

(19)



(11)

EP 1 750 057 A2

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
07.02.2007 Bulletin 2007/06

(51) Int Cl.:
F23D 11/10 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **06300849.4**

(22) Date de dépôt: **01.08.2006**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
 HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
 SK TR**
 Etats d'extension désignés:
AL BA HR MK YU

- **Recourt, Patrick Jean-Marie**
91460, Marcoussis (FR)
- **Amirat, Mohand**
93400, Saint Ouen (FR)
- **Constantin, Gabriel**
78530, BUC (FR)
- **Tsiava, Remi Pierre**
91250, SAINT GERMAIN LES CORBEI (FR)

(30) Priorité: **04.08.2005 FR 0552431**

(71) Demandeur: **L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME
 POUR
 L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES
 GEORGES CLAUDE
 75007 Paris (FR)**

(74) Mandataire: **Ducieux, Marie
 L'Air Liquide,
 Service Propriété Industrielle,
 75 Quai d'Orsay
 75321 Paris Cedex 07 (FR)**

(72) Inventeurs:
 • **Leroux, Bertrand**
 92130, ISSY LES MOULINEAUX (FR)

(54) **Procédé de combustion d'un combustible liquide à atomisation étagée**

(57) La présente invention se rapporte, d'une part, à un procédé de combustion d'un combustible liquide comprenant les étapes visant à produire un spray (10) du combustible liquide par injection d'un flux principal (3) d'un gaz d'atomisation au contact du combustible liquide (4), ledit procédé étant caractérisé en ce qu'au moins un flux secondaire (1) de gaz d'atomisation est injecté à proximité du spray (10) de manière à réaliser une atomisation secondaire dudit spray (10) préalablement à sa mise en contact avec un jet de comburant en vue de procéder à la combustion du spray, et d'autre part, à un brûleur mettant en oeuvre un tel procédé de combustion.

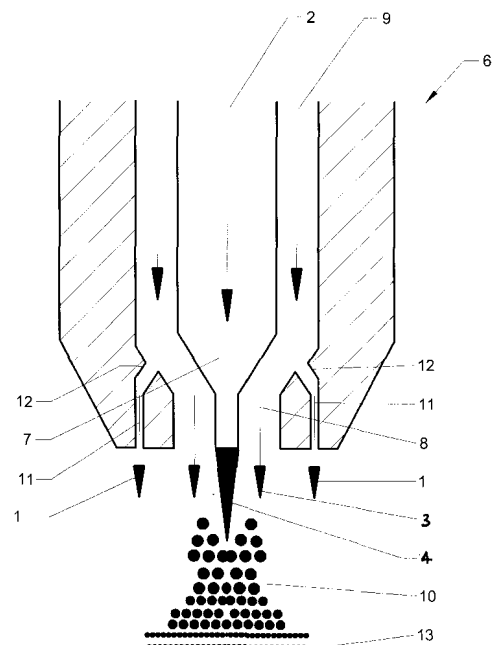


Fig. 1

EP 1 750 057 A2

Description

[0001] La présente invention se rapporte à un procédé de combustion d'un combustible liquide, ainsi qu'à un brûleur mettant en oeuvre le procédé selon l'invention.

[0002] Lors de la mise en place d'un système de combustion pour four industriel par exemple, une des préoccupations majeures est d'optimiser l'efficacité de la combustion en contrôlant au mieux les propriétés de flammes, tout en respectant les besoins du procédé chauffé en terme de transferts thermiques et en diminuant au maximum les rejets de polluants atmosphériques.

[0003] La combustion diphasique d'un combustible liquide par un oxydant gazeux comporte deux étapes principales avant qu'il ne soit procédé à la combustion proprement dite. Dans un premier temps, il est nécessaire de procéder à l'atomisation du combustible liquide au moyen d'un gaz d'atomisation injecté de manière à déstabiliser le flux de combustible liquide et former un spray de combustible présentant une surface de contact accrue avec le comburant en vue de favoriser la combustion. Le gaz d'atomisation utilisé peut être de l'air, de l'oxygène, de la vapeur ou encore du gaz naturel, par exemple. Il est ensuite nécessaire que les gouttes de combustible liquide ainsi formées s'évaporent avant que celui-ci ne brûle avec le comburant. Le temps de vaporisation des gouttes de combustible étant grand devant le temps de réaction, le mélange des réactifs et, par conséquent, les propriétés de combustion dépendent essentiellement des caractéristiques du spray de combustible, notamment de la taille des gouttes de combustible formées.

[0004] Les caractéristiques du spray dépendent du type d'injecteur utilisé. La plupart des injecteurs mettent en oeuvre un différentiel de vitesse important entre le gaz d'atomisation et le combustible liquide pour déstabiliser ce dernier et former le spray. Il existe deux types d'injecteurs selon qu'un écoulement de grande vitesse est imposé au combustible ou au gaz d'atomisation, à savoir les injecteurs mécaniques dans lesquels le combustible est soumis à une pression élevée et s'écoule à grande vitesse à travers un orifice de faible diamètre, et les injecteurs dits « à deux fluides » dans lesquels un jet de combustible s'écoule à une vitesse relativement faible et est déstabilisé par un écoulement à grande vitesse de gaz d'atomisation. Toutefois, les injecteurs mécaniques sont peu utilisés car ils présentent, d'une part, des risques élevés d'obturation de l'orifice d'injection du combustible par des dépôts, et d'autre part, une gamme de débit limitée en raison du coût important des compresseurs nécessaires pour atteindre des pressions de liquide élevées.

[0005] Les injecteurs à deux fluides peuvent quant à eux permettre de très grandes vitesses d'écoulement du gaz d'atomisation. Dans cette catégorie, on distingue les atomiseurs assistés par air, fonctionnant avec de faibles débits de gaz éjecté à très grande vitesse, et les atomiseurs à pulvérisation caractérisés par des vitesses d'écoulement du gaz d'atomisation plus faibles mais des

débits plus élevés. Le mélange des deux fluides peut s'effectuer dans un milieu confiné (injecteur à mélange interne) ou en dehors du système d'injection (injecteur à mélange externe).

[0006] Par ailleurs, l'écoulement de combustible liquide peut éventuellement être orienté de manière à former un film sur une surface appropriée avant sa mise en contact avec l'écoulement de gaz d'atomisation. Dans ce cas, l'injecteur sera appelé atomiseur avec formation préalable d'une nappe liquide ("prefilming atomizer" en anglais), et dans le cas contraire, atomiseur avec écoulement liquide complet ("plain jet atomizer" en anglais).

[0007] Les injecteurs les plus communément utilisés en oxy-combustion sont de type injecteurs à deux fluides, à pulvérisation avec une vitesse de gaz d'atomisation inférieure à 200 m.s⁻¹, à mélange externe, et avec écoulement liquide complet (plain jet).

[0008] Le contrôle des propriétés de combustion d'un spray produit par de tels injecteurs s'effectue principalement en modifiant les vitesses relatives du gaz d'atomisation et du combustible liquide. Ce faisant, la taille moyenne des gouttes du spray de combustible s'en trouve modifiée, et, par voie de conséquence, le temps de vaporisation par rapport au temps de réaction de la combustion l'est également. La taille des gouttes et le temps de vaporisation contrôlent le mélange du combustible évaporé avec le comburant, et sont donc des paramètres très importants de la combustion, déterminant notamment si la combustion est complète ou non. Toutefois, bien que le contrôle des vitesses d'injection permette de régler les propriétés du spray et de la combustion diphasique pour les adapter au procédé chauffé, de tels injecteurs présentent encore un manque de flexibilité.

[0009] Par exemple, il est difficile de contrôler efficacement le refroidissement de l'injecteur. En effet, une augmentation du débit du gaz d'atomisation se traduit par une réduction de la taille moyenne des gouttes, et par conséquent par un rapprochement de la zone de réaction et donc un échauffement de l'injecteur.

[0010] De plus, pour un débit de gaz d'atomisation trop élevé, le mode d'atomisation peut passer d'un mode fibre, c'est-à-dire avec un cône liquide pleinement développé, à un mode superpulsant, c'est-à-dire avec un cône liquide court et tronqué. Dans ce cas, la zone de réaction risque de se stabiliser dans le voisinage immédiat du brûleur et conduire à sa destruction. Par ailleurs, une vitesse du gaz d'atomisation trop élevée peut également conduire à une instabilité de la flamme. En effet, il a été montré que la stabilité de la flamme pouvait être reliée au rapport du temps de mélange sur le temps caractéristique de la chimie de combustion, la flamme étant stable lorsque ce rapport est supérieur à 1. Dans le cas d'une augmentation trop importante de la vitesse du gaz d'atomisation, le temps de mélange devient inférieur au temps caractéristique de la chimie de combustion et la condition de stabilité n'est plus vérifiée.

[0011] Un autre inconvénient est que les caractéristiques du spray influent sur plusieurs paramètres qu'il n'est

donc pas possible de contrôler indépendamment les uns des autres. Ainsi, il n'est pas possible de contrôler indépendamment la taille des gouttes du spray et l'angle du spray, caractéristiques dépendant toutes deux du rapport de la quantité de mouvement du gaz d'atomisation sur celle du combustible. Plus particulièrement dans le cas où ce rapport des quantités de mouvement est inférieur à 5, une augmentation du débit du gaz d'atomisation se traduit simultanément par une diminution de la taille des gouttes et par un élargissement de l'angle du spray, la flamme risquant alors d'interagir avec celles de brûleurs adjacents.

[0012] Un autre inconvénient apparaît dans le cas où un combustible présentant une viscosité élevée est utilisé. Dans ce cas, un simple flux de gaz d'atomisation injecté en couronne autour du flux de combustible liquide ne permet pas une atomisation régulière produisant un spray avec des tailles de gouttes homogènes. Ceci entraîne une irrégularité de la combustion et des difficultés de stabilisation de la flamme.

[0013] La présente invention a pour but de pallier les inconvénients précédemment évoqués et consiste pour cela en un procédé de combustion d'un combustible liquide comprenant les étapes visant à produire un spray du combustible liquide par injection d'un flux principal d'un gaz d'atomisation au contact du combustible liquide, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'au moins un flux secondaire de gaz d'atomisation est injecté à proximité du spray de manière à réaliser une atomisation secondaire dudit spray préalablement à sa mise en contact avec un jet de comburant en vue de procéder à la combustion du combustible.

[0014] Ainsi, pour un même débit total du gaz d'atomisation, le débit du premier flux d'atomisation est diminué, ce qui entraîne la formation d'un spray présentant une taille des gouttes formées au voisinage de l'injecteur plus importante. Les gouttes de combustible du premier spray subissent ensuite une deuxième atomisation conduisant à un spray modifié présentant des gouttes de petite taille. Un premier spray étant déjà formé, l'atomisation secondaire est plus efficace, notamment dans le cas d'un combustible présentant une viscosité importante, et entraîne les gouttes du spray modifié plus loin de l'injecteur. De par cette atomisation étagée du combustible liquide, la réaction de combustion intervient plus loin de l'injecteur, diminuant ainsi les risques d'échauffement et de destruction du brûleur. Il convient de noter que dans le cas où le brûleur possède une canne d'injection en retrait, l'atomisation secondaire permet d'opérer avec un retrait plus important. Par ailleurs, les écoulements de gaz d'atomisation ainsi multipliés permettent un refroidissement plus efficace du brûleur. La durée de vie de l'injecteur s'en trouve augmentée et la maintenance réduite.

[0015] Cette amélioration du refroidissement de l'injecteur est particulièrement intéressante dans le cas où le gaz d'atomisation utilisé est l'oxygène, gaz pour lequel les risques d'échauffement sont élevés.

[0016] En outre, la présence d'un flux d'atomisation

secondaire réduit la dépendance entre la taille des gouttes (longueur de flamme) et l'angle du spray (largeur de flamme) en limitant l'augmentation de ce dernier. La longueur de flamme peut donc être plus facilement contrôlée tout en limitant les risques d'interaction avec les flammes de brûleurs adjacents.

[0017] Un autre avantage de l'invention est la réduction des émissions de composés NOx. En effet, la température de la flamme obtenue étant plus homogène, la formation de NOx est réduite. Ce phénomène est accentué par une meilleure dilution des réactifs et des produits de combustion grâce au flux secondaire de gaz d'atomisation.

[0018] Selon une première variante de mise en oeuvre du procédé, le flux secondaire de gaz d'atomisation est injecté selon une direction parallèle à la direction d'injection du combustible liquide.

[0019] Selon une deuxième variante de mise en oeuvre du procédé, le flux secondaire de gaz d'atomisation est injecté selon une direction oblique convergeant vers la direction d'injection du combustible liquide. Il est ainsi possible de contrôler l'angle du spray de manière plus précise, l'angle du spray modifié étant égal à deux fois l'angle entre la direction d'injection du flux secondaire de gaz d'atomisation et la direction d'écoulement du combustible. Avantageusement, le flux secondaire de gaz d'atomisation sera injecté selon un angle compris entre 0 et 60°, de préférence selon un angle compris entre 0 et 30°

[0020] On peut éventuellement prévoir des moyens de réglage permettant d'orienter la direction d'injection du flux de gaz d'atomisation secondaire par rapport à la direction d'injection du combustible liquide afin de permettre l'augmentation de la largeur de la flamme, et par voie de conséquence le transfert de chaleur au procédé chauffé, si nécessaire.

[0021] Avantageusement, le flux secondaire de gaz d'atomisation est injecté de manière à présenter un écoulement turbulent. Ainsi, l'écoulement turbulent améliore la dilution des réactifs et des produits de combustion et réduit encore les émissions de composés NOx.

[0022] De manière préférentielle, le débit secondaire de gaz d'atomisation représente entre 20 % et 70 % du débit total de gaz d'atomisation.

[0023] Avantageusement, le flux secondaire de gaz d'atomisation est divisé en plusieurs flux injectés de manière uniformément répartie et à égale distance autour du flux de combustible liquide. L'injection peut être effectuée, entre autres, par un écoulement concentrique autour de l'injection de combustible ou par une pluralité d'ouvertures débouchant au niveau de la tête du brûleur et régulièrement réparties autour de l'injection de combustible. Plus précisément, le flux principal de gaz d'atomisation est injecté coaxialement autour du combustible liquide tandis que le flux secondaire est injecté par la pluralité d'ouvertures.

[0024] Le procédé selon l'invention convient parfaitement au procédé de combustion étagée dans lequel le

comburant est injecté est divisé en plusieurs flux introduits à différentes distances du spray de combustible, tel que celui notamment décrit dans WO 2004/094902. Ainsi, le jet de comburant peut être divisé en un jet de comburant primaire et un jet de comburant secondaire, le jet de comburant primaire étant injecté à proximité du spray de combustible de manière à engendrer une première combustion incomplète, les gaz issus de cette première combustion comportant encore au moins une partie du combustible, tandis que le jet de comburant secondaire est injecté à une distance l_1 du spray de combustible qui est supérieure à la distance entre le spray de combustible et le jet de comburant primaire le plus proche du spray de combustible, de manière à entrer en combustion avec la partie du combustible présent dans les gaz issus de la première combustion. L'invention couvre également le cas où un troisième jet de comburant est injecté à une distance l_2 du spray de combustible qui est supérieure à la distance l_1 .

[0025] Le procédé selon l'invention est particulièrement adapté aux brûleurs diphasiques dans lesquels le gaz d'atomisation est injecté, d'une part, avec une vitesse au moins 10 fois supérieure à la vitesse d'injection du combustible, et d'autre part, avec un débit massique de gaz d'atomisation supérieur à 10 % du débit massique du combustible.

[0026] La présente invention se rapporte également à un brûleur mettant en oeuvre le procédé de combustion diphasique précédent, ledit brûleur comprenant au moins un moyen d'injection d'un combustible associé à au moins un moyen d'injection de gaz d'atomisation de manière à produire un spray de combustible, et au moins un moyen d'injection en comburant, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un moyen d'injection secondaire de gaz d'atomisation disposé à proximité du moyen d'injection de combustible. Il convient de noter que dans le cas d'un brûleur à jets hautement séparés, un tel brûleur comprend un moyen d'injection primaire en comburant, un moyen d'injection secondaire en comburant disposé à une distance du moyen d'injection en combustible supérieure à celle du moyen d'injection primaire, et éventuellement un moyen d'injection tertiaire en comburant disposé en bordure du brûleur.

[0027] Avantagement, le moyen d'injection secondaire de gaz d'atomisation est réalisé par dérivation d'une alimentation commune de gaz d'atomisation. Le choix du diamètre de la dérivation permet de définir un ratio entre le flux primaire de gaz d'atomisation et le flux principal. Avantagement encore, le moyen d'injection secondaire est orienté parallèlement ou obliquement par rapport au moyen d'injection en combustible.

[0028] La mise en oeuvre de l'invention sera mieux comprise à l'aide de la description détaillée qui est exposée ci-dessous en regard du dessin annexé dans lequel :

- la figure 1 est une représentation schématique partielle agrandie en coupe longitudinale d'une tête

d'atomisation d'un brûleur selon l'invention.

- la figure 2 est une vue de face de la tête d'atomisation de la figure 1.
- la figure 3 est une représentation schématique partielle agrandie en coupe longitudinale d'une autre tête d'atomisation d'un brûleur selon l'invention.

[0029] Un procédé de combustion selon l'invention est mis en oeuvre par un brûleur comportant une tête d'atomisation 6 à pulvérisation avec mélange externe telle que représentée sur les figures 1 et 2. Cette tête d'atomisation 6 comprend :

- un conduit d'éjection 7 d'un flux de combustible liquide 4 délivré par une alimentation en combustible 2 et
- un conduit d'éjection 8 de gaz d'atomisation concentrique au conduit d'éjection 7 du combustible et relié à une alimentation 9 en gaz d'atomisation et débouchant au contact du flux de combustible 4 de manière à produire un spray 10 de combustible liquide sous l'action d'un flux principal 3 de gaz d'atomisation.

[0030] De plus, la tête d'atomisation 6 présente six canaux d'éjection secondaires 11 orientés parallèlement au conduit d'éjection 7 du combustible et au conduit d'éjection 8 de gaz d'atomisation. Ces six canaux d'éjection secondaires 11 sont répartis uniformément autour des conduits d'éjection 7, 8 et sont destinés à créer des flux secondaires 1 de gaz d'atomisation prélevés de l'alimentation 9 en gaz d'atomisation par des canaux de dérivation 12. Sous l'effet de ces flux secondaires 1 de gaz d'atomisation, le spray 10 de combustible liquide subit ainsi une deuxième atomisation produisant un spray modifié 13. Ce spray modifié 13 est ensuite destiné à venir au contact d'un flux de comburant (non représenté), éventuellement divisé en un flux primaire et un flux secondaire, pour procéder à la combustion du combustible. Une alimentation tertiaire en comburant peut également être située à une distance relativement importante de la tête d'atomisation 6 et est utilisée pour injecter de l'oxygène avec une vitesse élevée de manière à assurer une dilution suffisante des réactifs avant la zone principale de combustion afin d'éviter une formation trop importante de composés NOx thermiques. Des expériences ont permis de montrer qu'un tel brûleur dans lequel 50 % de l'oxygène total était injecté au niveau de l'alimentation tertiaire, permettait d'obtenir, toutes choses étant égales par ailleurs, une distance de stabilisation de flamme égale à environ quatre fois la distance de stabilisation de flamme d'un injecteur classique sans flux secondaire de gaz d'atomisation. Cette plus grande distance de stabilisation permet de réduire l'échauffement de la tête d'atomisation 6. Par ailleurs, il a également été montré que la flamme obtenue était plus homogène et plus longue due à l'atomisation retardée, le spray 10 possédant une taille de gouttes plus importante qu'un spray issu d'un brûleur classique, tandis que le spray modifié 13 présente une

taille de gouttes plus petite et des gouttes mieux diluées et donc réparties de façon plus homogène.

[0031] La flamme plus homogène ainsi obtenue a pour conséquence une réduction de l'écart de température entre les points chauds et les points froids.

[0032] Il a également été montré une réduction significative des émissions de composés NO_x par un brûleur équipé d'une tête d'atomisation 6 selon l'invention. Une réduction d'un facteur variant entre 1,2 et 1,5 selon la distribution de comburant choisie peut être obtenue pour un même débit total de gaz d'atomisation. Cette réduction peut être expliquée par le retard de la zone de réaction obtenu grâce à l'invention.

[0033] En variante, une tête d'atomisation 1, telle que représentée sur la figure 3, diffère de la tête d'atomisation 6 uniquement par le fait qu'elle comprend des conduits d'éjection secondaires 14 orientés obliquement d'un angle α par rapport à la direction de l'écoulement de combustible. L'angle α est avantageusement compris entre 0 et 60°, de préférence entre 0 et 30°. Ces conduits d'éjection secondaires 14 délivrent des flux secondaires 5 de gaz d'atomisation venant former avec le spray 10 un spray modifié 13 possédant un angle de spray égal à 2α . Une telle tête d'atomisation 1 permet un réglage plus précis de la largeur de la flamme.

[0034] Bien que l'invention ait été décrite en liaison avec des exemples particuliers de réalisation, il est bien évident qu'elle n'y est nullement limitée et qu'elle comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci entrent dans le cadre de l'invention.

Revendications

1. Procédé de combustion d'un combustible liquide comprenant les étapes visant à produire un spray (10) du combustible liquide par injection d'un flux principal (3) d'un gaz d'atomisation au contact du combustible liquide (4), ledit procédé étant **caractérisé en ce qu'**au moins un flux secondaire (1, 5) de gaz d'atomisation est injecté à proximité du spray (10) de manière à réaliser une atomisation secondaire dudit spray (10) préalablement à sa mise en contact avec un jet de comburant en vue de procéder à la combustion du combustible.
2. Procédé de combustion selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le flux secondaire (1) de gaz d'atomisation est injecté selon une direction parallèle à la direction d'injection du combustible liquide.
3. Procédé de combustion selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le flux secondaire (5) de gaz d'atomisation est injecté selon une direction oblique convergeant vers la direction d'injection du combustible liquide.
4. Procédé de combustion selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le flux secondaire (1, 5) de gaz d'atomisation est injecté de manière à présenter un écoulement turbulent.
5. Procédé de combustion selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** le débit de gaz d'atomisation dans le flux secondaire (1, 5) de gaz d'atomisation représente entre 20 % et 70 % du débit total de gaz d'atomisation.
6. Procédé de combustion selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le flux secondaire (1, 5) de gaz d'atomisation est divisé en plusieurs flux injectés de manière uniformément répartie et à égale distance autour du flux de combustible liquide (4).
7. Procédé de combustion selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le jet de comburant est divisé en un jet de comburant primaire et un jet de comburant secondaire, le jet de comburant primaire étant injecté à proximité du spray de combustible liquide de manière à engendrer une première combustion incomplète, les gaz issus de cette première combustion comportant encore au moins une partie du combustible, tandis que le jet de comburant secondaire est injecté à une distance l_2 du spray de combustible qui est supérieure à la distance entre le jet de combustible liquide et le jet de comburant primaire le plus proche du spray de combustible liquide, de manière à entrer en combustion avec la partie du combustible présent dans les gaz issus de la première combustion.
8. Brûleur comprenant au moins un moyen d'injection (7) d'un combustible liquide associé à au moins un moyen d'injection (8) de gaz d'atomisation de manière à produire un spray (10) de combustible, et au moins un moyen d'injection en comburant, **caractérisé en ce qu'**il comprend au moins un moyen d'injection secondaire (11, 12, 14) de gaz d'atomisation disposé à proximité du moyen d'injection de combustible.
9. Brûleur selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le moyen d'injection (11, 12, 14) secondaire de gaz d'atomisation est réalisé par dérivation d'une alimentation commune (9) de gaz d'atomisation.
10. Brûleur selon l'une quelconque des revendications 8 ou 9, **caractérisé en ce que** le moyen d'injection (11, 12, 14) secondaire est orienté parallèlement ou obliquement par rapport au moyen d'injection (7) en combustible.

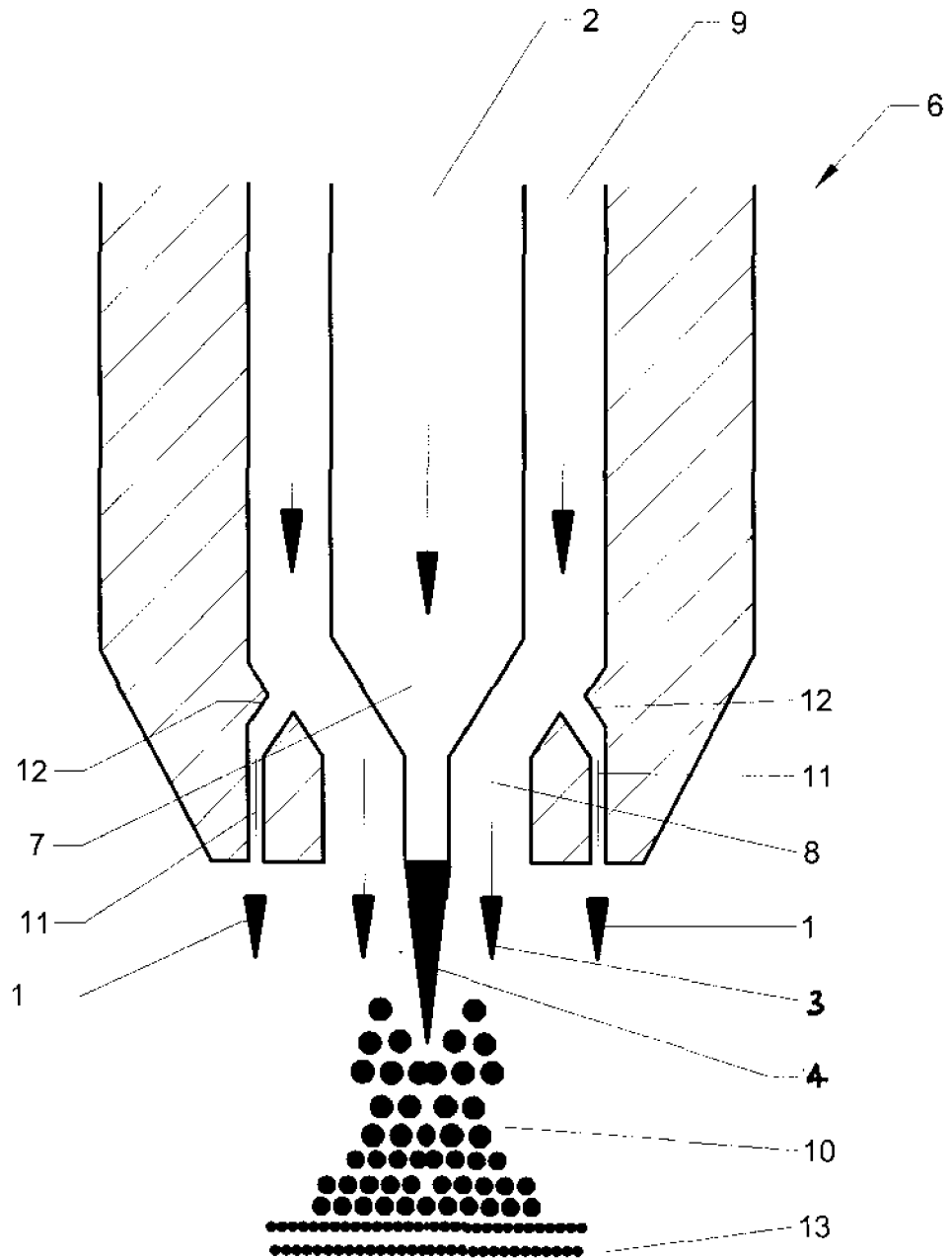


Fig. 1

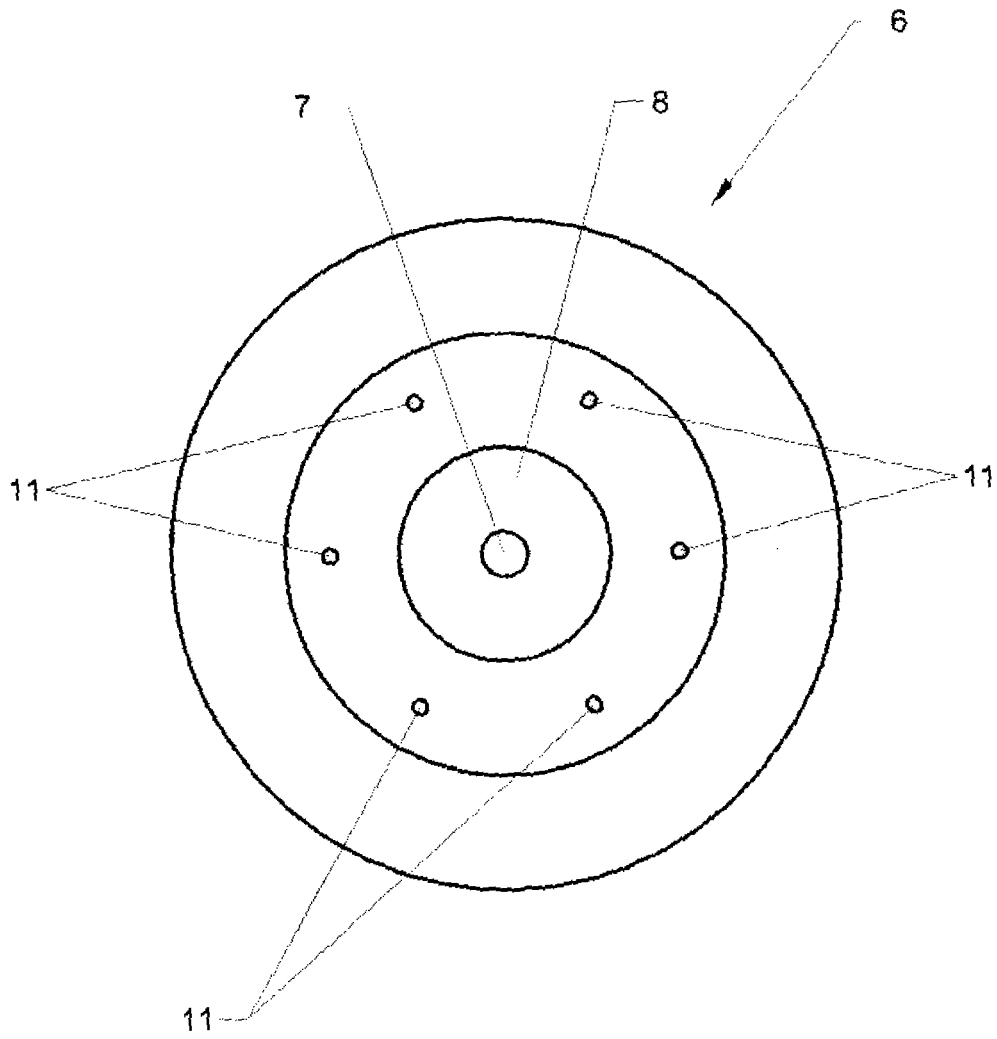


Fig. 2

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- WO 2004094902 A [0024]