

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

①① N° de publication : **2 998 440**

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

②① N° d'enregistrement national : **12 03092**

⑤① Int Cl⁸ : **H 05 H 1/24 (2014.01), H 05 H 1/48**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE ET DISPOSITIF DE TRAITEMENT DE MATIÈRE FRAGMENTÉE PAR FLUX DE PLASMA REACTIF A PRESSION ATMOSPHERIQUE.

②② Date de dépôt : 19.11.12.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 23.05.14 Bulletin 14/21.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 11.03.22 Bulletin 22/10.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *ABENZ 81-40 SCE — FR.*

⑦② Inventeur(s) : *KOULIK PAVEL et SAYCHENKO
ANATOLY.*

⑦③ Titulaire(s) : *ABENZ 81-40 SCE.*

⑦④ Mandataire(s) : *CABINET LAURENT MUNIER.*

FR 2 998 440 - B1



La présente invention consiste en un procédé de traitement de matière fragmentée, c'est à dire composée d'un courant de fluide portant des fragments en phase solide, par un flux de plasma réactif à pression voisine de la pression atmosphérique et un dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé.

5 Beaucoup d'efforts ont été faits dans la deuxième moitié du 20-ième siècle pour créer des réacteurs permettant de traiter des courants de fluides portant des fragments en phase solide. Les réacteurs les plus efficaces sont probablement les réacteurs hydrodynamiques basés sur le principe du cyclone permettant d'obtenir des échanges thermiques de haute intensité en régime turbulent dans des volumes de petite dimension. L'application sans
10 doute la plus performante est celle du Torbed® Reactor développé par Torftech L.t.d. (Newbury, K) en 1998 (voir www.torftech.com). Ce procédé est notamment utilisé pour la torréfaction des déchets de bois en vue de la fabrication de combustibles effectifs transportables.

En principe, le seul moyen d'intensifier ce procédé est d'utiliser un flux réactif sous forme de
15 plasma. Pour cette raison, les réacteurs à plasma ont attiré l'attention, notamment en rapport avec les technologies de transformation de la matière par la plasmochimie, et, en particulier, avec la combustion des matières organiques, le recyclage de la biomasse, la destruction et la transformation de produits, de déchets, la génération de produits chimiques.

20 Les procédés et dispositifs à plasma les plus connus et les plus utilisés en pratique, notamment dans l'Industrie et en particulier pour la combustion assistée par plasma et la destruction ou transformation des biomasses, des déchets domestiques, médicaux, industriels et autres, exploitent les réactions dans des plasmas isothermiques à courant continu, alternatif, haute fréquence, micro-ondes.

25 Par « isothermique » on entend les plasmas dont les températures des différents composants, notamment des particules lourdes (molécules, atomes, radicaux, ions) T_I , et des électrons, T_e , sont pratiquement égales. Par définition, un plasma est isothermique quand, en tout point de son volume, se réalise la condition :

$$T_e = T_I$$

30 C'est d'habitude le cas des plasmas mentionnés ci-dessus. Cela signifie que les réactions chimiques qui s'y passent sont des relations d'équilibre thermodynamique local, décrits, par exemple, par la loi bien connue d'Arrhenius. La concentration des composants du plasma isothermique est décrite par l'équation, également bien connue, de Saha.

L'état de l'art, a amené les utilisateurs des technologies de plasmas qu'ils jugent à raison
35 plus efficaces que les méthodes traditionnelles de transformation de la matière, à concevoir des réacteurs utilisant des plasmas isothermiques (c'à d. en état d'équilibre thermodynamique), à pression atmosphérique, tels que les générateurs d'arcs à courant

continu, alternatif, radio-fréquence ou micro-ondes. La température des plasmas réalisés et utilisés est de l'ordre de 6 000 – 15 000 K suivant les conditions de génération. Il est clair que de tels plasmas sont efficaces pour détruire (décomposer) les molécules organiques. Ils sont aussi efficaces pour détruire les molécules non-organiques. Accompagnées d'un
 5 procédé de trempe du plasma (refroidissement rapide qui empêche la recombinaison de beaucoup d'états moléculaires nuisibles, notamment les dioxines et les furanes), ces technologies se sont avérées avantageuses par rapport aux technologies traditionnelles thermochimiques (voir par exemple, Khacef (A.), Cormier (J.-M.), Pouvesle (J.-M.), J. Phys. D :
 10 Apl.PHYS. 35, p. 1491-1498, 2002. ZhukovM.F. Izv.S.O.AN USSR, Ser. Techn.Nauk, 1970, V2 (58) P 12 – 18 ; Burov I.S., Ermolaeva E.M., Mosse A.L., Minsk ITMO 1975, p.71 – 78 ; voir aussi www.europlasma.com).

Des réacteurs de différentes géométries et formes utilisant un ou des plasmas thermiques en cyclones générés par sources de courant à hautes fréquences ou à microondes ont été
 15 proposés dans les inventions appartenant à FORET PLASMA LABS, LLC, The Woodlands, Texas (US) (voir par exemple le brevet US 7.622.693 B2, date de priorité : 24 novembre 2009 voir aussi).

Beaucoup d'efforts de la société Yantai Longyan Power Technology Co Ltd ont été consacrés à la création de brûleurs à plasma isothermique (en équilibre thermodynamique) pour
 20 réaliser la combustion de poussière de charbon dans les chaudières des centrales électriques (voir, par exemple la demande de brevets N° 201 200 25 63 avec date de priorité du 02.02.2012)

Le niveau de températures élevé caractérisant les plasmas isothermiques (6 000 – 12 000 K) est cependant superflu. Il est inévitable si on utilise un plasma isothermique à pression
 25 atmosphérique car le niveau de température ($T = T_i = T_e$) détermine la concentration des électrons nécessaires à la conductivité électrique du plasma, cette dernière assurant le bilan énergétique de l'arc électrique et du jet de plasma en résultant. Ce niveau de température est cependant excessif pour la réalisation des réactions plasmochimiques qui ne nécessitent
 30 que des températures dans les plages de 1000 K à 3000 K. Ce niveau de températures amène à des dépenses énergétiques énormes et des constructions complexes qui rendent douteuses les raisons mêmes de l'utilisation des réacteurs de plasma isothermique.

En outre, de manière évidente, les dimensions des espaces dans lesquels le plasma thermique peut être confiné, vu sa température, sont petites, par principe, même dans le
 35 cas de l'invention « FORET PLASMA LABS » mentionnée plus haut. Cela réduit très fort la surface de contact d'un tel plasma avec les milieux à traiter, ce qui rend les réactions peu efficaces et réduit leur rendement énergétique.

La solution qui s'impose est d'utiliser un plasma non-isothermique. En effet, si l'amplitude du champ électrique qui génère et accélère les électrons du plasma et y provoque les

réactions d'excitation et d'ionisation est assez élevée, le plasma devient non-isothermique, c'à d. que :

$$T_e > T_l \quad [1]$$

5 Pour que la relation (2) ait lieu l'amplitude du champ électrique E doit obéir à une condition du type (cas d'un plasma faiblement ionisé) :

$$E > k.T_a.n_e.Q/e \quad [2]$$

où

e est la charge de l'électron ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C) ;

k est la constante de Boltzmann ($k = 1,4 \cdot 10^{-19}$ J/K) ;

10 T_l est la température des composants lourds (molécules, radicaux, atomes, ions) du plasma (K) ;

Q est la section efficace des collisions élastiques entre les électrons et les composants neutres du plasma (m^2) ;

n_e est la concentration des électrons libres (m^{-3})

15 Si $T_l \sim 2000$ K, $n_e \sim 10^{19} m^{-3}$, $Q \sim 10^{-18} m^2$,

on a $E > 10^4$ V/m.

L'utilisation pratique d'un plasma en état non-isothermique dans un réacteur à plasma est technologiquement avantageuse. En effet, les électrons qui, dans ce cas, ont une grande énergie cinétique, favorisent la formation d'états moléculaires excités et de radicaux, extrêmement efficaces pour la destruction des molécules organiques ou leur transformation en composantes réutilisables.

20 Dans un plasma non-isothermique, le niveau de température des composants lourds (T_l) peut être de l'ordre de 1000 – 3000K, ce qui est suffisant pour réaliser les réactions chimiques visées sans formation de composants chimiques nocifs, tandis que la température des électrons est de l'ordre de 6 000 – 15 000 K, ce qui assure un courant électrique suffisant pour soutenir le mécanisme de décharge électrique et le bilan énergétique du jet de plasma.

Des générateurs de plasma non-isothermique (voir formules [1] et [2]) ont été proposés, protégés par des brevets, et exploités au niveau industriel (voir, par exemple, Engelsht V. S., Saichenko A.N., Okopnik G.M., Musin N.U. XI Vsesoyuznaya Konf. Po generatoram nizkotemperaturnoy plazmi, Novosibirsk, 1989; P 255; Desiatkov G.A., Engelsht V.S., Saichenko A.N., Musin N.U., et al. Plasma Jets in the Development of New Materials Technology. Proc. Of the International Workshop 3-9 September, Frunze, USSR Ed. O.P.Solonenko, A.I.Fedorchenko. VSP, Utrecht, (NL), Tokyo (Japan), pp 499 – 509 ; voir aussi

www.glidarc.com). Ils sont basés sur l'utilisation du principe de l'arc à haute tension glissant entre deux électrodes de géométrie divergente. Initié par une décharge à l'endroit où les électrodes sont le plus rapprochées l'une de l'autre, l'arc est propulsé le long de ces électrodes grâce à la force électromagnétique créée par le champ magnétique dû au courant qui parcourt l'électrode et le courant qui parcourt l'arc dans une direction pratiquement perpendiculaire à l'axe des électrodes. Le mouvement de l'arc peut être, en plus, sollicité par un courant longitudinal de gaz propulsant qui concourt à former le jet de plasma en aval des électrodes. Au fur et à mesure du glissement de l'arc, sa longueur et sa résistance électrique augmentent et l'intensité du courant diminue. Il arrive un moment où le courant devient trop faible pour soutenir le bilan énergétique de la décharge et l'arc disparaît. Une nouvelle décharge est alors de nouveau initiée à la base des électrodes et le processus se répète. On a donc un mouvement perpétuel de « va et vient » de l'arc le long des électrodes. Dans son mouvement, l'arc crée autour de lui un « nuage de plasma » dont les propriétés et notamment le temps de vie, dépendent de la nature du gaz dans lequel a lieu la décharge, de la présence d'un flux hydrodynamique de gaz, du niveau de l'amplitude de la tension entre les électrodes, et de la géométrie de divergence des électrodes. Ce nuage de plasma peut assurer l'existence d'une zone conductrice d'électricité en l'absence de courant électrique pendant sa durée de vie. Il est donc possible d'alimenter l'arc non seulement avec du courant continu mais aussi avec du courant alternatif, par exemple de fréquence 50Hz, pourvu que la durée de vie du nuage de plasma soit supérieure à la pause qui sépare les méandres de tension entre les électrodes,.

Des arcs glissants ont été créés à l'aide de générateurs à courant continu, à courant alternatif monophasé et triphasé à une fréquence de 50Hz. Dans ce dernier cas, des solutions à trois électrodes et à six électrodes ont été proposées et réalisées industriellement. L'utilisation de trois et six électrodes (voir Engelsht V. S., Gurovich V. Ts., Desyatkov G. A., Musin N. U., Saitchenko A. N. Experimental investigation and application of the high-voltage low-current arc in gas flow. 20th ICPIG.-Barga,1991 -P.978-979) est proposée dans le but d'uniformiser le plus possible la zone de plasma générée dans le réacteur, vu que ce plasma est hors d'équilibre thermodynamique et donc contient de grandes concentrations de molécules et de radicaux à l'état métastable. C'est l'énergie potentielle de ces particules (effets non thermiques), et non seulement leur énergie cinétique (effets thermiques), qui permettent de réaliser les réactions plasmochimiques visées.

Une étude théorique approfondie des plasmas non-thermiques à deux températures appliquée aux arcs glissants, notamment à pression atmosphérique, est effectuée dans les travaux de A.A.Fridman (voir par ex. Plasma Chemistry Cambridge University Press 2008 pp 205).

Les procédés et dispositifs mentionnés, notamment dans les publications de A.Fridman, présentent cependant des désavantages (Instabilité, non-uniformité spatiale, dimensions limitées) qui les rendent difficilement applicables dans la pratique et inutilisables dans des réacteurs à flux fragmentés qui nécessitent pour traiter une partie déterminée des

fragments ou la totalité de leur volume, une durée prolongée de contact avec le milieu de plasma actif. Qui dit durée prolongée, dit surface de contact extrêmement développée et donc, avant tout, grandes dimensions des jets de plasma utilisés dans le réacteur et configuration géométrique apte à développer les réactions voulues.

- 5 Les auteurs Desyatkov et al. ont proposé une configuration du réacteur qui fixe la position de l'arc dans l'espace dès que celui-ci a atteint les extrémités des électrodes. Les lignes de courant se courbent alors soumises, d'une part, à la force de traînée du flux de gaz propulsant et à la force électromagnétique et, d'autre part, à la résistance hydrodynamique de l'arc qui tend à conserver sa position dans la zone la plus ionisée de l'espace.
- 10 Cependant, le plasma utilisé reste instable. Cette instabilité est principalement due au caractère turbulent du flux de gaz propulsant. Les dimensions du jet de plasma sont réduites et ne permettent pas de traiter des flux fragmentés tels que définis plus haut.
- 15 L'invention (P.Koulik, A. Saychenko, PROCÉDE ET DISPOSITIF POUR LA GENERATION D'UN JET DE PLASMA NON- ISOTHERMIQUE, brevet FR10/01928) permet en partie de résoudre le problème et d'augmenter le volume du plasma généré et sa surface de contact avec le milieu traité. Cependant la solution proposée de « laminarisation » du procédé de
- 20 génération du jet de plasma n'est pas suffisante.

Dans le contexte de ce qui précède, un but de la présente invention est d'élaborer un réacteur de plasma à surface de contact plus étendue que dans les réacteurs existants. Ce

25 but ne peut être atteint qu'en générant et exploitant un (ou des) jets de plasma non-isothermique stable, à une pression voisine de la pression atmosphérique.

Il est avantageux d'exploiter un tel réacteur pour la réalisation industrielle de réactions plasmochimiques entre des fragments solides portés par un écoulement fluide et une zone étendue active de plasma dans l'espace d'un réacteur plasmochimique de dimensions

30 restreintes.

Il est également avantageux d'exploiter un procédé de génération permettant de créer dans le réacteur une zone étendue de plasma non-isothermique, stable dans le temps, pendant toute la durée du traitement plasmochimique visé. Un tel plasma peut être appelé « Plasma à températures intermédiaires » ou PIT (Plasma at Intermediary Temperatures). Nous

35 adoptons cette appellation dans la présente invention.

Il est aussi avantageux d'utiliser un réacteur exploitant un ou des jets de plasma de forme allongée et dont le rapport de la longueur au diamètre est substantiellement supérieur à l'unité et qui peut être conformé en spires.

Il est d'autant plus avantageux d'utiliser à cet effet un réacteur exploitant un ou des jets de

40 plasma non-isothermique générés de manière à en augmenter la longueur tout en limitant les échanges énergétiques avec le milieu gazeux environnant constitué de fluide et de fragments. En particulier, il est avantageux de forcer le jet de plasma à se propager le long de spires coaxiales au réacteur.

Pour augmenter la longueur du jet de plasma et le développer sous forme de spires dans le réacteur, il est avantageux d'utiliser une source de courant d'alimentation à impulsions bipolaires.

5 Un grand avantage présente toute technologie capable d'assurer un traitement contrôlé variable en fonction de la composition du gaz d'apport, de la matière des fragments, de la forme, de la nature, et de la composition du produit traité.

D'autres buts, caractéristiques et avantages de la présente invention ressortent des dessins, schémas et illustrations annexés dans un but non limitatif à la présente invention, dans lesquels :

- 10
- La Fig. 1 montre le schéma de réalisation de l'alimentation électrique du plasmatron telle que revendiquée dans la présente invention.
- 15
- La Fig.2 illustre le schéma de réalisation d'un réacteur de forme conique utilisant un jet de flux fragmenté sous un angle β par rapport au plan perpendiculaire à l'axe du réacteur et un flux de plasma non-isothermique sous un angle α par rapport au plan perpendiculaire à l'axe du réacteur, plasma créé par un générateur d'arcs à haute tension entre trois électrodes en régime de courant alternatif constitué par des impulsions bipolaires à courant limité et à fréquence variable contrôlée.
- 20
- La Fig.2a est une section longitudinale du réacteur utilisant un seul générateur de jet de plasma
- La Fig.2b : section radiale du réacteur avec utilisation de deux générateurs de jet de plasma non isothermique.
- 25
- La Fig.3 illustre la réalisation d'un réacteur hermétique de forme cylindrique permettant de mettre en œuvre la présente invention dans le cas où les flux de plasma et de flux fragmenté sont dirigés l'un vers l'autre et sont utilisés pour la production de gaz combustible (hydrogène, syngaz).
- 30
- La Fig.4 illustre la réalisation d'un réacteur de forme cylindrique, hermétique, par exemple, pour la fabrication de biogaz, dans le cas où la matière à traiter est fragmentée et propulsée dans le réacteur par une vis sans fin et le surplus de fragments de matière non traités est renvoyé vers l'entrée du réacteur.
- 35
- La Fig. 5 montre le schéma d'un réacteur coaxial dans le cas particulier extrême où $\alpha = \beta = 90^\circ$ qui illustre, par exemple, l'application de la présente invention à un brûleur de chaudière assisté par plasma PIT.

- La Fig. 6 montre le schéma d'un réacteur dans le cas particulier extrême où $\alpha \sim \beta \sim 0^\circ$ qui illustre, par exemple, l'application de transformation de biomasse en produit combustible.

5

Le principe du procédé proposé réside en ce qui suit :

Il est proposé d'utiliser comme base un procédé de génération d'un jet de plasma non isothermique à l'aide d'une décharge électrique à haute tension en courant alternatif biphasé dans un flux de gaz, décharge initiée par un plasma de claquage, propulsée par une force électromagnétique et par la force de traînée exercée par un flux de gaz et localisée aux extrémités d'électrodes. Ce procédé est semblable au procédé décrit dans l'invention (P.Koulik, A. Saychenko, PROCEDE ET DISPOSITIF POUR LA GENERATION D'UN JET DE PLASMA NON- ISOTHERMIQUE, brevet FR10/01928). La configuration proposée dans cette invention, cependant ne permet pas d'assurer le contact nécessaire entre le jet de plasma et le flux de matière fragmentée pour que la réaction voulue entre les deux soit réalisable et optimale.

Optimiser le procédé en augmentant la température et la vitesse du flux réactif est peu utile car, à partir d'une certaine intensité de flux de chaleur, le matériau résiste au traitement suite au phénomène d'ablation, bien connu dans la technique de protection thermique des vaisseaux spatiaux lors de leur entrée dans les couches denses de l'atmosphère de la Terre.

Il est donc impératif de trouver un moyen d'augmenter l'étendue de la surface de contact du flux de plasma avec le matériau traité. Cela ne peut se réaliser qu'en optimisant le procédé de génération du plasma dans le volume le plus grand possible tout en concentrant le volume de plasma dans le volume le plus petit possible.

Le plasma dans un tel jet est en état non-thermique (PIT) tel que défini par les formules [1] – [3], ce qui donne des avantages de principe à la présente invention.

L'invention présente permet l'exploitation de ces avantages basée sur l'optimisation de l'utilisation des états excités des particules.

Le plasma est généré par le passage du courant électrique (non stationnaire) dans le flux de gaz qui baigne les électrodes entre lesquelles est établie une forte différence de potentiel ($\sim 10 - 100$ kV). Dès que l'intensité du courant grandit, le champ électrique s'affaiblit, vu que la température, et donc la conductivité électrique, commencent à croître. Cette étape correspond à la formation dans le plasma naissant d'un grand nombre de molécules et de radicaux excités par les électrons, accélérés dans le champ électrique. Si on maintient la tension, le courant électrique va rapidement croître, le plasma va s'échauffer et atteindre l'état thermique. L'idée de l'invention, pour générer le jet de plasma nécessaire à la réalisation du réacteur revendiqué, consiste :

40

- 1) à laisser croître le courant de manière à accumuler une densité d'énergie suffisante pour que les réactions plasmochimiques aient lieu comme voulu ;
- 2) à rompre le courant avant que le plasma ne s'échauffe et n'atteigne l'état thermique. En pratique, cela correspond à des valeurs de limitation du courant de rupture entre 3 et 30 A ;
- 3) cette rupture dure pendant un laps de temps inférieur au temps de relaxation τ . Le plasma continue d'exister pendant cette période. Les particules excitées et les radicaux créés restent actifs et perdent leur énergie d'activation dans leurs interactions avec le matériau à traiter. Par contre, dès que le courant électrique est rompu, la température du plasma diminue.
- 4) Pour conserver cet état métastable, il faut répéter le processus décrit aux points 1) – 3), c'à d. envoyer une nouvelle impulsion de courant électrique.

Cela revient à alimenter la décharge électrique entre les électrodes par des impulsions de courant. Les paramètres de ces impulsions sont :

- les amplitudes I et U du courant et de la tension, respectivement ;
- la fréquence de génération $\nu_1 = 1/\tau_1$ (cette génération peut avantageusement être réalisée sous forme d'ondes sinusoïdales bipolaires à haute fréquence) ;
- la durée d'une impulsion $\tau_2 = \psi/U.I.$ où ψ est la quantité d'énergie contenue dans le jet de plasma (typiquement, $\psi \sim 10^3$ J)
- la fréquence des impulsions $\nu_3 = 1/\tau_3$ où $\tau_3 \leq \tau = kT_l/P\sigma_i$
où
 σ_i est la section efficace moyenne des interactions inélastiques des électrons avec les particules du plasma ($\sigma_i \sim 10^{-20}$ m²) ;
 P est la pression ($P \sim 10^5$ Pa) ;
 K est la constante de Boltzmann ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K)
 T_l est la température des particules lourdes du plasma (typiquement $T_l \sim 2 \cdot 10^3$ K).

La Fig. 1 illustre le caractère des impulsions d'alimentation de la décharge.

L'expérience a montré que pour l'air, les paramètres optima de génération des impulsions sont de l'ordre de :

$$\tau_1 \sim 10^{-7} \text{ s } (\nu_1 \sim 13 \text{ MHz})$$

$$\tau_2 \sim 3 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

$$\tau_3 \leq \tau \sim 2 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

On voit que les fréquences du réseau ($\tau_2 \sim \tau_3 \sim 10^{-2}$ s) utilisées dans l'invention (P.Koulik, A. Saychenko, PROCEDE ET DISPOSITIF POUR LA GENERATION D'UN JET DE PLASMA NON- ISOTHERMIQUE, brevet FR10/01928) sont loin d'être optima : la longueur du jet de plasma obtenue en appliquant l'invention mentionnée est de $\sim 1,5$ m pour une puissance de génération de ~ 100 kW alors que la longueur du jet de plasma, réalisable en application de la présente invention, peut atteindre 3m et plus.

L'idée d'alimenter le générateur de plasma au moyen d'impulsions telles que décrites dans la présente invention permet d'obtenir une étendue importante de la zone de plasma, suffisante pour qu'il soit réalisable d'imposer au flux de plasma et au flux de gaz qui supporte les fragments de matière à traiter des trajectoires hélicoïdales coaxiales sous des angles α et β respectivement, par rapport au plan perpendiculaire à l'axe du réacteur cylindrique ou conique, ce qui permet d'effectuer de manière efficace des réactions plasmochimiques nouvelles et de haute intensité (vu l'utilisation d'un plasma non thermique à très haute densité d'énergie) et, dans le même temps, de rendre le réacteur plus compact et donc d'améliorer sensiblement son rendement énergétique, notamment en réduisant les pertes de chaleur.

Les angles mentionnés doivent être choisis conformément aux relations suivantes.

L'angle α doit satisfaire à la relation :

$$\alpha = \arcsin(Y/j\Lambda) \quad [3]$$

où

$$\Lambda < k_p (\mathbf{U} \cdot \mathbf{I})^{0,3} D_e^{0,2} V_s^{0,3} \quad [4]$$

Dans ces formules (voir Fig. 2)

Y est la longueur du réacteur (m) ;

Λ est la longueur du jet de plasma issu du plasmatron le long de la trajectoire hélicoïdale (m) :

j est le nombre de plasmatrons fonctionnant en parallèle ;

\mathbf{U} est l'amplitude de la tension appliquée entre les électrodes du plasmatron (V) ;

\mathbf{I} est l'amplitude de l'intensité du courant passant entre deux électrodes (A) ;

D_e est le diamètre de la spire le long de laquelle se déplace le plasma (m) ;

V_s est la vitesse du gaz d'alimentation du plasmatron (m/s).

k_p est un coefficient empirique ($k_p \sim 6,31 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{0,5} \text{ J}^{-0,3} \text{ s}^{0,3}$)

L'angle maximum β doit obéir aux conditions exprimées par la relation :

$$\beta = \arcsin (U \cdot c \cdot \delta \cdot \Delta T_f / i \cdot Y \cdot Q_p) \quad [5]$$

où

U est la vitesse du flux entrant des fragments (m/s) ;

c est la capacité thermique du matériau des fragments à traiter ($\text{J/m}^3 \text{ degré}$) ;

δ est la profondeur du traitement du fragment de matière (m)

ΔT_f est l'augmentation de température de la fraction (δ) de fragment traitée

i est le nombre de jets de flux chargé de fragments introduits simultanément dans le réacteur (degrés) ;

Q_p est la densité du flux d'énergie transféré par le plasma au fragment traité (W/m^2)

$$Q_p \sim (1/3) (kT)^{0,5} m^{-0,5} E / l \cdot \sigma \quad [6]$$

où

k est la constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$) ;

T est la température moyenne du plasma (K) ;

m est la masse moléculaire moyenne des particules du plasma (kg) ;

E est la quantité moyenne d'énergie apportée par les particules du plasma (en pratique, $E \sim 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$) ;

l est la dimension moyenne des fragments (m)

5 σ est la section efficace de diffusion des particules du plasma (pour l'air, $\sigma \sim 10^{-19} \text{ m}^2$).

En pratique, dans beaucoup de cas, on a $Q_p \sim 3,75 \cdot 10^2 \mu^{-0,5}/l$ [7]

où μ est la masse molaire moyenne des particules du plasma (kg/mole).

10 Les relations (3) et (4) expriment la condition comme quoi la longueur du jet de plasma correspondant aux paramètres de génération du jet de plasma s'inscrit au moins dans le réacteur de longueur Y .

Les relations (5 - 7) expriment la condition comme quoi le temps de passage dans le réacteur du fragment de matière à traiter est au moins égal au temps nécessaire pour que l'énergie venant du plasma et nécessaire à la réaction voulue, soit transmise au fragment.

15 Le mouvement du plasma et des fragments à traiter selon des trajectoires coaxiales hélicoïdales sous des angles α et β , indépendants l'un de l'autre et en principe différents l'un de l'autre, permet d'une part de minimiser les dimensions du réacteur (notamment sa longueur) et d'autre part d'intensifier les échanges énergétiques entre le plasma et le flux de fragments à traiter.

20 L'expérience pratique montre que le mouvement du plasma le long d'une trajectoire hélicoïdale est possible et que, si la vitesse V_s du flux entraînant le plasma est supérieure à 1 m/s, il n'y a pratiquement pas de courts circuits entre les spires consécutives de cette trajectoire pour des tensions entre les électrodes allant jusqu'à 20 kV. Cela s'explique par le fait que la conductivité électrique du canal hélicoïdal formé par la décharge reste importante lors des pauses entre les impulsions électriques dans les conditions de relaxation du plasma
25 imposées dans la présente invention, et en tout cas de beaucoup supérieure à la conductivité électrique des zones périphériques au canal hélicoïdal dans lequel est concentré le plasma.

30 D'après les formules [3] et [4], on voit que l'angle α est d'autant plus petit que sont grands la puissance du plasmatron, la vitesse du gaz introduit dans le plasmatron et le diamètre du cylindre dans lequel s'inscrivent les électrodes.

D'après les formules [5] – [7], on voit que l'angle β est d'autant plus grand que la dimension l du fragment est petite et que l'échange d'énergie avec le plasma est grand.

35 En particulier, pour le traitement de fines poussières entraînées dans un flux puissant de gaz, comme, par exemple, dans le cas du traitement des poussières de charbons, de lignite, de tourbe dans un brûleur de chaudière, l'angle β devient égal à 90° . Si, en plus, la puissance du

plasmatron est importante, on aura $\alpha \sim \beta \sim 90^\circ$. Dans ce cas le réacteur, selon la présente invention, devient un dispositif où le jet de plasma et le jet de gaz portant les fragments (les grains de poussière) sont coaxiaux et aucun cyclone n'est nécessaire, les deux jets devenant colinéaires (voir Fig. 5).

- 5 Dans un autre cas particulier où le traitement de gros fragments est effectué avec un plasmatron de puissance relativement réduite, ce qui nécessite un contact prolongé des fragments traités avec le flux de plasma, les angles α et β deviennent proches de 0° et le réacteur selon la présente invention devient un cyclone de plasma tel que représenté à la Fig.6. Un tel cyclone est avantageux pour le traitement de biomasses et leur transformation
 10 en combustible intermédiaire tel que, par exemple, le bois torréfié, ou en biogaz, tel que, par exemple, le syngaz.

De manière générale, en résumant, on voit que des buts de la présente invention sont réalisés grâce à la génération d'un jet de plasma non-isothermique, à pression voisine de la pression atmosphérique, selon un procédé de traitement de matière fragmentée dans un
 15 réacteur cylindrique ou conique par flux réactif composé d'un flux rotationnel de gaz et d'un flux de matière fragmentée mise en mouvement hélicoïdal, coaxial au réacteur dans la zone de traitement, par un agent gazeux propulsant, caractérisé en ce que le flux rotationnel est constitué d'un ou de plusieurs (j) jet(s) de plasma réactif non-thermique à températures
 20 intermédiaires (PIT), fonctionnant à pression sensiblement égale à la pression atmosphérique, se déplaçant suivant une (des) trajectoire(s) hélicoïdale(s) de diamètre D_e sous un angle α par rapport au plan perpendiculaire à l'axe de symétrie du réacteur et que le flux de matière fragmentée est propulsé par un ou plusieurs (i) jets d'agent gazeux suivant une trajectoire hélicoïdale de diamètre D sous un angle β par rapport au plan perpendiculaire à l'axe de symétrie du réacteur, les angles α et β étant choisis en fonction
 25 du débit de la matière fragmentée entrante G , des vitesses de l'agent propulsant U et du plasma, V_s , des dimensions des fragments entrants de matière l , de la longueur de la zone de réaction Y , selon les conditions de plénitude des réactions plasmochimiques :

$$\alpha (\pm 10\%) = \arcsin(Y/j\Lambda)$$

$$30 \quad \beta (\pm 15\%) = \arcsin U.c.\delta.\Delta T_f / i Y.Q_p$$

où

Λ est la longueur du (des) jet(s) de plasma non-thermique à températures intermédiaires, donnée par la formule empirique $\Lambda = k_p (U l)^{0.13} D_e^{0.12} V_s^{0.13}$;

- 35 Q_p est la densité du flux d'énergie conféré aux fragments par le plasma, donné par la formule $Q_p = (1/3) (kT_i)^{0.5} . m_i^{-0.5} . E . l . \sigma$;

formules dans lesquelles :

c est la chaleur spécifique de la matière fragmentée ;

δ est la profondeur du traitement effectué sur les fragments de matière ;

ΔT_f est le niveau de température auquel s'effectue de traitement ;

5 U et I sont respectivement la tension aux électrodes donnée par le (les) générateur(s) de jet(s) de plasma et l'intensité correspondante du courant qui y passe ;

T_l est la température moyenne des particules lourdes du plasma (en pratique 2000K) ;

T_e est la température des électrons du plasma à températures intermédiaires

m_l est la masse moyenne des particules lourdes du plasma ;

10 E est la quantité d'énergie plasmochimique conférée au fragment de matière lors d'une collision avec une molécule du jet de plasma non-thermique à températures intermédiaires ;

σ est la section efficace des particules du plasma par rapport aux collisions élastiques entre elles (en pratique $\sigma \sim 10^{-19} \text{ m}^2$) ;

k est la constante de Boltzmann ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$) ;

k_p est un coefficient empirique ($k \sim 6,31 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{0,5} \text{ J}^{-0,3} \text{ s}^{0,3}$) ;

15 La pratique des tests effectués selon la présente invention a montré que les marges de tolérances (de précision) des angles α et β tels qu'estimés à l'aide des relations [3] – [7], établies selon la pratique des tests effectués, sont respectivement de ($\pm 10\%$) pour α et de ($\pm 15\%$) pour β .

20 Il faut remarquer que toutes les mesures destinées à intensifier les échanges énergétiques, en particulier entre le jet de plasma et les fragments à traiter, se heurtent à l'obstacle essentiel du traitement thermique des produits solides : la croissance de la température à l'intérieur de l'objet traité (le fragment) est soumise aux lois physiques de la conductivité thermique : la progression de l' « onde thermique » est déterminée par la relation

$$\Delta x = (\Delta \tau \lambda / \rho c)^{0,5}$$

25 où

λ , ρ et c sont respectivement le coefficient de conductivité thermique, la densité et la capacité thermique du matériau

$\Delta \tau$ est la durée de pénétration de l'onde thermique

Δx est la profondeur de pénétration de l'onde thermique.

30 On a, en première approximation, $\Delta x = \lambda \Delta T / Q$, où Q est la densité de chaleur transférée au corps traité. Pour un procédé déterminé, ΔT est fixé. Plus grande est l'intensité de

l'échange thermique (Q) plus petite est la profondeur de pénétration. Pour remédier à cet effet, il y a lieu, lors du traitement, d'éliminer au fur et à mesure du traitement (par exemple mécaniquement) les couches de produit déjà traitées. Une des possibilités est d'organiser le traitement des fragments de telle manière qu'ils s'entrechoquent pendant le traitement et que les couches superficielles traitées s'effritent et se séparent du corps non encore traité. L'addition dans les parois de réacteur d'aspérités de forme aigüe peut être efficace. Une autre solution est d'organiser le traitement de manière que les fragments soient traités rapidement ($\Delta\tau$) dans le réacteur puis convoyés vers un concasseur qui casse et sépare les fragments de la croute traitée et soient ensuite retournés au réacteur. Dans ce cas, le concasseur vient s'intégrer au réacteur revendiqué à la présente invention. Il est possible de cette manière d'augmenter sensiblement la cadence du traitement.

Par exemple, dans le cas de la production de poussière de bois torréfié, les estimations et les tests préalables ont montré que la vitesse de traitement des déchets de bois dans un réacteur tel que revendiqué dans la présente invention, peut être augmentée de 100 fois par rapport à la vitesse de production par procédé thermique dans un dispositif du type « Torbed© » (voir www.torftech.com).

Il est à remarquer que la présente invention permet d'effectuer la sélection des produits créés dans le réacteur revendiqué. En particulier, l'invention permet de produire des fragments traités de dimension maximum l_0 fixée. Cela est possible par un choix du diamètre d du conduit d'évacuation des produits traités.

Ce choix s'effectue selon la relation

$$l_0 > (\text{tg}\beta)^2 (\rho_g / \rho_c) d^3 / 4 D^2 \quad [8]$$

où

ρ_g et ρ_c sont respectivement les densités de la phase gazeuse et de la phase solide du flux pénétrant dans le conduit de sortie ;

D est le diamètre de la spire d'entrée du flux fragmenté (voir Fig. 2)

La relation [8] est obtenue à partir de la condition d'égalité de la force centrifuge agissant sur la particule sortante suite à son mouvement circulaire, cette force s'accroissant à mesure que la particule de dimension l se rapproche dans son mouvement circulaire de l'axe du réacteur, à la force de résistance hydrodynamique de la particule entraînée par le flux de gaz s'engouffrant dans le conduit de sortie du réacteur. Il est important de remarquer que la dimension des particules sortantes l dépend de l'angle β et donc des paramètres du réacteur revendiqué dans la présente invention comme le montrent les relations [5] – [7]

Le schéma de mode d'alimentation du générateur de plasma revendiqué dans la présente invention est illustré sur la Fig. 1. L'alimentation est effectuée par paquets d'impulsions de courant électrique d'amplitude I , et de tension d'amplitude U . Le courant est généré par ondes bipolaires à haute fréquence ν_1 en particulier de forme sinusoïdale. Des paquets d'ondes sont formés. Leur durée est τ_2 . Cette durée est choisie de manière que l'amplitude

du courant électrique n'excède pas une valeur de l'intensité du courant I correspondant à une température et donc une conductivité électrique données. En pratique,

$$3 < I < 30 \text{ A,}$$

ce qui correspond à la recommandation empirique $\tau_2 = \psi / U \cdot I$. où ψ est la quantité d'énergie contenue dans le volume du jet de plasma (typiquement, $\psi \sim 10^3 \text{ J}$)

Le laps de temps τ_3 entre les impulsions est au plus égal au temps de relaxation du plasma comme il l'est dit plus haut dans le paragraphe de la description de la présente invention où sont analysés les paramètres des impulsions électriques.

Le dispositif pour la mise en œuvre du procédé de traitement de matière fragmentée par flux de plasma réactif à pression atmosphérique tel que défini dans l'invention présente est illustré par la Fig. 2.

Comme le montre la Fig.2a, la partie centrale du réacteur est le générateur de plasma PIT (1) assurant la génération d'un jet de plasma non-thermique à température intermédiaire qui est le résultat d'une décharge électrique de haute tension à impulsions telles que montrées sur la Fig.1. Le présent dispositif est caractérisé en ce qu'il est généré par des impulsions de tension et de courant d'amplitudes données contrôlables ***U et I***, organisées en paquets d'ondes bipolaires à haute fréquence de forme sinusoïdale, en dent de scie ou en créneaux ou autres, dont la durée et la fréquence sont réglées de manière à maintenir la décharge en état non-stationnaire pour lequel se réalise un état du plasma hors d'équilibre thermodynamique. Cette organisation est réalisée dans le dispositif de génération d'impulsions (10) alimenté, par exemple, par un courant alternatif triphasé venant du réseau. La présence dans ce dispositif de moyens de limitation de l'amplitude du courant électrique (par exemple des inductances ballastes (2), placées dans le circuit primaire ou secondaire du générateur) de la fréquence de répétition des paquets d'impulsions et de la période de répétition de ces paquets (par exemple un système de thyristors(3)) permettent de régler les niveaux des températures T_i et T_e . La température des composants lourds T_i du plasma (molécules, radicaux, atomes, ions) peut ainsi être variée de 1000 – 6000 K, et la température des électrons, de 10 000 à 20 000 K. Les variations de températures dans ces diapasons permettent donc de réaliser un grand spectre de réactions plasmochimiques dans le réacteur.

Ce sont également ces dispositions qui permettent d'obtenir une longueur importante du jet de plasma (entre 0,5 et 5m pour des puissances de 10 à 100 kW et des vitesses de gaz comprises entre 1 et 10 m/s), condition indispensable et exclusive pour la réalisation de la présente invention puisque le plasma peut dans ce cas être organisé sous forme d'un tourbillon ou cyclone de plusieurs spires (7) qui offre un grand volume d'échanges

énergétiques notamment avec le flux de matière fragmentée (8) qui fait l'objet du traitement dans le réacteur considéré dans le cadre de la présente invention. Il est évident que, suite aux échanges entre les deux flux (7) et (8), ces deux flux se mélangent à une certaine distance du lieu de leur formation.

- 5 Des dispositifs de génération à deux, trois, six électrodes sont réalisables. La Fig. 1a illustre l'utilisation de générateur à trois électrodes (11). Un, deux ou plusieurs générateurs de plasma de ce type peuvent être installés dans la paroi du réacteur.

La Fig. 2b qui est une section AA du réacteur tel que montré sur la Fig.2a illustre l'utilisation simultanée de deux générateurs de plasma.

- 10 Comme le montre le schéma de la Fig.2a, les générateurs de plasma (1) ainsi que les conduits d'apport du (des) flux de gaz de support (4) chargé des fragments à traiter (5) sont fixés sur le réacteur de manière à créer respectivement des angles α et β avec le plan(6), perpendiculaire à l'axe du réacteur selon les relations [3] [4] et [5] – [7] respectivement, ce qui permet d'organiser les flux de plasma (7) et de matière fragmentée (8) en au moins deux
- 15 jets hélicoïdaux indépendants l'un de l'autre mais qui, à une certaine distance du lieu de formation, se mélangent. Cette géométrie, ainsi que le choix des dimensions D et D_e et des vitesses du mouvement du plasma V_s et du mouvement des fragments U, permet d'optimiser l'intensité des échanges énergétiques et la plénitude des réactions plasmochimiques qui ont lieu dans le réacteur faisant l'objet de la présente invention.

- 20 Le diamètre d du conduit de sortie (9) est choisi de manière que le gaz de sortie ne contienne que des particules solides de dimension inférieure à une dimension donnée l_0 selon l'équation [8] :

Le réacteur peut avoir la forme d'un cône (12), comme le montre la Fig.2a, ou d'un cylindre.

- 25 Les gaz résiduels qui peuvent contenir des particules solides de dimension supérieure à l_0 sortent du réacteur par un conduit (13).

- Le dispositif illustré par la Fig. 2 fonctionne de la manière suivante: au moment de l'amorçage de la décharge dans le plasmatron 1, alimentée par des impulsions électriques à partir d'un générateur 10, impulsions conditionnées par des dispositifs de limitation de l'amplitude du courant électrique, par exemple des inductances (2), et des dispositifs (3) de
- 30 formation d'impulsions de courant électrique bipolaire, un arc de plasma PIT se stabilise par les forces électromagnétiques et la traînée du flux de gaz qui baigne les électrodes (11) et pénètre dans le réacteur sous un angle α par rapport au plan(6) perpendiculaire à l'axe du réacteur suivant une trajectoire hélicoïdale de diamètre D_e . Le jet de plasma PIT (7) ainsi créé se localise le long des spires de l'hélice car la conductivité électrique de la zone de
- 35 plasma est à tout moment de beaucoup supérieure à la conductivité des zones voisines. Un jet de gaz(8) chargé de fragments de matière à traiter(5) est alors injecté dans le réacteur le long d'une trajectoire hélicoïdale de diamètre D qui fait un angle β avec le plan

perpendiculaire à l'axe du réacteur. Les vitesses respectives V_s et U des flux sont différentes ce qui concourt à créer des échanges énergétiques intenses entre les flux. Les angles α et β sont choisis de manière que la zone de plasma soit entièrement contenue dans le volume du réacteur et que le procédé plasmochimique escompté se passe entièrement durant le déplacement des fragments le long de leur trajectoire hélicoïdale à l'intérieur du réacteur. Les conditions [4] – [7] ont lieu. Les courants hydrodynamiques qui ont lieu et le diamètre d du conduit (9) d'évacuation des parcelles de matière résiduelles sont organisés et choisis de manière que, si nécessaire, seulement les particules résiduelles de dimension inférieure à une dimension donnée l_0 sont évacuées par le conduit (9). Les autres résidus de dimension supérieure restent dans le réacteur jusqu'à ce que leur traitement soit compatible avec les exigences pour le produit sortant ou bien sont évacués par des conduits (13).

La Fig. 3 montre une variante de mise en œuvre de la présente invention selon laquelle le réacteur, de géométrie cylindrique, est une enceinte hermétique destinée à la production de produits combustibles sans contact avec toute atmosphère oxydante, en particulier l'air ambiant. Le produit à traiter est introduit par le conduit (4) dans le réacteur sous forme de gaz chargé de fragments de matière à traiter (5). Le gaz porteur de fragments (5) est introduit sous un angle β entre l'axe du conduit (4) et le plan perpendiculaire à l'axe du réacteur suivant une trajectoire hélicoïdale (7). Le plasma, généré par le plasmatron (1) pourvu des électrodes (11) est introduit sous un angle α entre l'axe du plasmatron (1) et le plan perpendiculaire à l'axe du réacteur suivant une trajectoire hélicoïdale (8).

La Fig. 3 montre une variante du réacteur correspondant au cas où les deux flux vont à l'encontre l'un de l'autre. Le plasmatron(1) et le conduit (4) sont montés sur des rotules (26) qui permettent de varier, régler, optimiser et contrôler les angles d'attaque du flux de plasma, α , et du jet de gaz chargé de fragments à traiter, β . Sous l'effet des forces centrifuge et hydrodynamique, les fragments à traiter se propagent le long des parois du réacteur. Pour accélérer le procédé de traitement ces parois sont pourvues d'aspérités qui peuvent avoir la forme de pointes (31) destinées à concasser les fragments ou à les libérer de la couche cassante de produit formé à leur surface (par exemple dans le cas de la torréfaction de fragments de bois). Pour augmenter les forces centripètes qui agissent sur les fragments traités, la paroi périphérique du réacteur peut être exécutée sous forme de tambour tournant, pourvu d'un système d'engrenages(30) et mis en mouvement de rotation par un moteur (29). Le tambour est supporté par des coussinets étanches(28). Le plasmatron est alimenté en gaz par le fluide provenant de la cavité du réacteur. Par l'intermédiaire des conduits (19) et (20) et du compresseur (ou ventilateur) (18).

Les particules traitées répondant aux conditions [8] sont évacuées par le conduit (9). Les particules (17) qui ne répondent pas aux conditions [8] sont évacuées par l'intermédiaire d'un collecteur (12) et d'un réceptacle (13) d'où, par un conduit (23), elles sont dirigées vers le dispositif d'entrée (27) du flux de gaz chargé des fragments à traiter dans lequel, par l'intermédiaire du conduit (22) et du doseur de fragments (21) est introduit le flux initial de gaz chargé de fragments à traiter.

Un conduit 16 est prévu pour prélever une partie du gaz généré dans le réacteur et l'envoyer par l'intermédiaire du ventilateur (15) dans le réacteur en flux tourbillonnant (25) , ce qui permet de renforcer le mouvement de cyclone de gaz chargé de fragments de matière à traiter.

5

La Fig. 4 illustre une autre réalisation de la mise en œuvre de la présente invention dans le cas où la matière à traiter se présente sous forme de fragments (5) fortement agglomérés. Le produit venant du conduit d'entrée (4) est introduit dans le réacteur par une trémie (40) et passe dans le réacteur par l'intermédiaire d'un mécanisme, par exemple, une vis sans fin actionnée par un moteur et un système d'engrenages (30). Les fragments ainsi introduits, dotés d'un mouvement de rotation (8) se répartissent dans une zone périphérique (36) du réacteur. Le plasma est généré par le plasmatron (1) pourvu des électrodes (11). Il pénètre dans la zone de réaction (35), entraîné par un gaz périphérique entrant par le conduit (33) qui subit une impulsion de rotation due à la présence d'une grille (32) (nid d'abeilles) disposée sur son passage. Au démarrage du réacteur le gaz périphérique (par exemple de l'air (38)) rentre par le conduit (39) pourvu d'une vanne. Quand le réacteur fonctionne normalement, la vanne (39) est fermée et le réacteur est alimenté par le gaz produit dans le réacteur par un système de récupération de gaz comprenant un conduit (43), une valve de réglage du débit (39'), un réfrigérant (42), un compresseur (41). Comme le montre la Fig.4, une partie de ce gaz est introduite directement dans le réacteur par le conduit (54).

10

15

20

Le gaz produit est évacué par le conduit (23). Les restes de fragments (17) sont renvoyés par le conduit (9) vers l'entrée du réacteur. Le déflecteur (37) empêche les restes de fragments non traités de s'accumuler dans le réacteur et de former des bouchons.

Le réacteur est fixé par un support (34).

25

Dans le cas considéré, selon les appellations de la présente invention, l'angle α varie entre 20° et 60° tandis que l'angle β est pratiquement égal à 90° vu le mode utilisé de propulsion mécanique des fragments de matière à traiter.

30

Une autre mise en œuvre de la présente invention est réalisée et illustrée par la Fig.5. Dans ce cas les fragments à traiter (5) ont de très petites dimensions, ce qui fait que les angles α et β sont pratiquement égaux à 90° . C'est le cas des brûleurs de chaudières, par exemple, où le flux de matière à traiter est représenté par un flux d'air chargé de poussières de charbon, de lignite, de tourbe séchée et moulue, ou de poussières de charbon de bois ou encore de

35

poussières de bois torréfié, etc. Le réacteur, proposé dans la présente invention pour ce cas, est un brûleur à plasma que l'expérience a montré être avantageux en comparaison des brûleurs à mazout ou fioul ou à gaz naturel. Le brûleur proposé est fixé dans la paroi de la chaudière par le support (34). Il est essentiellement constitué d'un plasmatron PIT (1) pourvu d'électrodes (11), tel que décrit pour les applications des Fig.2, Fig.3 et Fig.4. Les fragments (5) sont amenés par un flux d'air 4 dans un conduit cylindrique coaxial au plasmatron (1) alimenté par un flux d'air (46). Entre

40

le canal du plasmatron et le conduit d'entrée du flux d'air chargé de poussières de combustible, est disposé un conduit intermédiaire alimenté par un flux d'air (43) qui traverse une grille en nid d'abeilles (32) destinée à former le profil des vitesses de l'air entre le flux alimentant le plasmatron et le flux d'air porteur des poussières de combustible dans la zone (36)-(55). Ce flux intermédiaire permet d'éviter un mélange turbulent (brutal) du flux (4) et du jet de plasma qui provoquerait un dégagement de chaleur de combustion trop intense et trop concentré vu les propriétés catalytiques du jet de plasma PIT. La grille (32) profile les vitesses du flux intermédiaire de manière que le mélange ait lieu de manière progressive et que la chaleur de combustion dégagée se répartisse dans un grand volume de la chaudière. La structure du jet de plasma est constituée d'une zone initiale (35) et d'une zone de mélange avec le flux intermédiaire (35)-(36). Les profils de vitesses des flux de gaz coaxiaux se transforment dans la zone (36)-(55). Les poussières n'entrent en contact avec les particules actives du plasma que dans la zone de flux intermédiaire (55)-(45). Le front de combustion des poussières dans l'air ne se développe que dans la zone étendue (45) – (44) où les particules de combustible petit à petit disparaissent, transformées en CO₂ et H₂O. La solution que présente la Fig.5 se diffère des solutions existantes par le fait que le plasma se développe dans un espace important, que le plasma est en état fortement excité (PIT), ce qui permet une combustion efficace dans un grand volume de la chaudière, que les pertes thermiques sont très faibles et que le rendement du brûleur est proche de 85 – 90%.

La Fig 6 illustre un autre cas extrême de l'application de la présente invention. Les fragments traités dans ce cas sont de grandes dimensions. Cela correspond à la situation telle que proposée dans la présente invention où les angles α et β sont tous deux proches de 0°. La partie périphérique de la cavité du réacteur 47 se présente sous forme d'un tore. Les fragments (5) sont introduits tangentiellement dans cette cavité, par exemple mécaniquement, au moyen du conduit (48) pourvu d'une vis sans fin(49). Le flux de matière à traiter se meut dans la cavité du réacteur selon une trajectoire pratiquement circulaire (51). Le plasmatron du type PIT (1) avec ses électrodes (11), tel que décrit dans les Fig. 2, Fig.3 et Fig.4, est fixé dans le corps du réacteur de manière que l'axe du jet de plasma généré (7) soit tangentiel à l'axe du tore. Un jet de gaz de support (8) issu du conduit (4) et un jet (53) de gaz catalyseur (par exemple de vapeurs d'eau (52)), sont également injectés tangentiellement. Les quatre jets se rejoignent et se mélangent dans la cavité toroïdale. Les gaz et les particules solides(13), produits selon les conditions [8] de la présente invention, sont évacués par le conduit de sortie (9).

Un dispositif de ce type, exécuté en mode hermétique avec cycle fermé des gaz produits, peut être utilisé, par exemple, pour la production de poussières de bois torréfié.

Exemples d'applications de la présente invention.

Exemple 1Réacteur de plasma non-thermique à base d'air à pression atmosphérique applicable en tant que brûleur de chaudière de centrale électrique (voir schéma Fig.1)

- 5
- Localisation des tests: Frunze (Bishkek, Kirghizstan) centrale électrique à charbon;
 - Type de Chaudière: BKZ – 160 . 100 F
 - Débit d'air dans le plasmatron : $\sim 0,1\text{m}^3/\text{s}$
 - Débit d'air dans le flux intermédiaire : $\sim 0,3\text{ m}^3/\text{s}$

10

 - Débit d'air porteur de fragments : $\sim 1\text{ m}^3/\text{s}$
 - Nature des fragments : poussière de charbon maigre.
 - Dimension des particules : entre 10 et 100 μm
 - Puissance : 50 kW
 - Pression : 1 bar

15

 - Tension aux électrodes : $U = 10\text{ kV}$
 - Courant électrique maximum : $I = 30\text{ A}$
 - Fréquence du courant alternatif triphasé : 50 Hz
 - Quantité d'électrodes : 6
 - Longueur de jet de plasma : $\sim 2\text{m}$

20

 - Dispositif de stabilisation: distributeur à nid d'abeilles.
 - Le jet de plasma conserve ses propriétés quasi-laminaires grâce aux mesures prises pour le stabiliser.

 - Débit maximum de charbon pulvérisé dans le brûleur à plasma: 1 ton/h
 - Caractéristiques du charbon pulvérisé :
 - HP = 16,7 MJ/kg.
 - Contenu en cendres : 35% ;
 - contenu volatile : 28 - 38%

25

 - Quantité de brûleurs à fioul sur la chaudière : 8 (2étages de 4)
 - Quantité de brûleurs de plasma installés pour remplacer les brûleurs à fioul: 2

30

 - Niveau d'Installation: second
 - Durée des tests: $\sim 10\text{ jours} \times 8\text{ heures}$
 - Résultats des tests:
 - Débit total de fioul sans brûleurs à plasma: 500kg/h
 - Débit total de fioul avec brûleurs à plasma: 350kg/h

35

 - Economie: 1 brûleur PIT donne une économie de fioul de 75 kg/h, soit $\sim 70\text{ €/h}$

40

Exemple 2.

Réacteur de plasma non-thermique à base de gaz de composition complexe à pression sub-atmosphérique applicable pour la fabrication de poudres de bois torréfié.

- 5
- Type de réacteur : Voir schéma Fig.6.
 - Exécution hermétique.
 - Puissance électrique : 100 kW
 - Pression : 1,2 bar.

10

 - Amplitude de la tension aux électrodes : $U = 10$ kV
 - Amplitude du courant : $I = 10$ A
 - Fréquences et périodes :
 - $\nu_1 = 13,6$ MHz
 - $\tau_2 = 10^{-2}$ s

15

 - $\tau_3 = 310^{-2}$ s
 - Quantité d'électrodes : 6
 - Diamètre intérieur du réacteur : 1 m
 - Diamètre du cylindre inscrivant les électrodes : 0,15 m
 - Diamètre du cercle tangent à l'axe du réacteur : 0,8 m

20

 - Diamètre du cercle tangent à l'axe d'entrée des fragments à traiter : 0,7 m
 - Diamètre du cercle tangent à l'axe du canal d'introduction des vapeurs d'eau : 0,9 m
 - Diamètre d du tube de sortie (9) du réacteur : 16 mm
 - Nature des fragments : Déchets de bois de sapins et de pins sous forme de copeaux.

25

 - Dimensions caractéristiques des fragments : entre 0,01 et 0,1 m
 - Débit des fragments : 1 T/h
 - Débit de la poudre de bois torréfié obtenu : 0,2 T/h
 - Puissance dépensée (principalement pour l'évaporation de l'eau contenue dans les déchets de bois) ~ 90 kW

30

 - Rendement thermique : $\sim 0,9$
 - Dimension des particules de bois torréfié obtenues : entre 0,005 et 0,02 mm
 - Dimension des fragments produits et sélectionnés dans le tube de sortie selon le calcul par la formule [8] pour le diamètre 16 mm : 0,01 mm (des aspérités sous forme de pointes métalliques de hauteur 3 mm sont aménagées dans la paroi du réacteur. Un concasseur est installé dans le canal de retour des fragments traités) ;

35

40

Exemple 3Réacteur plasma PIT pour la transformation de déchets de bois en syngaz.

- Type de réacteur : Voir schéma Fig.3.
- 5 • Exécution hermétique.
- Puissance électrique : 90 kW
- Pression : 1,1 bar.
- Amplitude de la tension aux électrodes : $U = 12$ kV
- Amplitude du courant : $I = 5$ A
- 10 • Fréquences et périodes caractéristiques suivant la présente invention:
 - $\nu_1 = 13,6$ MHz
 - $\tau_2 = 2 \cdot 10^{-2}$ s
 - $\tau_3 = 4 \cdot 10^{-2}$ s
- Quantité d'électrodes du plasmatron : 3
- 15 • Diamètre intérieur du réacteur : 1 m
- Diamètre du cylindre inscrivant les électrodes : 0,2 m
- Diamètre des spires du jet de plasma: 0, 8 m
- Diamètre des spires des fragments à traiter : 0,8m
- Flux inverses du plasma et du gaz portant les fragments.
- 20 • Dimension caractéristique des fragments à l'entrée du réacteur: $\sim 0,01$ m
- Paramètres du réacteur calculés selon les recommandations données dans la présente invention et réalisés sur le réacteur :
 - Angle α réalisé selon calcul par les formules [3] et [4]: $\sim 30^\circ$
 - Angle β réalisé selon calcul par les formules [5] et [6]: $\sim 20^\circ$
- 25 • Débit des fragments : 1 T/h
- Température de formation du syngaz : $\sim 900^\circ\text{C}$
- Débit de syngaz ($\text{CO} + \text{H}_2$) obtenu : $\sim 0,2$ kg/s.

Conclusions ressortant des exemples :

- 30 1. La mise en œuvre de la présente invention permet d'obtenir des longueurs et des volumes de jet de plasma non-isothermique dans le sens des formules [1] et [2] de la présente invention de l'ordre de plusieurs mètres, ce qui permet de déplacer le plasma le long de spires qui se mélangent avantageusement au flux de gaz porteur chargé des fragments de matière à traiter.
- 35 2. Les angles d'entrée du jet de plasma et du flux de gaz portant chargé des fragments de matière à traiter, tels que calculés selon les recommandations données dans la présente invention permettent de réaliser les buts de l'invention.

- 5 3. Dans le cas où le procédé et le dispositif correspondant sont réalisés dans le but de fabriquer des particules de combustible solide à partir du jet de gaz porteur chargé des fragments de matière à traiter, on conclut que la présente invention permet d'atteindre les objectifs fixés et de produire des poudres de granulométrie voulue en observant les recommandations établies.
- 10 4. Le plasmatron PIT conçu dans la présente invention et alimenté comme la présente invention le recommande, s'est avéré efficace dans les différents modes réalisés en pratique de mise en œuvre de la présente invention, notamment en tant que brûleur assisté par plasma, avantageusement utilisable pour l'alimentation des chaudières de centrales électrique.
- 15 5. Le procédé revendiqué et le dispositif pour sa mise en œuvre, tels qu'utilisés dans les présents exemples, permettent d'atteindre des buts de la présente invention. En particulier, les exemples fournis ont démontré qu'ils peuvent être exploités dans différents modes de réalisation, notamment, sans être pour autant limitant, pour produire des poudres de combustibles telles que les poudres de bois torréfié et des gaz combustibles tel que le syngaz.
- 20

25 Bien que l'invention ait été décrite en liaison avec des structures particulières, elle n'y est nullement limitée et on peut y apporter de nombreuses variantes. Il est possible de rajouter des éléments supplémentaires.

30 Les combinaisons des différentes réalisations représentées sur les dessins ou décrites ci-dessus ne sortent pas du cadre de l'invention.

35 Les signes de référence insérés après les caractéristiques techniques mentionnées dans les revendications ont pour seul but de faciliter la compréhension de ces dernières et n'en limitent aucunement la portée.

REVENDICATIONS

- 5 1. Procédé de traitement de matière fragmentée dans un réacteur cylindrique ou
conique réalisé par un flux réactif rotationnel et d'un flux de gaz de support chargé
de la matière fragmentée mise en mouvement hélicoïdal, coaxial au réacteur,
caractérisé en ce que le flux rotationnel est constitué d'un ou de plusieurs (j) jet(s),
continus, de plasma réactif non-thermique (PIT), dit à températures intermédiaires,
10 fonctionnant à pression sensiblement égale à la pression atmosphérique, se
déplaçant suivant une (des) trajectoire(s) hélicoïdale(s) de diamètre D_e sous un angle
 α par rapport au plan perpendiculaire à l'axe de symétrie du réacteur et que le flux
de matière fragmentée est propulsé par un ou plusieurs (i) jets de gaz de support
suivant une trajectoire hélicoïdale de diamètre D sous un angle β par rapport au plan
15 perpendiculaire à l'axe de symétrie du réacteur, les angles α et β étant choisis en
fonction du débit de la matière fragmentée entrante, G , des vitesses d'un agent
propulsant U , de la vitesse du(des) jet(s) de plasma, V_s , de la dimension
caractéristique des fragments entrants de matière, l , de la longueur de la zone de
réaction Y , selon les conditions de plénitude des réactions,:

20
$$\alpha (\pm 10\%) = \arcsin(Y/j\Lambda)$$

$$\beta (\pm 15\%) = \arcsin U \cdot c \cdot \delta \cdot \Delta T_f / i \cdot Y \cdot Q_p$$

où

- 25 Λ est la longueur (exprimée en m) du (des) jet(s) de plasma non-thermique (PIT) à
températures intermédiaires, donnée par la formule empirique $\Lambda = k_p (U$
 $l)^{0.13} D_e^{0.12} V_s^{0.13}$;

Q_p est la densité (exprimée en W/m^3) du flux d'énergie conféré aux fragments par le
plasma, donné par la formule $Q_p = (1/3) (kT_i)^{0.5} \cdot m_i^{-0.5} \cdot E \cdot l \cdot \sigma$;

et où

c est la chaleur spécifique de la matière fragmentée ($J/m^3.K$) ;

δ est la profondeur du traitement effectué sur les fragments de matière (m) ;

ΔT_f est le niveau de température auquel s'effectue de traitement (K) ;

5 U et I sont respectivement l'amplitude de la tension aux électrodes donnée par le (les) générateur(s) de jet(s) de plasma (en V) et I est l'amplitude de l'intensité correspondante du courant qui y passe (en A) ;

T_l est la température moyenne des particules lourdes du plasma (en pratique 2000K) ;

10 T_e est la température des électrons du plasma (PIT) à températures intermédiaires (K) ;

m_l est la masse moyenne des particules lourdes du plasma (kg) ;

15 E est la quantité d'énergie plasmochimique conférée au fragment de matière lors d'une collision avec une molécule du jet de plasma non-thermique à températures intermédiaires (eV) ;

σ est la section efficace des particules du plasma par rapport aux collisions élastiques entre elles (en pratique $\sigma \sim 10^{-19} m^2$) ;

k est la constante de Boltzmann ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} J/K$) ;

k_p est un coefficient empirique ($k_p \sim 6,31 \cdot 10^{-2} m_l^{0,5} J^{-0,3} s^{0,3}$) ;

20 les marges de variation des angles α et β , mentionnées dans les relations, étant établies selon la pratique des tests effectués.

2. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que les jets de plasma non-thermique PIT à températures intermédiaires, entraînés dans leur mouvement hélicoïdal, sont alimentés par une tension et un courant alternatifs bipolaires en impulsions, chaque impulsion étant constituée d'un paquet d'ondes d'amplitudes respectives U et I générées à une fréquence ν_1 , les grandeurs U , I , et ν_1 amorcent le plasma et le maintenir allumé, et la durée τ_2 est maintenue jusqu'à une température T_l donnée dans les marges $1000 \leq T_l \leq 6000$ K et inférieure à la température du plasma stationnaire isothermique (en équilibre thermodynamique) généré à la fréquence ν_1 , les impulsions se répétant à des laps de temps τ_3 inférieurs au temps

25

30

de relaxation du plasma, les temps caractéristiques de la génération des impulsions étant soumis aux relations :

$\tau_1 (= 1/v_1)$, cette génération pouvant avantageusement être réalisée sous forme d'ondes bipolaires à haute fréquence, sinusoïdales, en créneaux, en dents de scie, etc. ;

$$\tau_2 = \psi / U.I.$$

où ψ est la quantité d'énergie contenue dans le jet de plasma (typiquement, $\psi \sim 10^3$ J)

$$\tau_3 \leq \tau \sim (kT)^{-1.5} (ml)^{0.15} P \sigma_p$$

où σ_p est la section efficace moyenne de recombinaison des électrons avec les ions du plasma ($\sigma_p \sim 10^{-20}$ m²),

P est la pression ($P \sim 10^5$ Pa),

k est la constante de Boltzmann ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K)

T_1 est la température des particules lourdes du plasma ($T \sim 2 \cdot 10^3$ K) ;

3. Procédé selon les revendications précédentes, caractérisé en ce que les particules solides résultant du procédé sont piégées dans le réacteur et traitées jusqu'à ce que leur dimension devienne plus petite qu'une dimension limite choisie l_0 , dans quel cas elles sont automatiquement évacuées par un conduit axial de diamètre d , le choix des paramètres du réacteur pour ce faire étant soumis à l'équation:

$$\text{où } l_0 = (tg\beta)^2 (\rho_g / \rho_c) d^3 / 4D^2 ;$$

ρ_g et ρ_c sont respectivement les densités de la phase gazeuse et de la phase solide (matière des fragments) présentes dans le réacteur ;

D est le diamètre de la spire le long de laquelle sont introduits les fragments de matière à traiter dans le réacteur.

4. Procédé selon les revendications précédentes caractérisé en ce qu'au moins une partie du gaz résiduel du traitement est renvoyé à l'entrée du réacteur après sa formation dans le réacteur, devenant agent gazeux propulsant et gaz de support du plasma.

5. Dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le flux rotationnel de gaz réactif est créé par un plasmatron (1) pourvu d'électrodes (11) fixé sur le réacteur (par exemple des moyens 26) de manière à ce que le jet de plasma (7) qu'il génère soit dirigé sous un angle α par rapport au plan perpendiculaire à l'axe du réacteur, et que le flux de gaz de support chargé de la matière fragmentée (5) mise en mouvement hélicoïdal (8) soit dirigé au moyen d'un conduit (4) fixé (par des moyens de fixation 26') sous un angle β par rapport au plan perpendiculaire à l'axe du réacteur, tel que défini dans le procédé selon la revendication 1.
6. Dispositif selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le plasmatron PIT est alimenté par un générateur d'impulsions électriques (10) contenant des moyens de limitation de l'amplitude de courant (par exemple des inductances (2) placées sur chaque phase d'alimentation) et des systèmes (3) permettant de former les impulsions électriques conforme au procédé selon la revendication 2 ainsi que les moyens de mesures des paramètres mentionnés en permettant l'optimisation.
7. Dispositif, selon les revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que le conduit de sortie (9) des produits créés dans le réacteur est construit de manière que son diamètre intérieur d est limité de manière conforme au procédé selon la revendication 3 en fonction du diamètre D des spires (8) suivies par le flux de gaz porteur chargé des fragments (5), de l'angle β défini dans le procédé selon la revendication 1, de la dimension exigée, l_0 , des particules à produire dans le réacteur et des densités ρ_c et ρ_g de la matière des fragments traités et du gaz porteur.
8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, caractérisé en ce que la propulsion des fragments (5) s'effectue mécaniquement par des moyens tels que, par exemple, une vis sans fin de type (30) ou (49) et que la progression des fragments traités (5) soit organisée de manière, que dans leur mouvement, lesdits fragments s'entrechoquent et se concassent, par exemple, suite à la présence d'aspérités (31)

dans la paroi intérieure du réacteur ou de concasseur installé dans le canal de renvoi des fragments insuffisamment traités vers l'entrée dans le réacteur.

- 5 9. Dispositif, selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, caractérisé en ce que le réacteur est pourvu de conduits ((23), (43)) et d'appareils (compresseur (41), échangeur de chaleur ou refroidisseur (42)), valves (39')) permettant, le renvoi à l'entrée du réacteur des produits gazeux, ainsi que des conduits et (des containers 9', 23, 27) conçus et construits de manière à rassembler et renvoyer à l'entrée du réacteur et retraiter les produits solides non totalement traités dans le réacteur.
- 10
10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 5 à 9, caractérisé en ce qu'il est conçu pour le traitement de poussières fines (5) emportées par un flux de gaz porteur (air) comme, par exemple, pour une application de brûleur assisté par plasma dans une chaudière de centrale électrique, dispositif pour lequel les angles α et β tels que définis dans le procédé selon la revendication 1 sont pratiquement égaux à 90° et que le plasmatron (1) est entouré d'un conduit coaxial (43) pourvu d'une grille en nid d'abeille (32) permettant de structurer le flux de plasma issu du plasmatron (1) et d'agencer son mélange avec le flux de gaz porteur(4) chargé des particules (5).

20

1/6

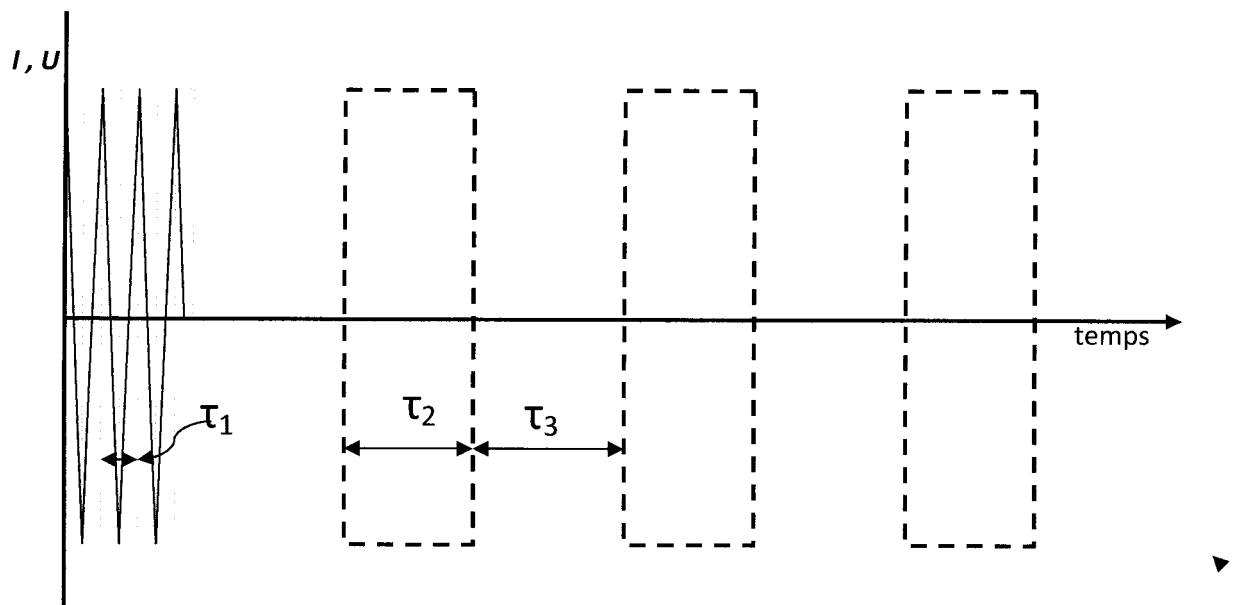


Fig 1

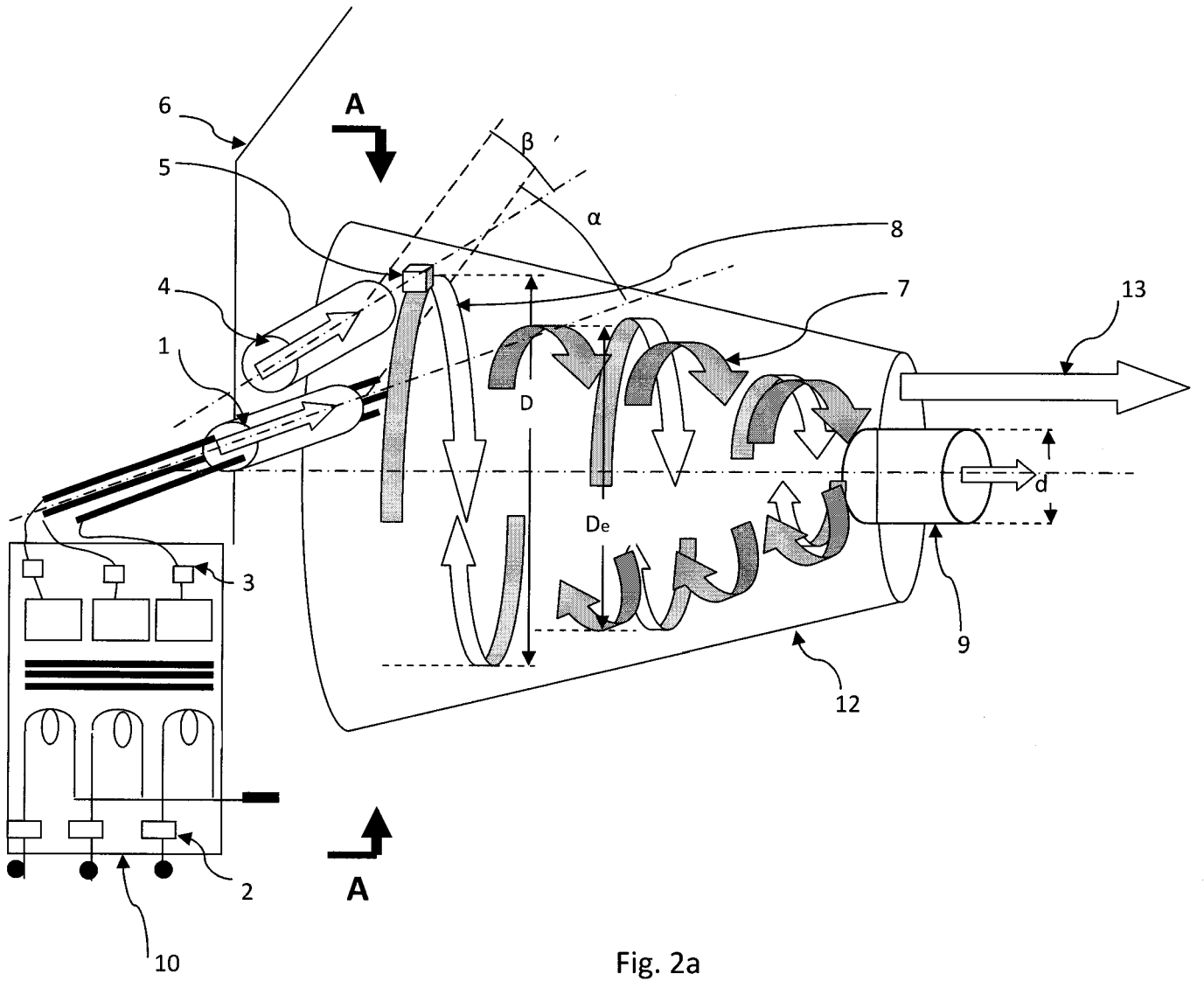


Fig. 2a

Section AA

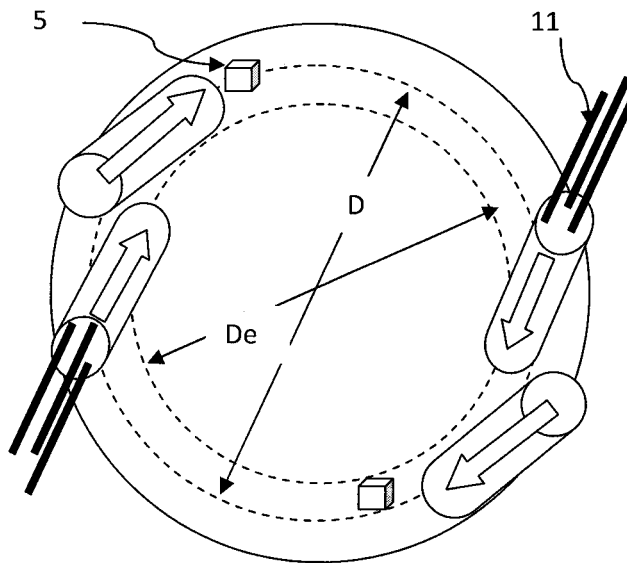


Fig 2b

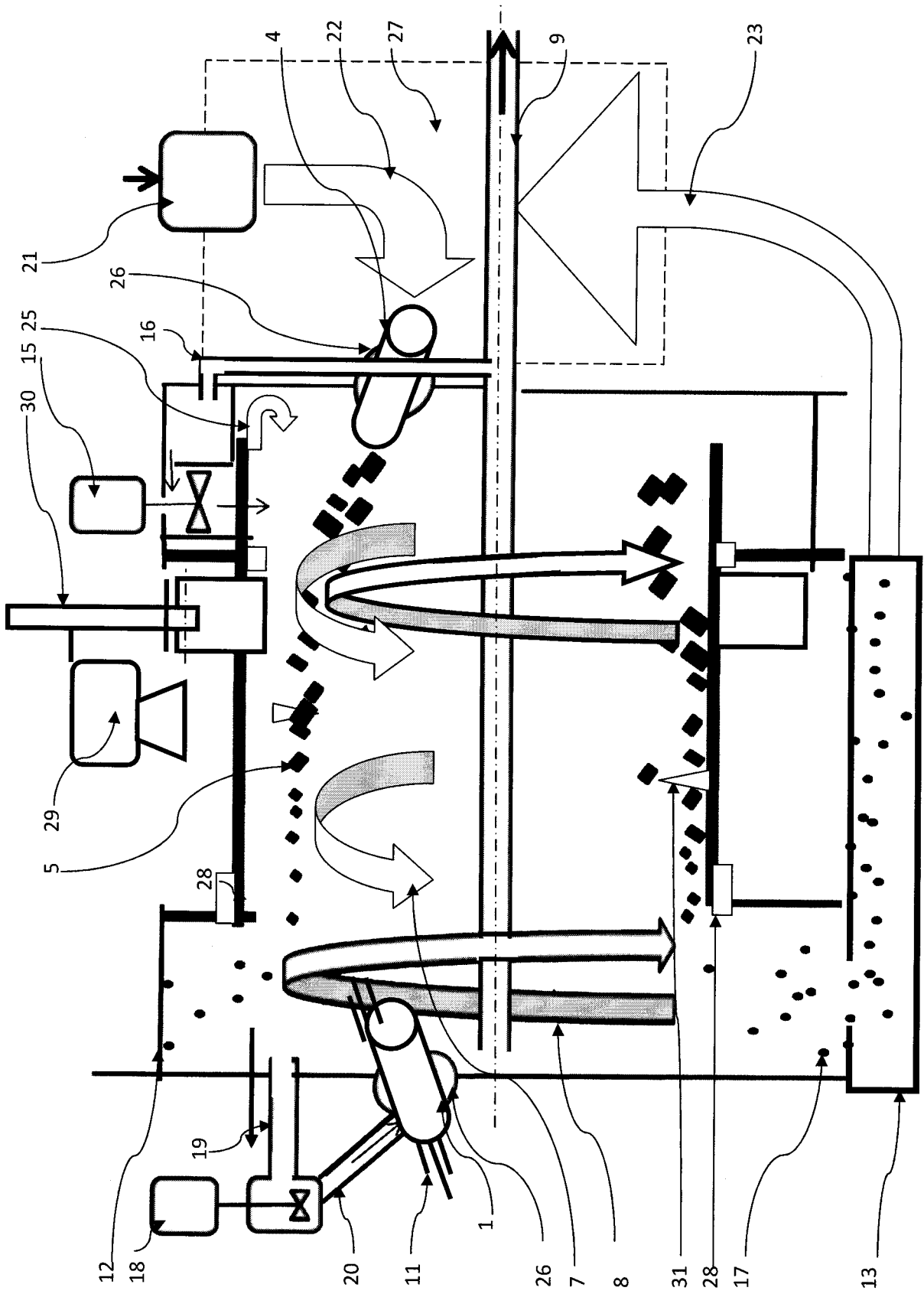


Fig 3

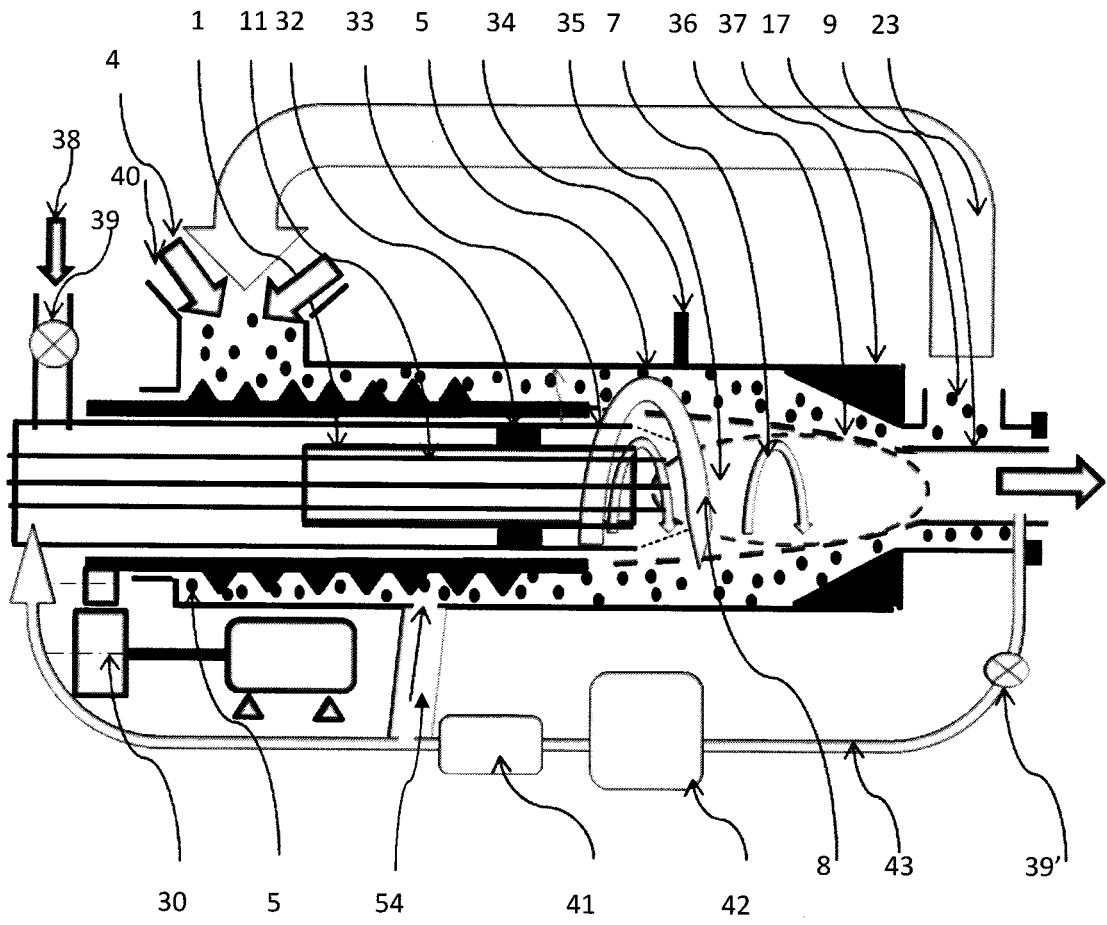


Fig.4

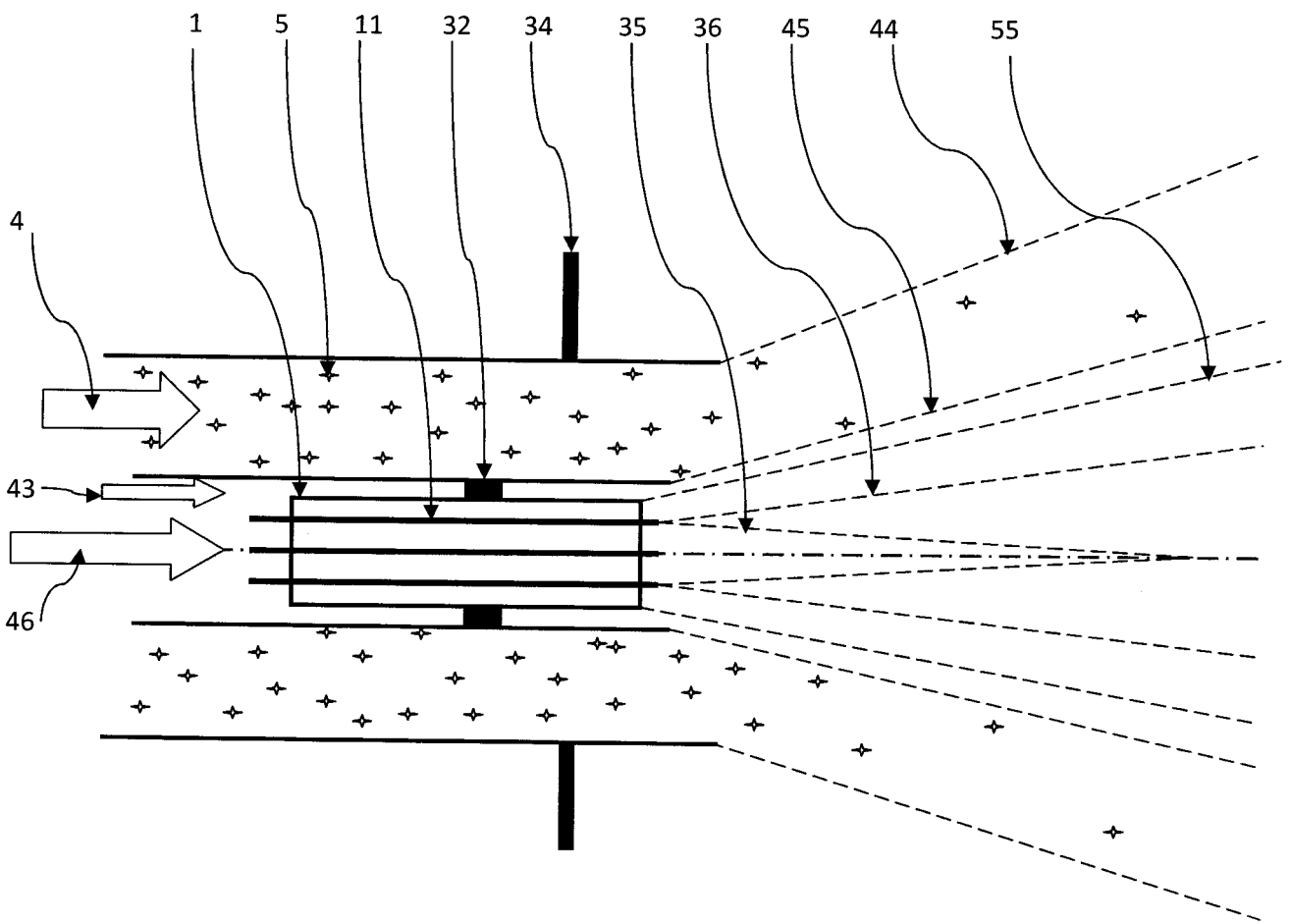


Fig.5

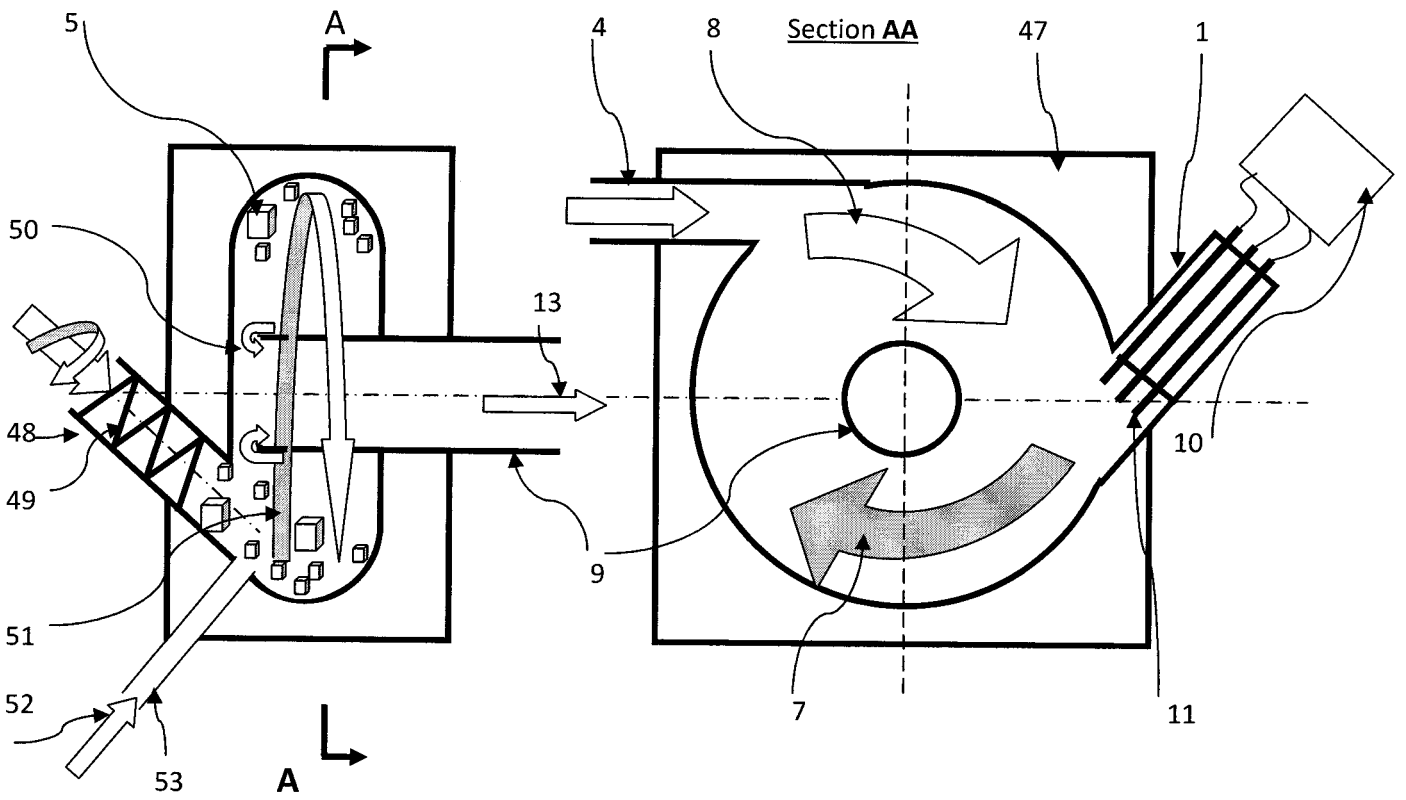


Fig 6

RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

US 2010/044483 A1 (FORET TODD [US]) 25 février 2010 (2010-02-25)

WO 2011/119274 A1 (UNIV DREXEL [US]; RABINOVICH ALEXANDER [US]; GALLAGHER
MICHAEL [US]; F) 29 septembre 2011 (2011-09-29)

US 2009/100752 A1 (SESSA JOHN P [US] ET AL) 23 avril 2009 (2009-04-23)

US 6 355 312 B1 (FOERNSSEL PETER [DE] ET AL) 12 mars 2002 (2002-03-12)

US 4 489 041 A (WONG FRANKLIN S [US] ET AL) 18 décembre 1984 (1984-12-18)

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

NEANT

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

NEANT