



(22) Date de dépôt/Filing Date: 1991/06/05

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 1991/12/06

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2001/07/24

(30) Priorité/Priority: 1990/06/05 (90/06.938) FR

(51) Cl.Int.⁵/Int.Cl.⁵ B04C 7/00

(72) Inventeurs/Inventors:

Briens, Cédric, CA;
Bergougnou, Maurice, CA;
Gauthier, Thierry, FR;
Galtier, Pierre, FR

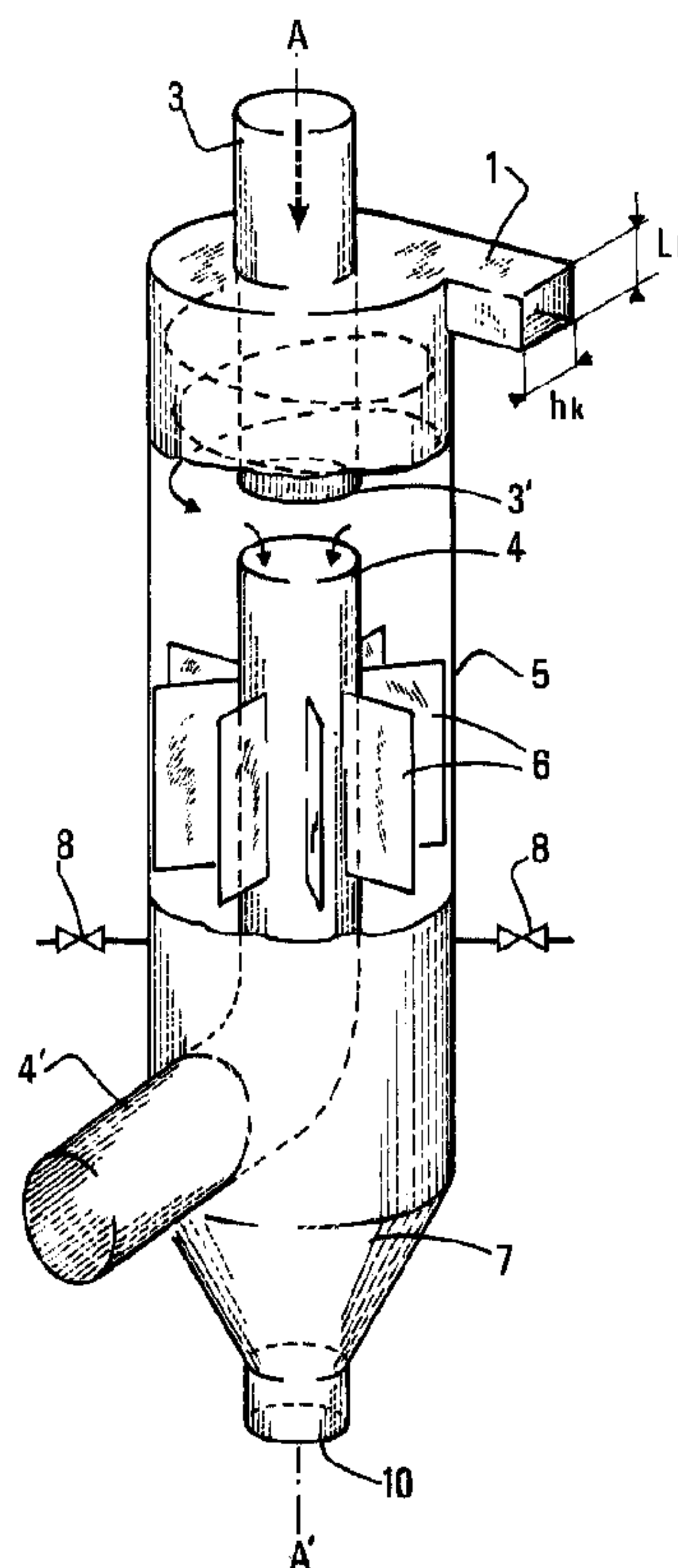
(73) Propriétaire/Owner:

INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : MELANGEUR-SEPARATEUR CYCLONIQUE A CO-COURANT ET SES APPLICATIONS

(54) Title: CO-CURRENT CYCLONE MIXER, SEPARATOR, AND APPLICATIONS THEREOF



(57) Abrégé/Abstract:

Séparateur cyclonique à co-courant permettant de séparer une phase légère L1, contenue dans un mélange M1 comprenant également une phase dense D1 comportant en aval, dans le sens de circulation de la phase dense D1, du niveau de l'entrée interne de l'enceinte intérieure, des moyens limitant la progression de la phase légère L1 à l'extérieur de ladite enceinte intérieure. Le mélange M1 est introduit et on récupère la phase dense D1 et la phase légère. Cet appareil permet la séparation rapide, à partir d'un mélange M1, comprenant une phase dense et une phase légère, de ladite phase dense et de ladite phase légère, par exemple la séparation d'un solide et d'un gaz.



PRECIS DE LA DIVULGATION

Séparateur cyclonique à co-courant permettant de séparer une phase légère L1, contenue dans un mélange M1 comprenant également une phase dense D1 comportant en aval, dans le sens de circulation de la phase dense D1, du niveau de l'entrée interne de l'enceinte intérieure, des moyens limitant la progression de la phase légère L1 à l'extérieur de ladite enceinte intérieure. Le mélange M1 est introduit et on récupère la phase dense D1 et la phase légère. Cet appareil permet la séparation rapide, à partir d'un mélange M1, comprenant une phase dense et une phase légère, de ladite phase dense et de ladite phase légère, par exemple la séparation d'un solide et d'un gaz.

La présente invention concerne un mélangeur-séparateur cyclonique a co-courant. Cet équipement de génie chimique est un appareil permettant la séparation d'une phase dense D1 contenue dans un premier mélange M1 contenant ladite phase dense D1 et une phase légère L1, et le mélange de ladite phase légère L1 à une phase dense D2 ou à un second mélange
5 M2 contenant une phase dense D2 et une phase légère L2.

La présente invention concerne également l'utilisation de ce mélangeur-séparateur (dénommé ci-après l'appareil) pour l'échange rapide de chaleur entre une phase légère L1 et une phase dense D2 ou un mélange M2 contenant au moins une phase dense D2 et au moins une phase
1 0 légère L2 (par exemple la trempe ultra-rapide d'un gaz par injection d'un solide froid). Elle concerne également l'utilisation de cet appareil pour l'échange ou le remplacement rapide d'une phase dense D1 par une autre phase dense D2 différente de D1 (par exemple d'un solide par un autre) dans un mélange contenant une phase dense et une phase légère (par exemple une phase réactionnelle comprenant un catalyseur que l'on remplace très rapidement
1 5 par un autre catalyseur ou par le même catalyseur moins usagé).

L'appareil de la présente invention peut ainsi être utilisé dans le procédé, dénommé ultra-pyrolyse, décrit par exemple par Graham et al, World Fluidisation Conference, Mai 1986, Elsinore Danemark, qui est un procédé de craquage à haute température, à l'état fluidisé et
2 0 avec des temps de séjour du gaz dans le réacteur inférieur à la seconde. Dans ce procédé la chaleur de réaction est habituellement fournie par un solide caloporteur mélangé avec la charge à l'entrée du réacteur, ce qui provoque un choc thermomécanique sur celle-ci. Pour contrôler le temps de réaction et obtenir une bonne efficacité thermique, il est nécessaire de séparer les solides caloporteurs, qui sont ensuite recyclés, des produits gazeux de la réaction,
2 5 puis de refroidir très rapidement, c'est à dire d'effectuer la trempe, des produits gazeux de la réaction dans un équipement approprié. Pour des réactions ultra-rapides, la séparation et la trempe doivent être aussi rapprochées que possible.

Pour effectuer simplement la trempe, on peut injecter des solides froids. Pour que cette
3 0 trempe soit efficace, il est nécessaire d'avoir un système permettant d'obtenir un mélange aussi efficace que possible entre les produits gazeux de la réaction et les solides froids. Un système de séparateur combiné en série à un mélangeur, par exemple un mélangeur par jet à impaction, peut être envisagé. Cependant, un tel système nécessitera deux équipements distincts, et le gaz séparé des solides chauds devra encore rester quelques instants à un
3 5 niveau thermique élevé ce qui a pour conséquence la poursuite des réactions pendant encore

un certain temps après la séparation des solides chauds jusqu'à l'arrêt de ces réactions par abaissement brutal de la température au moment où les gaz entrent en contact avec les solides froids.

- 5 L'appareil de la présente invention permet une amélioration de l'efficacité de la trempe et une simplification de l'appareillage en regroupant au sein du même dispositif les deux fonctions de séparation des produits gazeux et des solides chauds et de trempe ultra-rapide des produits gazeux par des solides froids.
- 1 0 Dans l'application envisagée ci-avant l'appareil permet, de séparer les produits gazeux de la réaction des solides chauds, et d'injecter très efficacement des solides froids dans les produits gazeux de la réaction, en utilisant un cyclone modifié. Dans cet appareil le vortex, induit pour séparer les solides chauds des produits gazeux grâce à la force centrifuge et aux différences de masse volumique des deux phases, est également utilisé pour mélanger efficacement les
- 1 5 solides froids injectés au-dessus de la sortie du gaz et obtenir un très bon transfert de chaleur. La séparation du mélange gaz-solides chauds et le mélange gaz-solides froids ont ainsi lieu dans le même équipement et de façon pratiquement simultanée. La trempe des produits gazeux est donc pratiquement instantanée, ce qui permet un arrêt de la réaction au niveau du séparateur sans pour autant affecter significativement le rendement thermique de la partie
- 2 0 chaude du procédé, les solides chauds ne subissant pas la trempe.

De façon plus précise la présente invention concerne un mélangeur-séparateur cyclonique à co-courant, de forme allongée le long d'au moins un axe, de section sensiblement circulaire comportant en combinaison :

- 2 5 -au moins une enceinte extérieure, de section sensiblement circulaire de diamètre (D_c) et de longueur (L), comprenant à une première extrémité des moyens d'introduction permettant d'introduire, par une entrée dite entrée externe, un premier mélange M_1 contenant au moins une phase dense D_1 et au moins une phase légère L_1 , lesdits moyens étant adaptés à
- 3 0 conférer au moins à la phase légère L_1 un mouvement hélicoïdal dans la direction de l'écoulement dudit mélange M_1 dans ladite enceinte extérieure et comprenant également des moyens de séparation des phases D_1 et L_1 , et à l'extrémité opposée à ladite première extrémité des moyens de récupération permettant de récupérer, par une sortie dite sortie externe, au moins une partie de ladite phase dense D_1 ,

3 5

-au moins une première enceinte intérieure, de section sensiblement circulaire, de longueur (L_i) inférieure à (L), disposée coaxialement par rapport à ladite enceinte extérieure, comprenant à une première extrémité, située à proximité de ladite première extrémité de l'enceinte extérieure, des moyens d'introduction permettant d'introduire, par une entrée dite première entrée interne, au moins une phase dense D2 ou au moins un mélange M2 contenant au moins une phase dense D2 et au moins une phase légère L2, lesdits moyens permettant d'introduire ladite phase dense D2 ou ledit mélange M2 de façon à ce que leur écoulement ait lieu dans la même direction que l'écoulement du mélange M1 jusqu'à la deuxième extrémité, opposée à ladite première extrémité, par laquelle ladite phase dense D2 ou ledit mélange M2 quitte, par une première sortie, dite première sortie interne, de diamètre (D_i) inférieur à (D_c), ladite première enceinte intérieure,

-au moins une deuxième enceinte intérieure, de section sensiblement circulaire, disposée coaxialement par rapport à ladite première enceinte intérieure, comprenant une première extrémité située à une distance (L_e) de ladite deuxième extrémité de la première enceinte intérieure, ladite distance (L_e) étant d'environ $0,1 \times (D_c)$ à environ $10 \times (D_c)$, dans laquelle pénètre, par une entrée dite deuxième entrée interne, de diamètre (D_e) supérieur ou égal à (D_i) et inférieur à (D_c), au moins une partie de la phase légère L1 et au moins une partie de la phase dense D2 ou du mélange M2, ladite deuxième enceinte comprenant à l'extrémité opposée à sa première extrémité des moyens de récupération permettant de récupérer, par une sortie dite deuxième sortie interne, le mélange formé dans ladite deuxième enceinte comprenant au moins une partie de la phase légère L1 et au moins une partie de la phase dense D2 ou du mélange M2, le mélangeur-séparateur comprenant au moins un moyen permettant le soutirage, par la sortie externe, d'au moins une partie de la phase légère L1 en mélange avec la phase dense D1, ledit mélangeur-séparateur comprenant en aval, dans le sens de l'écoulement des diverses phases, de la deuxième entrée interne, des moyens limitant la progression de la phase légère L1 dans l'espace situé entre la paroi externe de la deuxième enceinte intérieure et la paroi interne de l'enceinte extérieure, lesdits moyens limitant la progression de la phase légère L1, étant des pales sensiblement planes dont le plan comprend l'axe du mélangeur-séparateur.

L'invention sera mieux comprise par la description de quelques modes de réalisation, donnés à titre purement illustratif mais nullement limitatif, qui en sera faite ci-après à l'aide des figures 1A, 1B, 2 et 3 annexées, sur lesquelles les organes similaires sont désignés par les mêmes chiffres et lettres de référence.

La figure 1A est une vue en perspective d'un appareil selon l'invention.

La figure 1B est une vue en perspective d'un appareil selon l'invention qui ne diffère de celui représenté sur la figure 1A que par les moyens de sortie (7) de la phase dense D1 introduite par le conduit (1) lesdits moyens (7) permettant dans le mode de réalisation schématisé sur la figure 1B une sortie latérale (10) de la phase dense D1 et dans celui schématisé sur la figure 1A une sortie axiale (10) de cette phase.

La figure 2 est une vue en coupe d'un appareil selon l'invention pratiquement identique à celui représenté sur la figure 1B mais comportant des moyens (6) dont la dimension dans la direction perpendiculaire à l'axe de l'appareil est inférieure à la dimension de la sortie externe (5).

Les appareils selon l'invention, schématisés sur les figures 1B et 2, de formes allongées, sensiblement régulières, le long d'un axe (AA') qui est un axe de symétrie, comportent une enceinte extérieure, de diamètre (Dc) et de longueur (L) ayant une entrée tangentielle (1) dite entrée externe, dans laquelle on introduit, suivant une direction sensiblement perpendiculaire à l'axe de l'appareil, le mélange M1 contenant au moins une phase dense D1 et au moins une phase légère L1. Cette entrée tangentielle a de préférence une section rectangulaire ou carrée dont le côté parallèle à l'axe de l'appareil a une dimension (Lk) habituellement d'environ 0,25 à environ 1 fois le diamètre (Dc), et le côté perpendiculaire à l'axe de l'appareil a une dimension (hk) habituellement d'environ 0,05 à environ 0,5 fois le diamètre (Dc).

Le mélange M1 ainsi introduit s'enroule autour d'une première enceinte intérieure, disposée coaxialement par rapport à l'enceinte extérieure, ayant une entrée axiale (3), dite première entrée interne, permettant l'introduction d'au moins une phase dense D2 ou de préférence d'au moins un mélange M2 contenant une phase dense D2 et une phase légère L2. Cette phase dense D2 ou ce mélange M2 circule parallèlement à l'axe (AA') de l'appareil jusqu'à la première sortie interne (3') de diamètre (Di) inférieur au diamètre (Dc) de l'enceinte extérieure de l'appareil et habituellement d'environ 0,05 à environ 0,9 fois ce diamètre (Dc) et de préférence d'environ 0,4 à environ 0,8 fois ce diamètre (Dc).

La longueur (Li), entre le niveau extrême de l'entrée tangentielle (1) et la première sortie interne, est inférieure à (L) et est habituellement d'environ 0,2 à environ 9,5 fois le diamètre (Dc) et de préférence d'environ 1 à environ 3 fois ce diamètre (Dc).

Bien que cela ne soit pas représenté sur les figures 1A, 1B et 2 il est possible, et habituellement souhaitable, dans le cas de débits importants des diverses phases au niveau des entrées de l'appareil, d'utiliser des moyens permettant de favoriser la formation du vortex comme par exemple un toit hélicoïdal descendant à partir du niveau extrême de l'entrée tangentielle (1) ou une volute par exemple externe, et permettant de limiter la turbulence au niveau de l'entrée tangentielle (1). Habituellement le pas de l'hélice est d'environ 0,01 à environ 3 fois la valeur de (L_k) et le plus souvent d'environ 0,5 à environ 1,5 fois cette valeur.

La phase dense D2 ou le mélange M2 pénètre ensuite au moins en partie dans la deuxième enceinte intérieure, disposée coaxialement par rapport à la première enceinte intérieure, par la deuxième entrée interne (4) située à une distance (L_e) de la première sortie interne (3'), cette distance étant de préférence d'environ 0,2 à environ 2 fois le diamètre (D_c). Dans cette deuxième enceinte pénètre également au moins une partie de la phase légère L1. Cette deuxième entrée interne (4) a un diamètre interne (D_e) supérieur ou égal à (D_i) et inférieur à (D_c) et habituellement d'environ 0,2 à environ 0,9 fois le diamètre (D_c). Ce diamètre (D_i) est de préférence d'environ 0,4 à environ 0,8 fois le diamètre (D_c). On récupère par la deuxième sortie interne (4') de l'appareil un mélange comprenant au moins une partie de la phase légère L1 et au moins une partie de la phase dense D2 ou du mélange M2 comprenant une phase dense D2 et une phase légère L2.

Selon la réalisation schématisée sur les figures 1B et 2 l'appareil comporte, en aval, dans le sens de l'écoulement des diverses phases, de la deuxième entrée interne, des moyens (6) limitant la progression de la phase légère L1 dans l'espace situé entre la paroi interne de l'enceinte extérieure et la paroi externe de la deuxième enceinte intérieure ou sortie externe (5). Ces moyens (6) sont de préférence des pales sensiblement planes dont le plan comprend l'axe de l'appareil. Ces moyens (6) sont habituellement fixés sur au moins une paroi de l'une des enceintes intérieure ou extérieure. Ces moyens (6) sont de préférence fixés à la paroi externe de la deuxième enceinte intérieure de sorte que la distance (L_p) entre la deuxième entrée interne et le point desdites pales le plus proche de cette deuxième entrée interne soit d'environ 0 à environ 5 fois le diamètre (D_c) et de préférence d'environ 0,1 à environ 1 fois ce diamètre (D_c).

Le nombre de pales est variable suivant la distribution du temps de séjour que l'on accepte pour la phase L1 et également en fonction du diamètre (D_c) de l'enceinte extérieure. Si le temps de séjour de la phase L1 peut avoir une distribution large il ne sera alors pas

indispensable d'avoir des pales. Le nombre de pales est habituellement compris entre 0 et environ 50, le plus souvent, lorsque des pales sont présentes, d'au moins 2 et par exemple de 2 à environ 50 et de préférence de 3 à environ 50. Ainsi dans le cas de l'utilisation d'un appareil selon l'invention dans la mise en oeuvre de réactions ultra-rapides, par exemple dans le cas de l'ultra-pyrolyse, dans lesquelles il est souvent nécessaire de limiter la distribution des temps de séjour de la phase légère dans l'appareil, permettant en particulier la séparation et la trempe d'une phase légère, les pales vont permettre par une limitation de la continuation du vortex sur toute la section du cyclone, autour de la sortie interne (4) de la phase légère, une diminution et un contrôle de la distribution des temps de séjour et par voie de conséquence on limitera la dégradation des produits contenus dans la phase légère circulant autour de la sortie interne.

Chacune de ces pales a habituellement une dimension ou largeur (ep) mesurée dans la direction perpendiculaire à l'axe de l'appareil et définie par rapport au diamètre intérieur (Dc) de l'enceinte extérieure et au diamètre extérieur (D'e) de la deuxième enceinte intérieure, d'environ 0,01 à 1 fois la valeur $[(Dc)-(D'e)]/2$ de la demi différence de ces diamètres (Dc) et (D'e), de préférence d'environ 0,5 à 1 fois cette valeur et le plus souvent d'environ 0,9 à 1 fois cette valeur.

Ces pales ont chacune sur leur arête, la plus proche de l'axe des enceintes intérieures, dans la direction parallèle à cet axe, une dimension ou hauteur interne (hpi) et une dimension ou hauteur externe (hpe) mesurée dans la direction de l'axe de l'appareil sur l'arête de ladite pale la plus proche de la paroi interne de l'enceinte extérieure. Ces dimensions (hpi) et (hpe) sont habituellement supérieures à 0,1 fois le diamètre (Dc) et par exemple d'environ 0,1 fois à environ 10 fois le diamètre (Dc) et le plus souvent d'environ 1 à environ 4 fois ce diamètre (Dc). De préférence ces pales ont chacune une dimension (hpi) supérieure ou égale à leur dimension (hpe).

Selon la réalisation schématisée sur les figures 1B et 2 l'appareil comporte, en aval, dans le sens de l'écoulement des diverses phases, de la deuxième entrée interne, des moyens (8) permettant l'introduction éventuelle d'une phase légère L3 en au moins un point situé entre la deuxième entrée interne (4) de la deuxième enceinte intérieure et la sortie externe (10) de la phase dense D1 ; ce ou ces points sont de préférence à une distance (Lz) de l'entrée (4) de la deuxième enceinte intérieure. Ladite distance (Lz) a de préférence une valeur au moins égale à la somme des valeurs de (Lp) et (hpi) et au plus égale à la distance entre l'entrée (4) de la deuxième enceinte intérieure et les moyens de sortie (7) de la phase dense D1. Cette phase

légère L3 peut être introduite par exemple dans le cas où il est souhaitable d'effectuer un strippage de la phase dense D1. La phase légère L3 est de préférence introduite en plusieurs points qui sont habituellement répartis symétriquement, dans un plan au niveau duquel l'introduction est effectuée, autour de l'enceinte extérieure.

5

Le ou les points d'introduction de cette phase légère L3 sont habituellement situés à une distance au moins égale à 0,1 fois le diamètre (D_c) de l'entrée (4) de la deuxième enceinte intérieure lorsque l'appareil ne comporte pas de moyens (6) ou du point desdits moyens (6) le plus proche des moyens (7) de sortie de la phase dense D1 lorsque l'appareil comporte des moyens (6). Le ou les points d'introduction de cette phase légère L3 sont de préférence situés à proximité de la sortie externe (10) et le plus souvent à proximité des moyens de sortie (7) de la phase dense D1.

1 0

La dimension (p') entre le niveau de la deuxième entrée interne (4) et les moyens (7) de sortie de la phase dense D1 est déterminée à partir des autres dimensions des divers moyens formant l'appareil et de la longueur (L) de l'enceinte extérieure mesurée entre le niveau extrême de l'entrée tangentielle (1) et les moyens (7) de sortie de la phase dense D1. Cette dimension (L) est habituellement d'environ 1 à environ 35 fois le diamètre (D_c) de l'enceinte extérieure et le plus souvent d'environ 1 à 25 fois ce diamètre (D_c). On peut de même calculer la dimension (P), entre le point des moyens (6) le plus proche des moyens (7) de sortie de la phase dense D1 et lesdits moyens (7), à partir des autres dimensions des divers moyens formant l'appareil et de la longueur (L).

1 5

2 0

On ne sortirait pas du cadre de la présente invention dans le cas où l'axe (AA') de l'appareil fait un angle avec la verticale. Dans ce cas il est cependant préférable, si des moyens (6) (limitant la circulation de la phase légère L1 dans la sortie externe (5) et donc réduisant la distribution des temps de séjour de cette phase L1 dans l'appareil) sont utilisés, de les placer verticalement et donc de réaliser un appareil comportant, dans le cas d'une sortie interne (4') axiale, un coude au delà duquel lesdits moyens (6) seront positionnés dans la sortie externe verticale. De même dans le cas d'un appareil tel que celui schématisé sur la figure 1B, ayant une sortie latérale (4'), il est possible de positionner les moyens (6) (limitant la circulation de la phase légère L1 dans la sortie externe (5) et donc réduisant la distribution des temps de séjour de cette phase L1 dans l'appareil) après le niveau de la sortie interne (4') et avant les moyens (7).

2 5

3 0

Les moyens (6) limitent la progression du vortex de la phase légère L1 dans la sortie externe (5). La position de ces moyens (6) et leur nombre influent donc sur les performances de la séparation des phases D1 et L1 contenues dans le mélange M1 (perte de charge et efficacité de la collecte de la phase dense D1) et également sur la pénétration du vortex de la phase
5 légère L1 dans la sortie (5). Ces paramètres seront donc choisis avec soin par l'homme du métier en particulier en fonction des résultats souhaités et de la perte de charge tolérée. En particulier lorsque D1 est un solide, le nombre de pales, leur forme et leur position seront choisis avec soins en tenant compte de leur influence sur l'écoulement du solide en liaison avec la limitation recherchée de la progression du vortex dans la sortie externe (5).

1 0

La figure 3 est une vue en coupe d'un appareil selon l'invention comportant une enceinte extérieure, de diamètre (Dc) ayant une entrée (1) dite entrée externe axiale, dans laquelle on introduit suivant une direction sensiblement parallèle à l'axe (AA') de l'appareil le mélange M1 contenant une phase dense D1 et une phase légère L1. Cet appareil comporte en outre des
1 5 moyens (2) placés à l'intérieur de l'entrée (1) dans l'espace situé entre la paroi interne de l'enceinte extérieure et la paroi externe de la première enceinte intérieure permettant de conférer en aval, dans le sens de circulation dudit mélange M1, un mouvement hélicoïdal ou tourbillonnant au moins à la phase L1 dudit mélange M1. Ces moyens sont habituellement des pales inclinées. La longueur L de l'appareil est comptée entre ces moyens permettant de créer
2 0 un vortex, au moins sur la phase L1, et les moyens (7) de sortie de la phase dense D1. Cet appareil ne comporte pas de moyens (6) de limitation de la pénétration du vortex dans la sortie externe (5). Toutes les autres caractéristiques sont identiques à celles décrites en liaison avec les appareils représentés sur les figures 1B et 2, en particulier les diverses dimensions sont celles mentionnées dans la description de ces appareils. Les variantes décrites en liaison avec
2 5 les appareils représentés sur les figures 1B et 2 sont également possibles dans le cas de l'appareil selon la présente invention schématisé sur la figure 3. On peut en particulier envisager une sortie interne (4') latérale et une sortie externe axiale (10) comme dans le cas de la réalisation schématisée sur la figure 1A, et également l'utilisation de moyens (6) dans la sortie externe (5).

3 0

Les moyens de sortie (7) de la phase dense D1 permettent habituellement de collecter et de canaliser cette phase dense D1 jusqu'à la sortie externe (10). Ces moyens sont le plus souvent un fond incliné ou un cône axé ou non sur la sortie interne (4').

- Les appareils selon la présente invention permettent ainsi le transfert de chaleur et/ou de matière entre les diverses phases en présences. Ces phases sont, pour ce qui est des phases légères L1, L2 et L3 des phases liquides, gazeuses ou des phases contenant à la fois du liquide et du gaz, et pour ce qui est des phases denses D1 et D2 des phases solides (sous
- 5 forme de particules), liquides ou des phases contenant à la fois du solide et du liquide. Deux cas sont fréquemment rencontrés : le premier dans lequel les phases denses sont des solides et les phases légères des gaz et le second dans lequel il y a une phase liquide qui peut être la phase dense ou la phase légère.
- 1 0 Les appareils de la présente invention schématisés sur les figures annexées comportent un axe unique (AA') mais on ne sortirait pas du cadre de la présente invention dans le cas où l'on réaliserait un appareil comportant plusieurs axes par exemple faisant un angle entre eux. Dans ce cas l'axe (AA') mentionné ci-avant serait l'axe de la partie de l'appareil située entre la première entrée interne (3) et la première sortie interne (3') et la valeur du diamètre (Dc) serait
- 1 5 celle mesurée au niveau de cette sortie interne (3'), cet axe (AA') restant aussi dans ce cas l'axe de la deuxième enceinte intérieure, les deux enceintes intérieures restant disposées coaxialement (un tel cas est par exemple celui d'un appareil comportant une enceinte extérieure coudée).
- 2 0 Le diamètre (Dc) de l'appareil mesuré au niveau de la première sortie interne (3') est habituellement d'environ 0,01 à environ 10 m (mètres) et le plus souvent d'environ 0,05 à environ 2 m. Il est habituellement préférable de garder un diamètre constant sur toute la longueur (L) de l'appareil ou même depuis le niveau de l'injection du mélange M1 jusqu'au
- 2 5 niveau des moyens (7) de sortie de la phase dense D1 ; cependant on ne sortirait pas du cadre de l'invention dans le cas d'un appareil comportant des élargissements ou des rétrécissements de section entre lesdits niveaux.
- Pour obtenir une bonne séparation d'une phase L1 contenue dans un mélange M1 comprenant également au moins une phase D1 et un mélange efficace de cette phase L1 avec
- 3 0 au moins une phase D2 il est préférable d'avoir une vitesse superficielle d'entrée de cette phase L1 élevée et par exemple d'environ 5 à environ 150 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (mètre par seconde) et de préférence d'environ 10 à environ 75 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Le rapport en poids du débit de la phase D1 au débit de la phase L1 est habituellement d'environ 0,0001 : 1 à environ 50 : 1 et le plus souvent d'environ 0,1 : 1 à environ 15 : 1. Le débit de la phase D2 représente habituellement en poids
- 3 5 d'environ 0,1 à environ 1000 % du débit de la phase D1 et le plus souvent d'environ 10 à

10

environ 300 % du débit de la phase D1. La vitesse superficielle V2 de la phase L2, lorsqu'elle est présente, est habituellement d'environ 1 à environ 500 % de la vitesse axiale moyenne V1 sur toute la section de diamètre (Dc) située entre la première sortie interne (3') et la deuxième entrée interne (4) définie par la relation :

5

$$V1=L1/(\pi \times Dc^2)/4$$

dans laquelle L1 est exprimé en $m^3 \times s^{-1}$ (mètre cube par seconde) et Dc en m. La vitesse superficielle V2 sera de préférence d'environ 5 à environ 150 % de la vitesse V1.

10

Il est possible, par exemple en augmentant la pression en aval, dans le sens de la circulation de la phase dense D2, de la deuxième entrée interne (4) ou en diminuant la pression en aval, dans le sens de la circulation de la phase dense D1, des moyens (7) de sortie de cette phase, de soutirer une partie plus ou moins importante de la phase L1 avec la phase D1 et simultanément d'obtenir au niveau de la deuxième sortie (4') un mélange pratiquement complètement exempt de phase D1. On peut ainsi soutirer jusqu'à 90 % de la phase L1 avec D1, mais le plus souvent on soutire environ 1 à environ 10 % de cette phase L1 avec la phase D1. Les variations de pression permettant de jouer sur la quantité de phase L1 soutirée avec la phase D1 sont assurées par des moyens bien connus de l'homme du métier et par exemple en jouant sur la température de la trempe par modification des débits de phases L2 et/ou D2, ou en modifiant le débit de la phase L3, ou en modifiant les conditions d'opération en aval de la sortie (10).

15

20

25

Dans les divers appareils selon l'invention et dans les différents modes d'injection du mélange M1, un tel soutirage peut permettre d'améliorer l'efficacité de récupération de la phase dense D1. Ainsi dans une forme avantageuse de réalisation de l'invention l'appareil comprendra au moins un moyen permettant le soutirage, par la sortie externe, d'au moins une partie de la phase légère L1 en mélange avec la phase dense D1.

30

Le choix entre un appareil comportant une entrée tangentielle, pour le mélange M1, et un appareil comportant une entrée axiale, pour ce mélange M1, est habituellement guidé par le rapport en poids des débits des phases L1 et D1. Dans le cas où ce rapport est inférieur à 2 : 1 il peut être avantageux de choisir un appareil à entrée axiale.

35

L'exemple qui suit est donné à titre illustratif et montre l'efficacité de la séparation d'une phase dense (solide) D1 contenue dans un mélange M1 contenant également une phase légère

(gazeuse) L1, et également l'efficacité de la trempe de cette phase gazeuse L1 par un mélange M2 contenant une phase solide D2 et une phase gazeuse L2.

5 On notera que dans l'art antérieur le plus proche USP 2,650,675, la technique décrite concerne une simple séparation d'une phase légère et d'une phase dense dans un mélange et non pas une séparation de deux mélanges comportant chacun une phase légère et une phase lourde.

Exemple

10 On réalise deux appareils, d'axes verticaux, conformes à ceux représentés schématiquement sur les figures 1B et 2 comportant une entrée tangentielle à toit descendant sur 3/4 de tour régulièrement sur une hauteur égale à la valeur de Lk. Ces appareils ont les caractéristiques géométriques mentionnées dans le tableau I ci-après.

15

TABLEAU I

	Appareil A	Appareil B
Dimensions	avec	sans
en cm	pales	pales
Dc	5,1	5,1
20 Di	2,5	2,5
Dimensions	avec	sans
en cm	pales	pales
De	2,5	2,5
Li	5,1	5,1
25 Le	1,2	1,2
Lk	2,5	2,5
Lp	2,5	—
hpe	5,1	—
hpi	5,1	—
30 hk	1,3	1,3
ep	1,2	—
Np*(nombre)	8	0
p'	25	25

*Np représente le nombre de pales. Les autres symboles sont définis dans la description.

35

Les flux des phases introduites sont caractérisés à l'aide des notations suivantes :

- température d'entrée : T
- capacité calorifique : C_p
- 5 conductivité thermique : k
- débit massique : F
- débit volumique : Q
- masse volumique : R
- vitesse superficielle : V
- 10 diamètre de sauter des particules : d_s

La phase L1 est de l'air ayant les caractéristiques suivantes :

$TL1=700^{\circ}\text{C}$, $CpL1=1000\text{J/Kg}^{\circ}\text{C}$, $kL1=0,034\text{W/m}^{\circ}\text{C}$, $FL1=3,75 \times 10^{-3}\text{Kg/s}$, $QL1=10,7 \times 10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$, $VL1=V1=33\text{m/s}$.

15

La phase L2 est de l'air ayant les caractéristiques suivantes : $TL2=150^{\circ}\text{C}$, $CpL2=1000\text{J/Kg}^{\circ}\text{C}$, $kL2=0,063\text{W/m}^{\circ}\text{C}$, $FL2=1,67 \times 10^{-3}\text{Kg/s}$, $QL2=2 \times 10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$, $VL2=V2=4,1\text{m/s}$.

Il n'y a pas d'injection de phase L3.

20

La phase D1 est du sable ayant les caractéristiques suivantes :

$TD1=700^{\circ}\text{C}$, $CpD1=800\text{J/Kg}^{\circ}\text{C}$, $kD1=0,5\text{W/m}^{\circ}\text{C}$, $FD1=18,75 \times 10^{-3}\text{Kg/s}$, $RD1=2500\text{Kg/m}^3$, $dsD1=29 \times 10^{-6}\text{m}$.

25

La phase D2 est du sable ayant les caractéristiques suivantes : $TD2=150^{\circ}\text{C}$, $CpD2=800\text{J/Kg}^{\circ}\text{C}$, $kD2=0,5\text{W/m}^{\circ}\text{C}$, $FD2=17,05 \times 10^{-3}\text{Kg/s}$, $RD2=2500\text{Kg/m}^3$, $dsD2=65 \times 10^{-6}\text{m}$.

Les performances des appareils, mentionnées dans le tableau II, sont exprimées comme suit :

30

$ED1$ = efficacité de séparation de D1 dans l'appareil (rapport du débit massique de D1 mesuré dans la sortie externe (10) au débit massique de D1 introduit dans l'entrée tangentielle (1)) avec un soutirage de la phase L1 dans la sortie externe (10) de 2 % en poids par rapport au poids de L1 introduit dans l'entrée tangentielle (1).

35

P_{vortex} =distance entre la fin du vortex de L1 dans la sortie externe (5) et le sommet de la deuxième entrée interne (4).

Ttrempe=température du mélange gazeux formé par L1 et L2 mesurée à une distance de 1 m du sommet de la deuxième entrée interne (4).

5

TABLEAU II

Performances		Appareil A	Appareil B
1 0	ED1	98,4 %	98,1 %
	Pvortex	4 cm	23 cm
	Ttrempe	295 °C	310 °C

1 5

1

Les réalisations de l'invention au sujet desquelles un droit exclusif de propriété ou de privilège est revendiqué, sont définis comme il suit :

-1- Mélangeur-séparateur cyclonique à co-courant, de forme allongée le long d'au moins un axe, de section sensiblement circulaire comportant en combinaison :

- une enceinte extérieure, de section sensiblement circulaire de diamètre (D_c) et de longueur (L), comprenant à une première extrémité des moyens d'introduction permettant d'introduire, par une entrée dite entrée externe, un premier mélange M_1 contenant au moins une phase dense D_1 et au moins une phase légère L_1 , le mélange M_1 étant introduit selon une direction sensiblement perpendiculaire à l'axe du mélange-séparateur ou sensiblement parallèle à l'axe du mélangeur-séparateur, lesdits moyens étant adaptés à conférer au moins à la phase légère L_1 un mouvement hélicoïdal dans la direction de l'écoulement dudit mélange M_1 dans ladite enceinte extérieure et comprenant également des moyens de séparation des phases D_1 et L_1 , et à l'extrémité opposée à ladite première extrémité des moyens de récupération permettant de récupérer, par une sortie dite sortie externe, au moins une partie de ladite phase dense D_1 ,
- une première enceinte intérieure, de section sensiblement circulaire, de longueur (L_i) inférieure à (L), disposée coaxialement par rapport à ladite enceinte extérieure, comprenant à une première extrémité, située à proximité de ladite première extrémité de l'enceinte extérieure, des moyens d'introduction permettant d'introduire, par une entrée dite première entrée interne, au moins une phase dense D_2 ou au moins un mélange M_2 contenant au moins une phase dense D_2 et au moins une phase légère L_2 , lesdits moyens permettant d'introduire ladite phase dense D_2 ou ledit mélange M_2 de façon à ce que leur écoulement ait lieu dans la même direction que l'écoulement du mélange M_1 jusqu'à une deuxième extrémité, opposée à ladite première extrémité, par laquelle ladite phase dense D_2 ou ledit mélange M_2 quitte, par une première sortie dite première sortie interne, de diamètre (D_i) inférieur à (D_c), ladite première enceinte intérieure,
- une deuxième enceinte intérieure, de section sensiblement circulaire, disposée coaxialement par rapport à ladite première enceinte intérieure, comprenant une première extrémité située à une distance (L_e), de ladite deuxième extrémité de la première enceinte intérieure, ladite distance (L_e) étant d'environ $0,1 \times (D_c)$ à environ $10 \times (D_c)$, dans laquelle pénètre, par une entrée dite deuxième entrée interne, de diamètre (D_e) supérieur ou égal à (D_i) et inférieur à (D_c), au moins une partie de la phase légère L_1 et au moins une partie de la

phase dense D2 ou du mélange M2, ladite deuxième enceinte comprenant à l'extrémité opposée à sa première extrémité des moyens de récupération permettant de récupérer, par une sortie dite deuxième sortie interne, le mélange formé dans ladite deuxième enceinte comprenant au moins une partie de la phase légère L1 et au moins une partie de la phase dense D2 ou du mélange M2, le mélangeur-séparateur comprenant au moins un moyen permettant le soutirage, par la sortie externe, d'au moins une partie de la phase légère L1 en mélange avec la phase dense D1, ledit mélangeur-séparateur comprenant en aval, dans le sens de l'écoulement des diverses phases, de la deuxième entrée interne, des moyens limitant la progression de la phase légère L1 dans l'espace situé entre la paroi externe de la deuxième enceinte intérieure et la paroi interne de l'enceinte extérieure, lesdits moyens limitant la progression de la phase légère L1, étant des pales sensiblement planes dont le plan comprend l'axe du mélangeur-séparateur.

-2- Mélangeur-séparateur selon la revendication 1 comportant de 2 à environ 50 pales fixées à la paroi externe de la deuxième enceinte intérieure de sorte que la distance entre la deuxième entrée interne et le point desdites pales le plus proche de cette deuxième entrée interne soit d'environ 0 à environ $5 \times (D_c)$.

-3- Mélangeur-séparateur selon la revendication 1 ou 2 dans lequel les pales ont chacune une dimension (ep), mesurée dans la direction perpendiculaire à l'axe du mélangeur-séparateur, d'environ 0,01 à environ 1 fois la valeur $[(D_c) - (D'e)]/2$ correspondant à la distance entre la paroi externe de la deuxième enceinte intérieure de diamètre externe (D'e) et la paroi interne de l'enceinte extérieure de diamètre intérieur (Dc), une dimension (hpi), mesurée sur l'arête de la pale la plus proche de l'axe des enceintes intérieures dans la direction parallèle à cet axe, et une dimension (hpe), mesurée dans la direction parallèle à l'axe du mélangeur-séparateur sur l'arête de la pale la plus proche de la paroi interne de l'enceinte extérieure, lesdites dimensions (hpi) et (hpe) étant d'environ $0,1 \times (D_c)$ à environ $10 \times (D_c)$.

-4- Mélangeur-séparateur selon la revendication 3 dans lequel les pales ont chacune une dimension (hpi) supérieure ou égale à (hpe).

-5- Mélangeur-séparateur selon l'une des revendications 1 à 4 comprenant des moyens d'introduction d'une phase légère L3 entre la deuxième entrée interne et la sortie externe, lesdits moyens étant de préférence situés à proximité de ladite sortie externe.

- 6 Utilisation du mélangeur-séparateur selon l'une des revendications 1 à 5 pour l'échange rapide de chaleur entre une phase légère L1 et une phase dense D2 ou un mélange M2 contenant au moins une phase dense D2 et au moins une phase légère L2.
- 5 -7- Utilisation du mélangeur-séparateur selon l'une des revendications 1 à 5 pour le remplacement rapide d'une phase dense D1 contenu dans un mélange M1, comprenant en outre une phase légère L1, par une phase dense D2 différente de D1.

FIG.1A

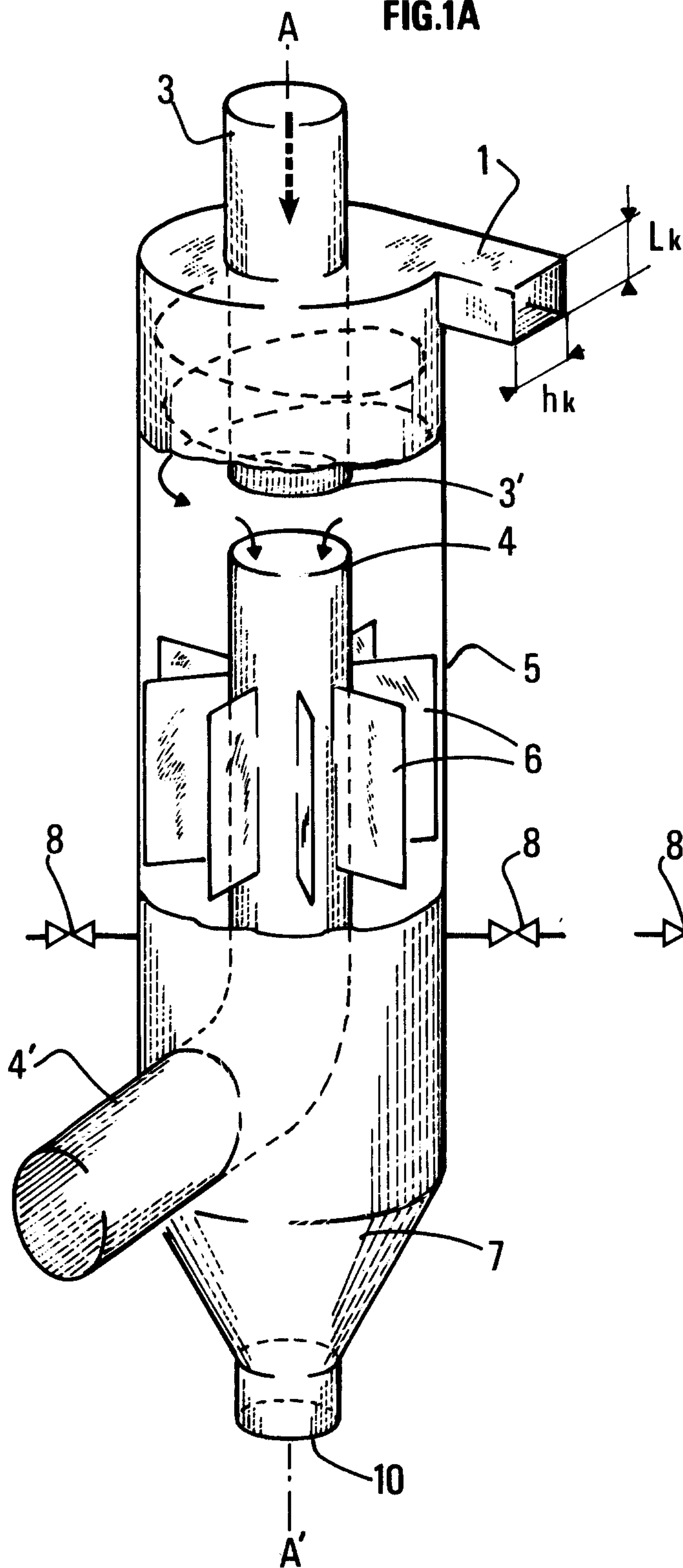


FIG.1B

