



(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2013/09/24
(87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2014/04/24
(85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2015/03/13
(86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** FR 2013/052242
(87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2014/060670
(30) **Priorité/Priority:** 2012/10/17 (FR12/02771)

(51) **Cl.Int./Int.Cl.** **B01J 8/00** (2006.01),
B01J 8/06 (2006.01)

(71) **Demandeur/Applicant:**
IFP ENERGIES NOUVELLES, FR

(72) **Inventeurs/Inventors:**
SANZ, ELENA, FR;
BEAUMONT, ROBERT, FR;
SVEZIA, DANIEL, FR;
BOYER, CHRISTOPHE, FR

(74) **Agent:** ROBIC

(54) **Titre : SYSTEME DE CHARGEMENT DENSE DU CATALYSEUR DANS DES TUBES A BAIONNETTE POUR REACTEUR
ECHANGEUR DE VAPOREFORMAGE**

(54) **Title: SYSTEM FOR DENSE CATALYST LOADING IN BAYONET TUBES FOR A STEAM REFORMING REACTOR-EXCHANGER**

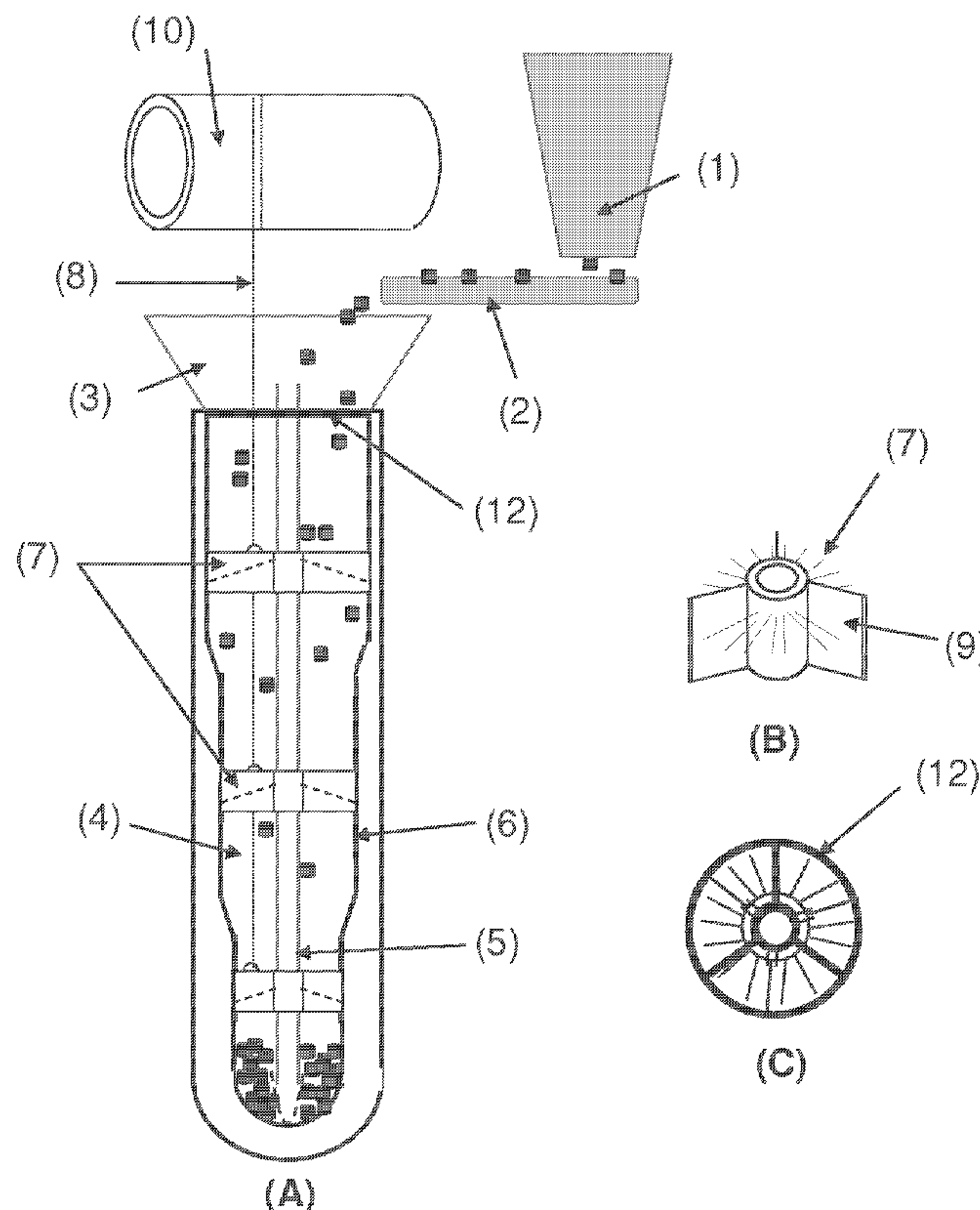
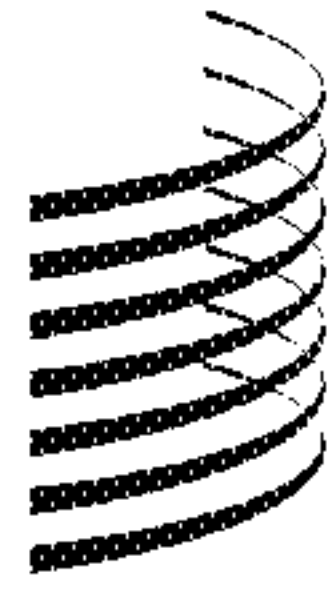


Fig 1

(57) **Abrégé/Abstract:**

La présente invention décrit un dispositif et une méthode de chargement dense et homogène de catalyseur dans l'espace annulaire de tubes à baïonnette mis en oeuvre dans un réacteur de vaporeformage, ledit dispositif faisant appel à des éléments ralentisseurs amovibles.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
24 avril 2014 (24.04.2014)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2014/060670 A1(51) Classification internationale des brevets :
B01J 8/00 (2006.01) **B01J 8/06** (2006.01)(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2013/052242(22) Date de dépôt international :
24 septembre 2013 (24.09.2013)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
12/02771 17 octobre 2012 (17.10.2012) FR(71) Déposant : IFP ENERGIES NOUVELLES [FR/FR]; 1
& 4 Avenue du Bois-Préau, F-92852 Rueil-malmaison
(FR).(72) Inventeurs : SANZ, Elena; 0024 Rue De La Quarantaine,
F-69005 Lyon (FR). BEAUMONT, Robert; 0240 Rue
Chateaubriand, F-69140 Rillieux La Pape (FR). SVEZIA,
Daniel; 0011 Che De Beauregard, F-69320 Feyzin (FR).
BOYER, Christophe; 0626 Rue De La Brosse, F-69390
Charly (FR).(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

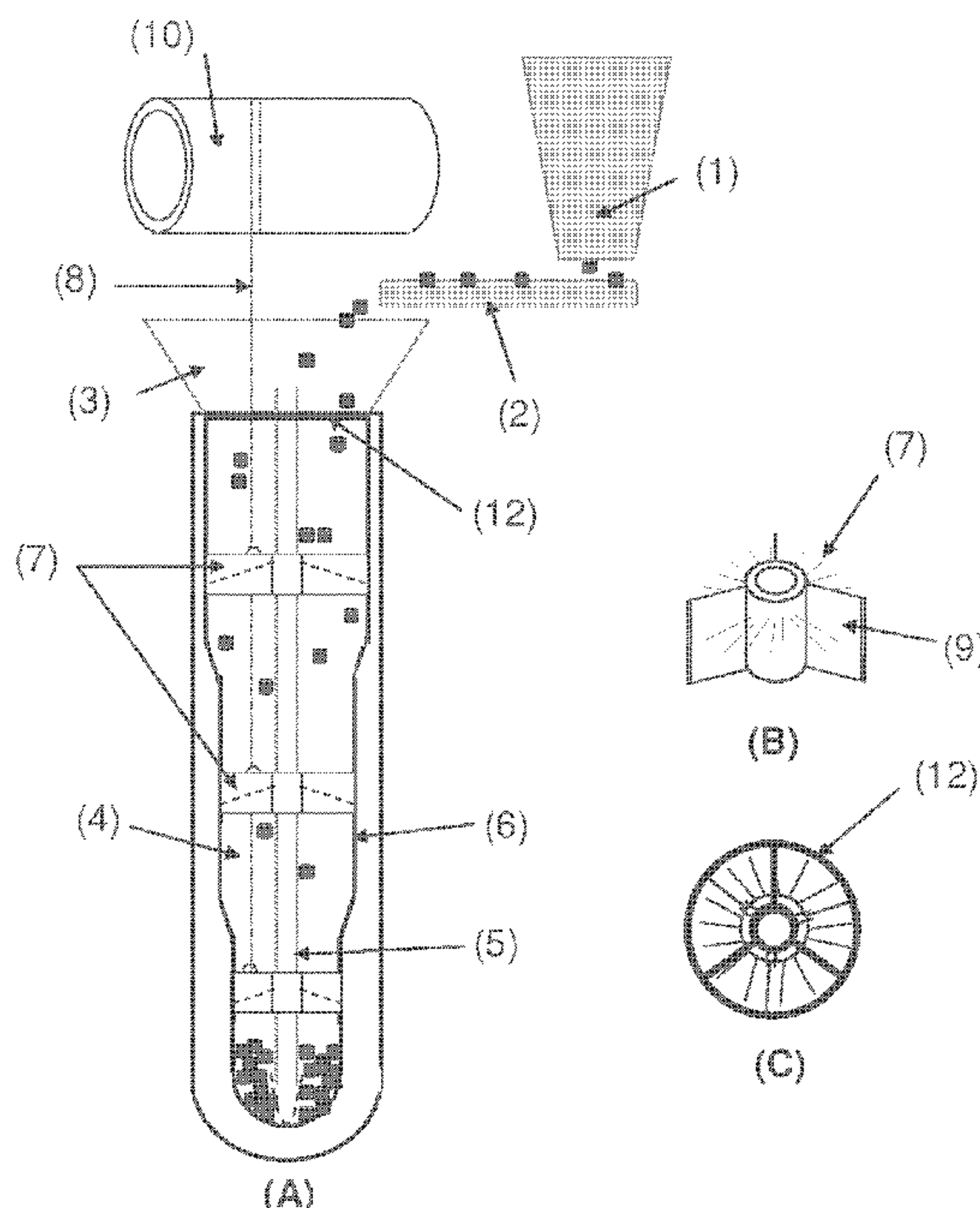
(54) Title : SYSTEM FOR DENSE CATALYST LOADING IN BAYONET TUBES FOR A STEAM REFORMING REAC-
TOR-EXCHANGER(54) Titre : SYSTEME DE CHARGEMENT DENSE DU CATALYSEUR DANS DES TUBES A BAÏONNETTE POUR REAC-
TEUR ECHANGEUR DE VAPOREFORMAGE

Fig 1

(57) Abstract : The invention relates to a device and method
for densely and homogeneously loading catalyst into the an-
nular space of bayonet tubes, used in a steam reforming reac-
tor, said device using removable retarder elements.(57) Abrégé : La présente invention décrit un dispositif et
une méthode de chargement dense et homogène de catalyseur
dans l'espace annulaire de tubes à baïonnette mis en œuvre
dans un réacteur de vaporeformage, ledit dispositif faisant ap-
pel à des éléments ralentisseurs amovibles.

WO 2014/060670 A1

Publiée :

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

SYSTEME DE CHARGEMENT DENSE DU CATALYSEUR DANS DES TUBES A
BAIONNETTE POUR REACTEUR ECHANGEUR DE VAPOREFORMAGE**DOMAINE DE L'INVENTION**

La présente invention se situe dans le domaine du chargement des tubes catalytiques utilisés dans des réacteurs tubulaires mettant en œuvre des réactions fortement endothermiques ou
5 fortement exothermiques. La présente invention est donc particulièrement adaptée au réacteur de vaporeformage de gaz naturel ou de diverses coupes hydrocarbonées en vue de la production du mélange $\text{CO} + \text{H}_2$ appelé gaz de synthèse.

On peut distinguer deux grandes familles de réacteurs de vaporeformage.

Les réacteurs dans lesquels la chaleur est apportée par un ensemble de brûleurs situés à
10 l'intérieur du réacteur, et ceux dans lesquels la chaleur est apportée par un fluide caloporteur, généralement des fumées de combustion, ladite combustion ayant lieu à l'extérieur du réacteur de vaporeformage lui même.

Certains réacteurs de ce dernier type qu'on appelle dans la suite réacteur échangeur, font appel à des tubes simples. D'autres font appel à des tubes concentriques doubles également appelés
15 tubes à baïonnette. Un tube à baïonnette peut se définir comme un tube intérieur entouré d'un tube extérieur coaxial au tube interne, l'espace annulaire compris entre le tube intérieur et le tube extérieur étant généralement rempli de catalyseur. Dans la suite du texte on parlera d'espace annulaire ou de zone catalytique pour désigner ledit espace annulaire défini par les tubes à baïonnette.

20 Dans le cadre de la présente invention, le gaz naturel, ou plus généralement la charge hydrocarbonée, est introduit(e) par la zone annulaire selon un écoulement de haut en bas, et les effluents réactionnels sont collectés dans la partie centrale du tube interne selon un écoulement de bas en haut.

La réaction de vaporeformage du gaz naturel pour la production d'hydrogène, est très
25 endothermique et a donc généralement lieu dans des fours ou des réacteurs-échangeurs au sens précédemment défini.

La réaction a lieu à des températures très élevées, typiquement 900°C et sous pression, typiquement de 20 à 30 bars. Dans ces conditions, seule une mise en œuvre de la réaction à
30 l'intérieur de tubes peut être envisagée dans des conditions économiquement viables en raison de la tenue mécanique des matériaux.

Les réacteurs échangeurs catalytiques sont donc constitués d'une multitude de tubes, typiquement de l'ordre de 200 à 350 tubes pour des unités produisant $100\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$

d'hydrogène, cet ensemble de tubes étant enfermé dans une calandre qui reçoit le fluide chaud permettant d'apporter les calories nécessaires à la réaction de vaporeformage.

Ce fluide chaud ou fluide caloporteur est généralement constitué par les fumées d'une combustion ayant lieu à l'extérieur du réacteur échangeur.

5 Le catalyseur doit donc être installé dans tous les tubes de vaporeformage de façon régulière d'un tube à l'autre, afin d'avoir une perte de charge identique d'un tube à l'autre.

Cette condition est très importante pour garantir une bonne répartition des réactifs sur l'ensemble des tubes catalytiques et éviter qu'un tube soit par exemple moins alimenté, ce qui pourrait conduire à une surchauffe importante du matériau constituant le tube, cette

10 surchauffe réduisant d'autant la durée de vie du tube.

De même, il est important qu'aucun espace vide, c'est à dire sans catalyseur ou appauvri en catalyseur, ne subsiste dans un tube, car à nouveau le tube pourrait surchauffer localement, faute de réaction catalytique à l'intérieur. De plus, toute hétérogénéité dans la répartition du catalyseur dans la zone réactionnelle peut se traduire par un écoulement déséquilibré du ou

15 des fluides réactionnels.

Le dispositif selon la présente invention vise donc un chargement à la fois dense et homogène entre chacun des tubes baïonnette faisant partie du réacteur échangeur.

EXAMEN DE L'ART ANTERIEUR

20

Dans un four de reformage classique, le chargement traditionnel des tubes, qui ont un diamètre intérieur typique de 10 cm, se fait à l'aide de sachets remplis de catalyseur qui sont ouverts sur la surface du lit. Ce mode de chargement est connu de l'homme du métier sous l'appellation de chargement "à la chaussette", et est connu pour ne pas générer une importante

25 densité de chargement.

Les tubes sont ensuite vibrés manuellement à coup de marteau ou par un système de vibration mécanique, pour favoriser la mise en place des grains de catalyseur, minimiser les espaces vides et ainsi augmenter la densité de chargement. Cependant, une vibration excessive peut conduire à la rupture des grains de catalyseur, et à une augmentation importante de la perte de

30 charge.

Il est néanmoins difficile avec cette méthode de faire un chargement de bonne qualité, et il est généralement nécessaire de reproduire plusieurs fois l'opération de vibration pour parvenir à des pertes de charge voisines d'un tube à l'autre.

D'autres procédures et équipements améliorés ont été proposés sous le terme de technologie
5 UnidenseTM initialement développée par Norsk Hydro ou encore sous le terme de technologie SpiraloadTM développée par Haldor Topsøe. Ces technologies s'appliquent à des tubes simples et non à des tubes à baïonnette.

Le brevet FR 2950822 de la demanderesse décrit une solution pour le chargement des tubes à
baïonnette avec 3 tubes de chargement, avec freins mécaniques ou freinage pneumatique.
10 Cette méthode de chargement permet un chargement dense et uniforme des tubes baïonnette. S'agissant d'une méthode "grain par grain", elle s'avère trop lente et peu adaptée pour une mise en œuvre à l'échelle d'un réacteur industriel comportant plusieurs centaines de tubes.

De manière générale, on peut dire que de nombreux documents existent dans le domaine du chargement de catalyseur dans les tubes de vaporeformage. La plupart d'entre eux font appel à
15 des moyens de ralentissement ou à des obstacles plus ou moins rigides en forme de plan incliné.

Mais aucun des documents retrouvés ne concerne une application aux tubes à baïonnette avec chargement d'une zone annulaire et évitement du tube central.

Le dispositif objet de la présente invention peut donc se définir comme un dispositif de
20 chargement dense de catalyseur dans la zone annulaire des tubes baïonnette équipant un réacteur échangeur de vaporeformage, le dispositif permettant un chargement homogène en densité dans chacun des tubes du réacteur échangeur en respectant une contrainte de temps compatible avec les impératifs d'un démarrage industriel.

De plus, dans un certain nombre de cas, le dispositif selon l'invention doit pouvoir s'adapter à
25 des variations de diamètre intérieur du tube externe, imposées par les contraintes mécaniques et thermiques qui évoluent le long du tube, donc à un changement de dimensions de la zone annulaire. Aucun dispositif de l'art antérieur ne prend en compte cette contrainte supplémentaire.

DESCRIPTION SOMMAIRE DES FIGURES

La figure 1a représente le dispositif selon l'invention dans le cas où la zone annulaire (4) présente des variations de dimensions liées au changement de diamètre du tube externe (6).

5 La figure 1 b représente un élément ralentisseur selon l'invention en perspective.

La figure 1 c représente le dispositif selon l'invention et la pièce de centrage (12) en vue de dessus.

La figure 2a représente le dispositif selon l'invention dans le cas où la zone annulaire (4) présente des variations de dimensions et est traversée dans sa partie supérieure par le tube
10 interne (5).

La figure 2b représente un élément ralentisseur selon l'invention en vue de dessus.

La figure 3 représente une variante du dispositif selon l'invention dans laquelle les éléments ralentisseurs ont une structure rigide périphérique, c'est à dire attenante au tube externe (6).

La figure 4 représente une autre variante du dispositif selon l'invention dans laquelle les
15 éléments ralentisseurs ont la forme de morceaux d'hélice.

DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'INVENTION

La présente invention peut se définir comme un dispositif de remplissage dense du catalyseur
20 spécialement adapté à un réacteur échangeur de vaporeformage consistant en une pluralité de tubes à baïonnette enfermés dans une calandre, chaque tube à baïonnette comportant une zone annulaire au moins partiellement remplie de catalyseur. Ledit catalyseur est constitué de particules solides occupant au moins en partie l'espace annulaire (4) compris entre un tube interne (5) et un tube externe (6), l'ensemble de ces deux tubes constituant le tube baïonnette,
25 la largeur dudit espace annulaire étant comprise entre 30 mm et 80 mm, et sa hauteur étant comprise entre 10 et 20 mètres.

Les particules de catalyseur ont généralement la forme de cylindres de hauteur approximativement 10 mm à 20 mm, et de diamètre approximativement 5 mm à 20 mm.

Le dispositif selon la présente invention consiste dans sa version de base en :

30 - un ensemble d'éléments ralentisseurs (7) desdites particules solides, reliés entre eux de façon souple par des fils verticaux ou une ou plusieurs chaînes (8) et s'étendant sur toute la section de la zone annulaire (4).

Un élément ralentisseur (7) a globalement la forme d'un anneau de diamètre interne de sensiblement égal à celui du tube interne (5) et de diamètre externe sensiblement égal à celui du diamètre interne du tube externe (6). Un élément ralentisseur (7) est défini par une structure annulaire rigide sensiblement horizontale qui peut être soit centrale, c'est à dire
5 entourant le tube interne (5), soit périphérique, c'est à dire au contact de la paroi interne du tube externe (6). Sur cette structure annulaire rigide sont implantées une pluralité de tiges souples sensiblement radiales de manière à assurer une couverture de toute la section de la zone annulaire (4).

Le dispositif étant entièrement déployé, chaque élément ralentisseur (7) occupe toute la
10 section annulaire (4), la distance verticale séparant deux éléments ralentisseurs consécutifs étant comprise entre 50 cm et 150 cm.

Dans la version de base, l'espace annulaire (4) de chaque tube baïonnette forme un espace continu et présente seulement dans sa partie supérieure un obstacle constitué par le tube interne (5) traversant le tube externe (6). Cet obstacle pose un problème pour le déploiement
15 du dispositif selon l'invention, et peut être contourné en ouvrant la structure circulaire rigide, par exemple sur une demi circonférence de manière à pouvoir l'engager autour du tube interne (5), puis en refermant ladite structure rigide au moyen d'un système de collier (11), le collier étant lui même équipé de tiges souples sensiblement radiales.

Dans la version où le tube interne (5) est maintenu centré par un centreur (12), la structure
20 rigide des éléments ralentisseurs peut être ouverte en étant divisée en deux ou 3 morceaux, puis refermée par tout moyen de fixation lorsque l'obstacle est franchi.

Dans le cas où le diamètre interne du tube externe (6) présente des variations définissant des portions de tube externe (6) de diamètre décroissant de haut en bas du tube baïonnette, la solution apportée dépend du type de structure rigide.

25 - Si la structure des éléments ralentisseurs (7) est rigide autour du tube interne (5), structure rigide dite "centrale", l'ajustement aux différents diamètres du tube externe (6) se fait par la souplesse des tiges souples dont la longueur est calculée pour pouvoir atteindre la paroi du tube externe (6) de plus grand diamètre.

- Si la structure des éléments ralentisseurs (7) est rigide en périphérie, le système d'éléments
30 ralentisseurs (7) est adapté de manière à ce que la structure rigide du premier élément, (en comptant les éléments de bas en haut) corresponde au plus petit diamètre, et la structure rigide des éléments suivants soit de même en rapport avec la dimension de la zone annulaire qu'ils

occupent lorsque le dispositif est entièrement déployé. On arrive ainsi à un dispositif étagé dans lequel les différents éléments ralentisseurs (7) ont des structures rigides de diamètre croissant de bas en haut.

5 Lors de la mise en place du dispositif, une masse de lest peut être ajoutée au premier élément ralentisseur pour faciliter son déploiement dans la portion de zone annulaire (4) de plus petit diamètre.

Dans une variante du dispositif de remplissage selon l'invention, pour faciliter la descente du dispositif à l'intérieur de la zone annulaire (4), le premier élément ralentisseur (7) est équipé de poids qui permettent de vaincre le frottement des tiges souples à la paroi du tube externe
10 (6) en cas de structure rigide centrale, ou interne (5) en cas de structure rigide périphérique.

La présente invention concerne également une méthode de chargement du catalyseur faisant appel au dispositif précédemment décrit, méthode qui peut se décomposer dans la série d'étapes suivantes :

- le système de chargement est initialement enroulé dans l'enrouleur externe (10), la
15 trémie (1) étant remplie de solide,
- le système de chargement est ensuite introduit progressivement dans la zone annulaire (4) par sa partie supérieure jusqu'à ce que le premier élément ralentisseur (7) atteigne une distance par rapport au fond du tube comprise entre 50 cm et 100 cm,
- le tapis roulant ou le couloir vibrant (2) est mis en route de manière à fournir un débit
20 de solide compris entre 250 kg/h et 500 kg/h, les particules solides étant introduites dans la zone annulaire (4) par l'intermédiaire de l'entonnoir (3),
- au fur et à mesure que le tube se remplit, le système de chargement est remonté dans la zone annulaire (4) à l'aide de l'enrouleur externe (10), de manière à respecter une distance constante entre le premier élément ralentisseur (7) et la surface du lit qui se
25 constitue progressivement, ladite distance étant comprise entre 50 cm et 100 cm,
- le système est enroulé avec une vitesse équivalente à la vitesse de chargement du tube comprise entre 0,2 mètre/min et 0,4 mètre/min,
- une fois le tube chargé et le système de chargement enroulé, le système est déplacé pour le chargement du tube suivant.

DESCRIPTION DETAILLÉE DE L'INVENTION

La présente invention peut se définir comme un dispositif permettant le chargement dense de catalyseur dans l'espace annulaire (4) de tubes à baïonnette, chaque tube baïonnette ayant une

5 hauteur comprise entre 10 m et 20 m, un diamètre du tube externe (6) compris entre 250 mm et 150 mm, et un diamètre externe du tube interne (5) compris entre 10 et 40 mm.

L'espace annulaire (4) contenant le catalyseur a donc une largeur caractéristique d'environ 50 mm. Dans la pratique, selon les cas, la largeur caractéristique de l'espace annulaire (4) pourra varier entre 30 mm et 80 mm.

10 De plus, dans certains cas le tube externe (6) a un diamètre décroissant de haut en bas par tronçons, ce qui signifie que la largeur caractéristique de l'espace annulaire (4) diminue également en allant de haut en bas. Le dispositif selon l'invention est conçu pour s'adapter à ces variations de largeur caractéristique et conserver ses performances sur l'ensemble des tronçons.

15 Un des problèmes majeurs posés par leur chargement dans des tubes de plus de 15 mètres de longueur est le risque de casse des particules catalytiques à charger, si on les faisait simplement tomber en chute libre sans aucune précaution, ce qui est une des solutions de l'art antérieur pour réaliser un chargement dense, sachant que le risque de casse apparaît généralement dès une hauteur de chute de 1mètre.

20 D'autres problèmes sont liés à la géométrie même de l'espace catalytique annulaire, ce qui interdit le passage des systèmes de chargement classiques.

Dans un cas fréquent dans le contexte de la présente invention, il faut tenir compte du tube interne (5) qui traverse le tube externe (6) dans la partie supérieure de la zone annulaire (4) pour permettre une sortie totalement dégagée des effluents réactionnels.

25 Les éléments ralentisseurs (7) permettent de contourner cet obstacle lors de la mise en place du dispositif en ayant une structure rigide qui peut s'ouvrir en plusieurs morceaux, généralement deux, puis se refermer après passage de l'obstacle par tout moyen de fixation connu de l'homme du métier.

Cette possibilité d'ouverture de la structure rigide des éléments ralentisseurs est également

30 utile pour franchir l'obstacle constitué par la pièce de centrage (12), lorsque celle ci existe.

Comme indiqué dans l'art antérieur, le risque de formation de voûte est accentué lorsque le ratio entre le diamètre du tube et la dimension principale des particules est inférieur à 8, ce

qui est souvent le cas dans le contexte de la présente invention, puisque la largeur typique de l'espace annulaire (50 mm) équivaut à environ 4 fois le diamètre caractéristique des particules de catalyseur.

Le dispositif selon la présente invention réduit considérablement le risque de formation de
5 voûtes puisque les particules solides vont être ralenties au passage à travers les tiges souples des éléments ralentisseurs, et vont se déposer de façon progressive sur la surface du lit.

La hauteur de chute des particules depuis le premier élément ralentisseur (compté de bas en haut) jusqu'à la surface du lit catalytique en formation est au plus de 1 mètre.

Enfin, le chargement se faisant tube par tube (ou par groupe de deux ou trois tubes alimentés
10 en parallèle), il doit être suffisamment rapide pour une utilisation industrielle, car un réacteur de vaporeformage visant une production d'environ 100 000 Nm³/h d'H₂ compte généralement de 200 à 350 tubes baïonnettes.

Le dispositif de remplissage selon l'invention consiste en :

- un ensemble d'éléments ralentisseurs (7) régulièrement répartis verticalement le long de
15 l'espace annulaire (4), occupant toute la section de ladite zone annulaire, et reliés entre eux par des liaisons verticales souples et séparés d'une distance verticale comprise entre 50 cm et 150 cm,
- lesdits éléments ralentisseurs (7) étant reliés entre eux par une ou plusieurs chaînes (8) qui s'enroulent autour d'un enrouleur (10) situé à l'extérieur du tube à remplir, et les particules de
20 catalyseur étant contenues dans
- une trémie centrale (1) permettant de délivrer les particules sur un tapis roulant (2) alimentant l'espace annulaire (4), par l'intermédiaire
- d'un entonnoir (3), par lequel s'écoulent les particules à l'intérieur de l'espace annulaire (4).

25 L'espace annulaire (4) ainsi défini peut être unique ou divisé en plusieurs secteurs sensiblement identiques par un système dit "centreur" (12). Un secteur se définit donc comme une portion d'espace annulaire qui correspond à une fraction bien définie de la section annulaire et s'étend sur toute la hauteur dudit espace annulaire.

Chaque élément ralentisseur (7) a la forme d'un anneau circulaire rigide attenant soit au tube
30 interne (5), soit au tube externe (6), cet anneau étant muni d'une pluralité de tiges souples radiales qui occupent la totalité de la section de la zone annulaire (4).

Dans certains cas où l'on souhaite que les éléments ralentisseurs (7) jouent également un rôle de centrage du tube interne (5) vis à vis du tube externe (6), les éléments ralentisseurs (7) peuvent être munis d'ailettes rigides (9) disposées de manière radiale et s'étendant sur toute la largeur de la zone annulaire (4), comme cela est représenté sur la figure 1b.

5 Lorsque le diamètre de la paroi de l'espace annulaire (4) varie, en raison de portions de tube externe (6) de diamètre interne décroissant de haut en bas, la solution à cette variation dépend du type de structure rigide des éléments ralentisseurs:

- Si la structure des éléments ralentisseurs (7) est rigide autour du tube interne (5), structure rigide dite "centrale", l'ajustement aux différents diamètres du tube externe (6) se fait par la
10 souplesse des tiges souples dont la longueur est calculée pour pouvoir atteindre la paroi du tube externe (6) de plus grand diamètre (Cf. figure 1a)

- Si la structure des éléments ralentisseurs (7) est rigide en périphérie, c'est à dire autour du tube externe (6), le système d'éléments ralentisseurs (7) est adapté de manière à ce que la structure rigide du premier élément, (en comptant les éléments de bas en haut) corresponde au
15 plus petit diamètre, et la structure rigide des éléments suivants corresponde à la dimension de la zone annulaire qu'ils occupent lorsque le dispositif est entièrement déployé.

On arrive ainsi à un dispositif étagé dans lequel les différents éléments ralentisseurs (7) ont des structures rigides de diamètre croissant de bas en haut (Cf. figure 3).

Dans une variante du dispositif selon l'invention, représentée sur la figure 4, les éléments
20 ralentisseurs (7) ont une structure rigide en forme de tronçons hélicoïdaux, les tiges souples étant implantées de manière radiale tout le long du tronçon hélicoïdal. La forme hélicoïdal de la structure rigide permet un passage très facile de l'obstacle constitué par la traversée du tube interne (5) dans la partie supérieure de la zone annulaire (4), ou la traversée du centreur (12) permettant un positionnement correcte du tube interne (5).

25 Pour faciliter la descente du dispositif à l'intérieur de la zone annulaire (4), il est possible d'équiper le premier élément ralentisseur (7) de poids qui permettent de vaincre le frottement des tiges souples à la paroi du tube externe (6). Le premier élément ralentisseur (7) est celui qui est toujours placé le plus près de la surface du lit catalytique en formation.

30 Concernant la méthode de chargement faisant appel au dispositif tel que décrit précédemment, elle peut être décrite par les étapes suivantes:

- le système de chargement est initialement enroulé dans l'enrouleur externe (10), la trémie (1) étant remplie de solide,
- le système de chargement est ensuite introduit progressivement dans la zone annulaire (4) par sa partie supérieure jusqu'à ce que le premier élément ralentisseur (7) atteigne
5 une distance par rapport au fond du tube comprise entre 50 cm et 100 cm. Ce premier élément peut être muni d'une masse complémentaire, suspendue ou fixée sur cet élément, pour faciliter la descente de l'ensemble des éléments,
- le tapis roulant ou le couloir vibrant (2) est mis en route de manière à fournir un débit de solide compris entre 250 kg/h et 500 kg/h.
- 10 - au fur et à mesure que le tube est rempli, le système de chargement est remonté de la zone annulaire (4) à l'aide de chaînes et de l'enrouleur externe (10), de manière à respecter une distance constante entre le premier élément ralentisseur et la surface du lit qui se constitue progressivement. Cette distance est comprise entre 50 cm et 100 cm.
- 15 - le système est enroulé avec une vitesse équivalente à la vitesse de chargement du tube comprise entre 0,2 m / min et 0,4 m/min.
- pendant le chargement, la trémie (1) peut être remplie à nouveau si son volume est plus faible que celui du tube. Cette opération peut se réaliser avec ou sans arrêt du chargement.
- 20 - une fois le tube chargé et le système de chargement enroulé, l'ensemble est déplacé pour le chargement du tube suivant.

Des opérations de vérification du chargement, faisant appel à des mesures de perte de charge entre deux points du tube à baïonnette, accompagnent l'opération de chargement, mais ne font pas l'objet d'une description dans ce texte, étant considérées comme bien
25 connues de l'homme du métier.

EXEMPLE SELON L'INVENTION

Des essais de chargement ont été réalisés avec le dispositif selon l'invention constitué de deux
30 éléments ralentisseurs (7) disposés dans une colonne expérimentale de 1 m de hauteur, constituée d'un tube interne (5) de diamètre externe 42 mm et d'un tube externe (6) de diamètre interne 128,1 mm.

Les particules solides à charger ont la forme de petits cylindres de hauteur 1,5 cm et de diamètre 0,8 cm.

Un élément ralentisseur (7) a une structure rigide circulaire en forme de spirale de diamètre interne 45 mm sur laquelle est implantée une pluralité de tiges souples sensiblement radiales.

- 5 La distance entre le premier élément ralentisseur (7) et la surface du lit en formation est maintenue égale à 50 cm pendant le chargement.

Le dispositif est relevé en continu à une vitesse de 0,3 mètre/min.

Une fois le lit chargé, la mesure de ΔP est faite avec un débit d'air de 130 Nm³/h.

Après déchargement, les particules cassées sont isolées du lot. Le taux de casse est très faible,

- 10 de l'ordre de 0,1%.

Les résultats du chargement sont montrés dans le tableau 1 ci-dessous.

Le chargement obtenu avec ce système est très satisfaisant, avec une excellente reproductibilité en termes de perte de charge (écarts à la moyenne de $\pm 1,4\%$).

Le temps de chargement est au maximum de 3,3 minutes/mètre, ce qui correspond à un temps

- 15 d'environ 40 minutes pour un tube de 12 m (pour un débit de solide d'environ 320 kg/h).

La densité de chargement est de 1009 kg/m³, reproductible dans tous les chargements.

Tableau 1 : résultats des chargements avec le dispositif à éléments ralentisseurs sur une
maquette de 1 m.

Temps de chargement (min)	Temps de déchargement (min)	Hauteur de solide (cm)	Densité de chargement (kg/m ³)	Perte de charge (mm H ₂ O)	Écart à la moyenne	Taux de brisure
3'00"	9'	94	1009	280	-1,4%	0,1%
2'42"	10'	94	1009	288	1,4%	0,07%
2'47"	-	94	1009	284	0	-

Moyenne perte de charge	284
-------------------------	-----

REVENDICATIONS

- 1) Dispositif de remplissage dense du catalyseur spécialement adapté à un réacteur échangeur de vaporeformage consistant en une pluralité de tubes baïonnettes enfermés dans une calandre, le catalyseur étant constitué de particules solides occupant au moins en partie l'espace annulaire (4) compris entre un tube interne (5) et un tube externe (6), l'ensemble de ces deux tubes constituant un tube baïonnette, la largeur dudit espace annulaire étant comprise entre 30 mm et 80 mm, et sa hauteur étant comprise entre 10 et 20 mètres, les particules de catalyseur ayant la forme de cylindres de hauteur approximativement 10 mm à 20 mm et de diamètre approximativement 10 mm à 20 mm, le dispositif consistant en :
- un ensemble d'éléments ralentisseurs (7) de forme annulaire, le diamètre interne de l'anneau étant sensiblement égal à celui du tube interne (5) et son diamètre externe étant sensiblement égal à celui du diamètre interne du tube externe (6), lesdits éléments ralentisseurs (7) étant régulièrement répartis verticalement le long de l'espace annulaire (4), et occupant chacun toute la section de la zone annulaire (4), reliés entre eux par des liaisons verticales souples, et séparés par une distance verticale comprise entre 50 cm et 150 cm, chaque élément ralentisseur étant constitué d'une structure rigide annulaire dite "centrale", d'un diamètre sensiblement égal à celui du tube interne (5) sur laquelle sont implantées une pluralité de tiges souples sensiblement radiales et occupant toute la section de la zone annulaire (4),
 - lesdits éléments ralentisseurs (7) étant reliés entre eux par une ou plusieurs chaînes (8) qui s'enroulent autour d'un enrouleur (10) situé à l'extérieur du tube à remplir, et les particules de catalyseur étant contenues dans :
 - une trémie centrale (1) permettant de délivrer les particules sur un tapis roulant (2) alimentant l'espace annulaire (4), par l'intermédiaire:
 - d'un entonnoir (3), par lequel s'écoulent les particules à l'intérieur de l'espace annulaire (4).
- 2) Dispositif de remplissage selon la revendication 1, dans lequel chaque élément ralentisseur (7) est munit d'ailettes rigides (9) disposées de manière radiale et s'étendant sur toute la largeur de la zone annulaire (4).
- 3) Dispositif de remplissage selon la revendication 1, dans lequel chaque élément ralentisseur (7) présente une structure rigide de forme hélicoïdale sur laquelle sont implantées une

pluralité de tiges souples sensiblement radiales et occupant toute la section de la zone annulaire (4).

4) Dispositif de remplissage selon la revendication 1, dans lequel, lorsque la dimension radiale de l'espace annulaire (4) varie, en raison de portions de tube externe (6) de diamètre interne croissant de bas en haut, les éléments ralentisseurs (7) ont une structure rigide de type périphérique, et présentent des diamètres croissant de bas en haut de manière à occuper toute la section de chaque portion de la zone annulaire (4).

5) Dispositif de remplissage selon la revendication 1, dans lequel pour faciliter la descente du dispositif à l'intérieur de la zone annulaire (4), le premier élément ralentisseur (7) est équipé de poids qui permettent de vaincre le frottement des tiges souples à la paroi du tube externe (6) en cas de structure rigide centrale, ou interne (5) en cas de structure rigide périphérique.

6) Méthode de chargement du catalyseur faisant appel au dispositif selon la revendication 1, caractérisée par la suite d'étapes suivantes:

- le système de chargement est initialement enroulé dans l'enrouleur externe (10), la trémie (1) étant remplie de solide,
- le système de chargement est ensuite introduit progressivement dans la zone annulaire (4) par sa partie supérieure jusqu'à ce que le premier élément ralentisseur (7) atteigne une distance par rapport au fond du tube comprise entre 50 cm et 100 cm.
- le tapis roulant ou le couloir vibrant (2) est mis en route de manière à fournir un débit de solide compris entre 250 kg/h et 500 kg/h, solide qui est introduit dans la zone annulaire (4) par l'intermédiaire de l'entonnoir (3),
- au fur et à mesure que la zone annulaire (4) se remplit, le système de chargement est remonté de la zone annulaire (4) à l'aide de l'enrouleur externe (10), de manière à respecter une distance constante entre le premier élément ralentisseur et la surface du lit qui se constitue progressivement, ladite distance étant comprise entre 50 cm et 100 cm.
- le système est enroulé avec une vitesse équivalente à la vitesse de chargement du tube comprise entre 0,2 mètre/min et 0,4 mètre/min.

- une fois le tube chargé et le système de chargement enroulé, le système est déplacé pour le chargement du tube suivant.

1/3

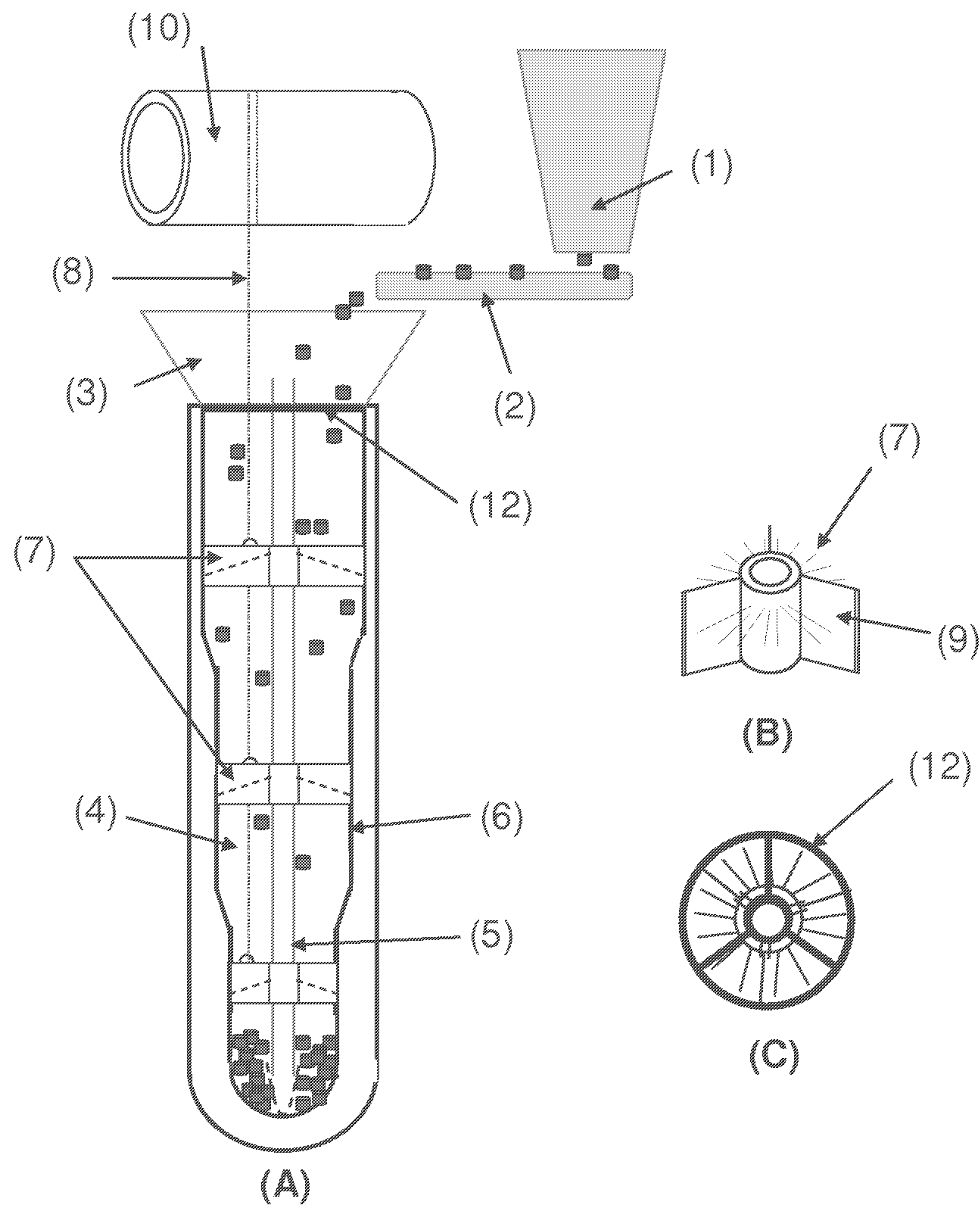


Fig 1

2/3

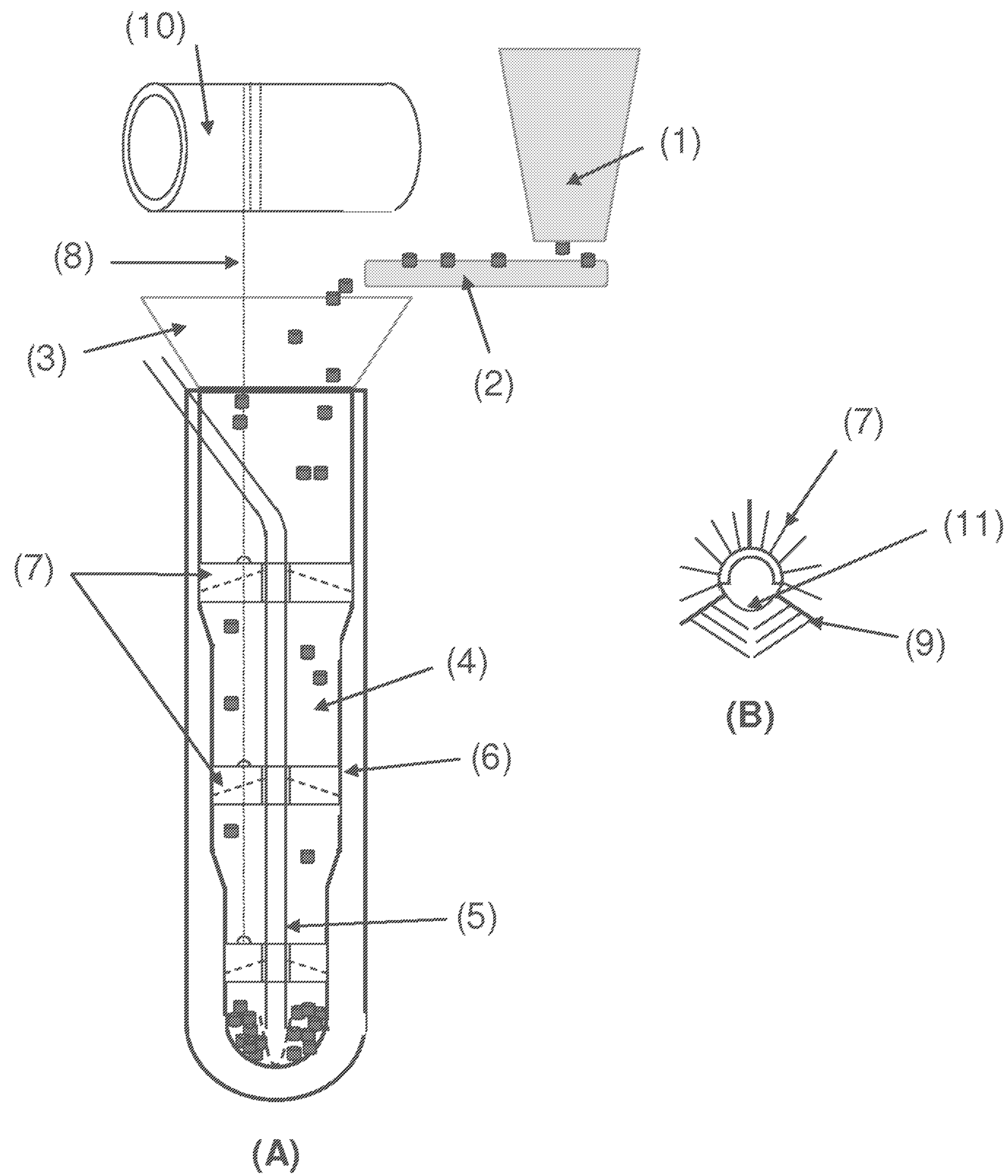


Fig 2

3/3

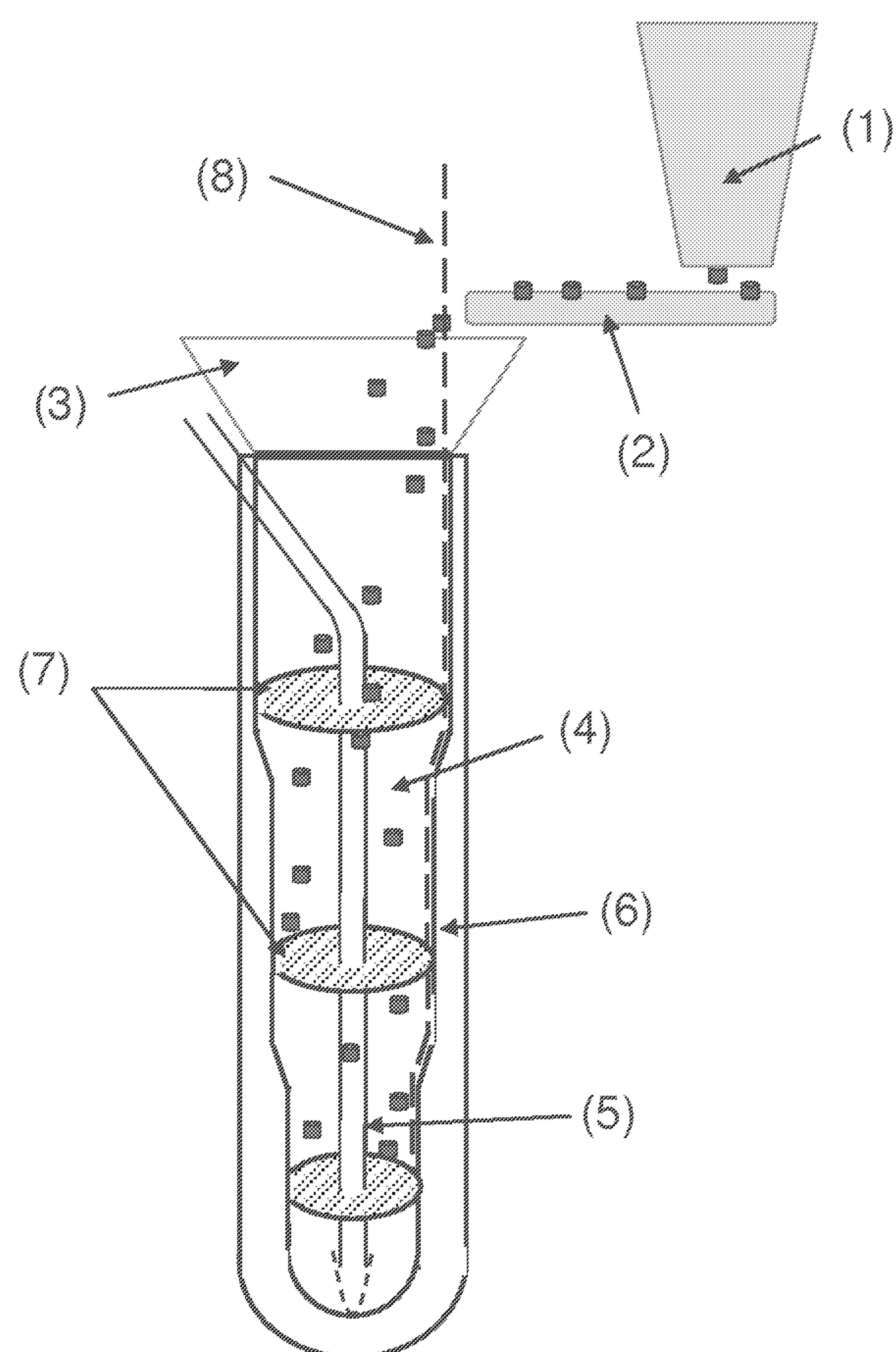


Fig 3

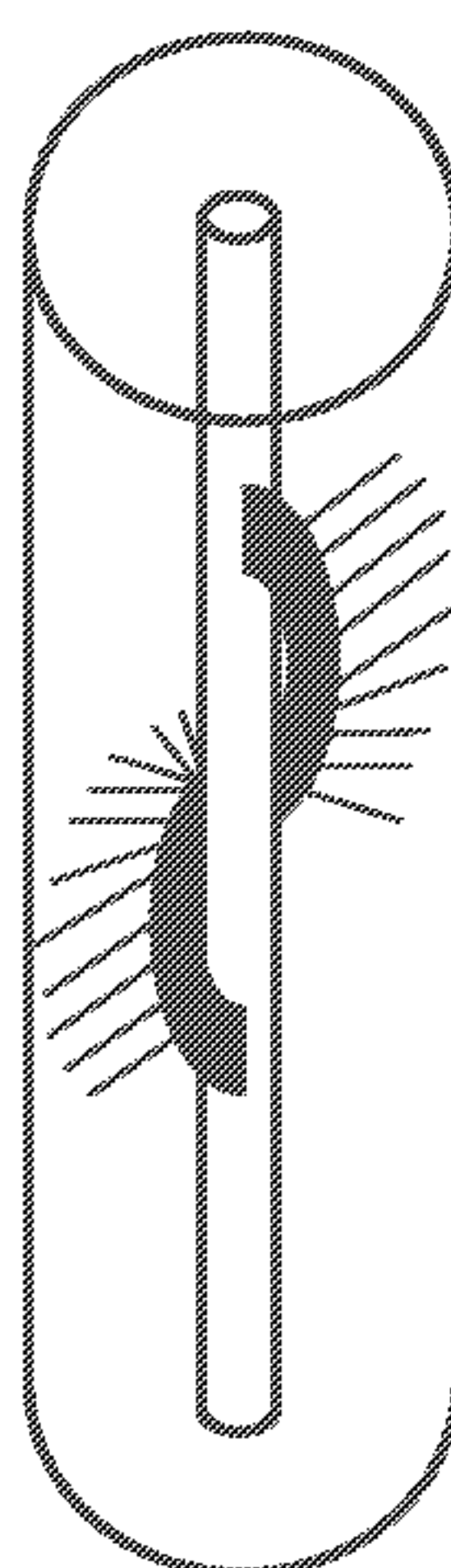


Fig 4

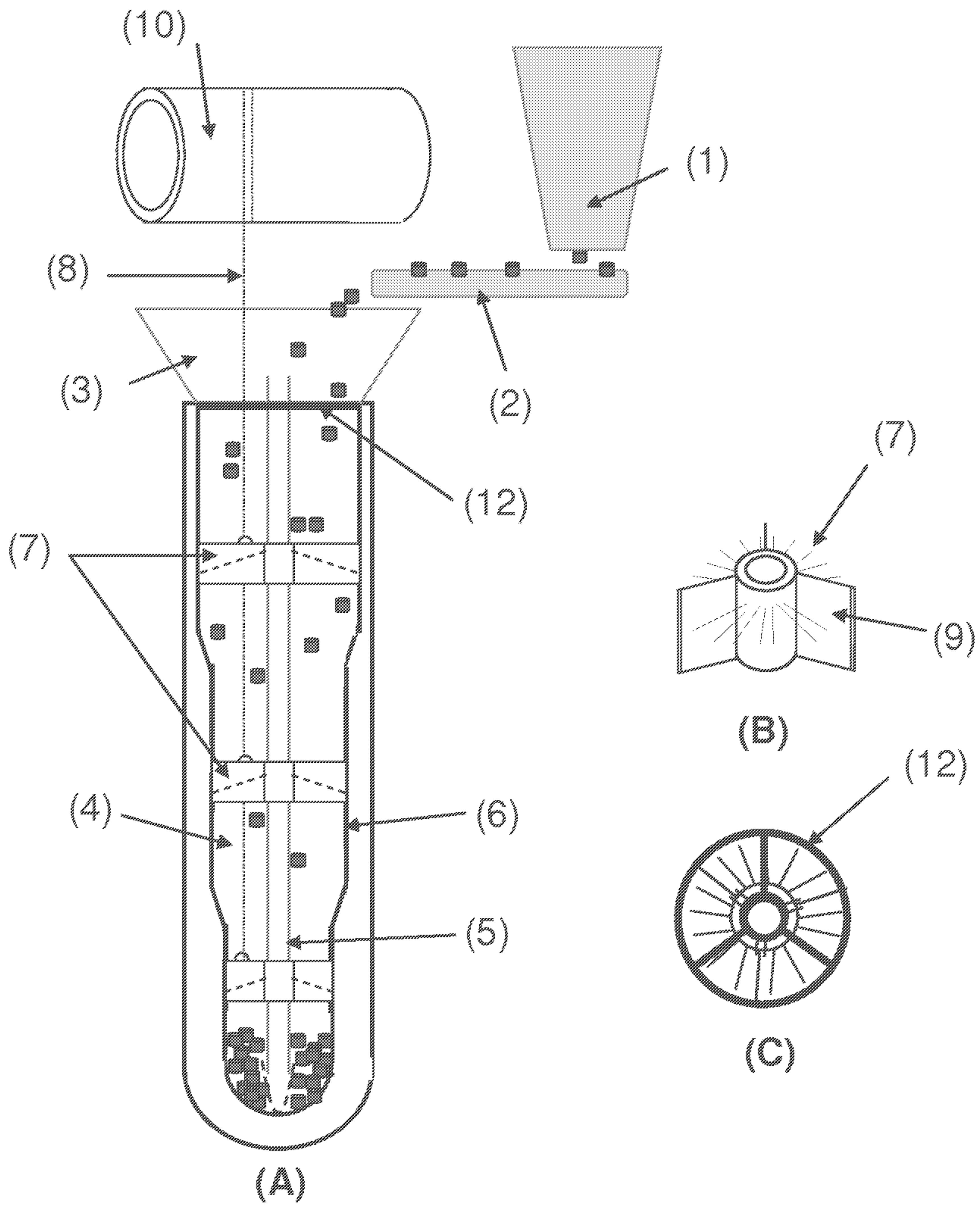


Fig 1