Cette opinion a été établie sur la base des revendications déposées avant le commencement de la recherche.
2. En ce qui concerne **la ou les séquences de nucléotides ou d'acides aminés** divulguées dans la demande, le cas échéant, cette opinion a été effectuée sur la base des éléments suivants :
 - a. Nature de l'élément:
 - un listage de la ou des séquences
 - un ou des tableaux relatifs au listage de la ou des séquences
 - b. Type de support:
 - sur papier
 - sous forme électronique
 - c. Moment du dépôt ou de la remise:
 - contenu(s) dans la demande telle que déposée
 - déposé(s) avec la demande, sous forme électronique
 - remis ultérieurement
3. De plus, lorsque plus d'une version ou d'une copie d'un listage des séquences ou d'un ou plusieurs tableaux y relatifs a été déposée, les déclarations requises selon lesquelles les informations fournies ultérieurement ou au titre de copies supplémentaires sont identiques à celles initialement fournies et ne vont pas au-delà de la divulgation faite dans la demande internationale telle que déposée initialement, selon le cas, ont été remises.
4. Commentaires complémentaires :

OPINION ÉCRITE

Demande n°
BE202005703

Cadre n° V Opinion motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1. Déclaration

Nouveauté	Oui : Revendications	2, 3, 5, 6, 9-12
	Non : Revendications	1, 4, 7, 8, 13, 14
Activité inventive	Oui : Revendications	
	Non : Revendications	1-14
Possibilité d'application industrielle	Oui : Revendications	1-14
	Non : Revendications	

2. Citations et explications

voir feuille séparée

Cadre n° VIII Observations relatives à la demande

voir feuille séparée

Ad point VIII

Certaines observations relatives à la demande

Selon la description, le but de l'application semble être de fournir un appareillage capable de réduire les sections du volume réactionnel où les conditions d'une réaction par plasma ne sont pas satisfaites.

La définition (i) de la position des moyens de génération de plasma par rapport au disque d'expansion (ii), et de l'entrée coaxiale comme un conduit entouré par l'espace de réaction et par le disque d'expansion sont des caractéristiques essentielles de l'invention pour résoudre le problème technique sous-jacent à l'application.

Ces deux caractéristiques sont absentes des revendications indépendantes, 1, 13, 14 qui, par conséquent, ne décrivent pas le caractère technique de l'invention, contrairement aux exigences de clarté.

Aucune des revendications, seule ou combinée avec l'une des revendications dont elle dépend, ne semble inclure toutes les caractéristiques techniques essentielles de l'invention.

En vue du manque des dites caractéristiques techniques, il faut de remarquer que l'avis sur la nouveauté et l'activité inventive du point V ci-dessous concerne les revendications dans leur forme présente, et non l'invention comme on peut le comprendre à partir de la demande. Il est probable qu'une revendication indépendante modifiée pour inclure à la fois les caractéristiques i et ii puisse être considérée nouvelle et inventive par rapport à l'art antérieur disponible, en surmontant les objections du point V ci-dessous.

Ad point V

Déclaration motivée quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle ; citations et explications à l'appui de cette déclaration

1 Il est fait référence au document suivant :

D1 WO 2008/138117 A1 (PLASCO ENERGY GROUP INC [CA];
TSANGARIS ANDREAS [CA]; BACON MARC [CA]) 20 novembre 2008
(2008-11-20)

Document D1

- 2 D1 divulgue (voir les passages cités dans le rapport de recherche, en particulier les figures 26b et 29b) un réacteur à plasma comprenant :
- un espace de réacteur délimité par un cylindre (3202),
 - une entrée de gaz axiale en forme de l'espace annulaire entre le cylindre (3202) et l'élément (3999 "flow restrictor") ladite entrée axiale comprenant des fentes d'injection radiales pour décharger un jet de mélange gazeux dans ledit espace du réacteur: sur la figure 29b, les torches à plasma sont représentées à la même élévation. En variante, les limiteurs de débit peuvent être placés au-dessus ou au-dessous des torches à plasma. Des ports d'additifs sont également indiqués sous les torches pour l'injection d'additifs de procédé,
 - l'élément 3999 de la figure 29b (ou 26b) forme un disque de détente de gaz en aval, qui s'étend radialement à partir de l'entrée coaxiale et qui est situé en aval desdites fentes d'injection radiales par rapport à ladite direction axiale,
 - des moyens de génération de plasma adaptés pour ioniser un milieu gazeux dans ledit espace du réacteur.
- Le réacteur est utilisé entre autres pour la pyrolyse du méthane et la production d'hydrogène.
- 2.1 Par conséquent, le document D1 décrit en combinaison toutes les caractéristiques définies dans la revendication indépendante 1. L'objet de cette revendication n'est donc pas nouveau.
- 2.2 Par conséquent, le document D1 décrit en combinaison toutes les caractéristiques définies dans la revendication indépendante 13. L'objet de cette revendication n'est donc pas nouveau.
- 2.3 Par conséquent, le document D1 décrit en combinaison toutes les caractéristiques définies dans la revendication indépendante 14. L'objet de cette revendication n'est donc pas nouveau.
- 2.4 Les revendications dépendantes 2-12 ne contiennent pas de caractéristiques qui satisfassent aux exigences de nouveauté et/ou d'activité inventive en étant combinées aux caractéristiques de l'une quelconque des revendications auxquelles lesdites revendications dépendantes sont liées, car les caractéristiques techniques supplémentaires des revendications 4, 7, 8 sont décrites par D1 et les caractéristiques techniques supplémentaires des revendications 2,3,5,6,9-12 seules ou combinées avec l'une des revendications dont elles dépendent, ne semblent inclure toutes les caractéristiques techniques essentielles de l'invention, par conséquent, seuls les effets techniques

nécessairement produits en conséquence des connaissances générales sur les caractéristiques distinctives peuvent être utilisés pour déterminer un problème technique objectif résolu par lesdites caractéristiques distinctives. L'application des connaissances générales au regard de l'état de la technique n'implique pas une activité inventive, car il s'agit de quelque chose qui n'implique pas l'exercice d'une compétence ou d'une aptitude autre que celle attendue de l'homme du métier pour ce qui concerne l'objet des revendications 2,3,5,6,9-12.