

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 07.07.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 12.01.24 Bulletin 24/02.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : *Ecole Polytechnique Établissement
Public à caractère Scientifique, Culturel et Professionnel
— FR et CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE Établissement Public à caractère
Scientifique, Culturel et Professionnel — FR.*

72 Inventeur(s) : MAKANGA Ursy, DELMOTTE Blaise
et DUPRAT Camille.

73 Titulaire(s) : *Ecole Polytechnique Établissement
Public à caractère Scientifique, Culturel et Profession-
nel, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIEN-
TIFIQUE Établissement Public à caractère Scientifique,
Culturel et Professionnel.*

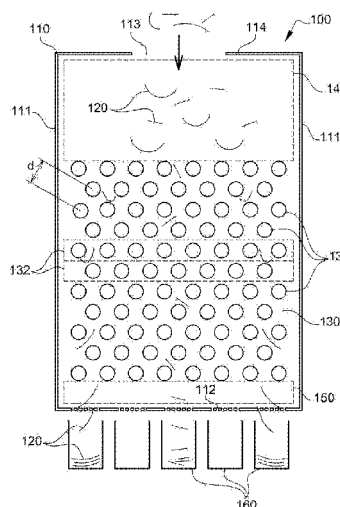
74 Mandataire(s) : IPSIDE.

54 Dispositif de tri de fibres par déplacement latéral différencié.

57 L'invention concerne un dispositif (100) de tri de fibres
(120), notamment de fibres synthétiques, contenues dans
un liquide chargé de fibres, le dispositif de tri comprenant un
récipient (110) adapté pour contenir le liquide, et un réseau
d'obstacles (130) disposé dans le récipient (110), le réseau
d'obstacles (130) étant configuré de manière à pouvoir être
traversé par une fibre (120) depuis une zone supérieure
(140) du récipient vers une zone inférieure (150) du réci-
pient, dite zone de récupération, sous l'effet de la gravité, le
réseau d'obstacles (130) est configuré pour induire un dé-
placement latéral de ladite fibre (120) différencié selon ses
propriétés mécaniques, de manière à opérer un tri de fibres
dans la zone de récupération par dépôt des fibres (120) à
des positions latérales différenciées.

L'invention concerne également une installation (200)
de traitement d'eaux usées et une installation d'analyse bio-
logique comprenant un tel dispositif.

figure pour l'abrégé : figure 1



Description

Titre de l'invention : Dispositif de tri de fibres par déplacement latéral différencié

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

- [0001] Le domaine de l'invention est celui du tri de fibres, notamment de fibres synthétiques.
- [0002] Plus précisément, l'invention concerne un dispositif de tri de fibres par déplacement latéral différencié des fibres.
- [0003] L'invention trouve notamment des applications dans le traitement des eaux usées chargées en fibres, en particulier synthétiques. L'invention trouve également des applications dans le domaine de la biologie, pour la caractérisation de filaments issus de cytosquelettes, ou l'identification d'agents pathogènes.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE

- [0004] Il est connu de l'art antérieur des techniques de traitement des eaux usées, en particulier de type station d'épuration. Bien que ces techniques permettent de filtrer la majorité des impuretés contenues dans les eaux usées, elles ne permettent pas de filtrer les déchets les plus petits, notamment les microplastiques.
- [0005] Les microplastiques, qui sont définis comme des particules de plastique de taille inférieure à 5 millimètres, sont particulièrement néfastes pour l'écosystème en raison de leur dispersion dans les cours d'eaux, les lacs, les mers et les océans, et *in fine* leur intégration dans la chaîne alimentaire des animaux et de l'homme.
- [0006] Un type de microplastique particulièrement répandu dans les eaux usées, et particulièrement complexe à filtrer et à trier, sont les fibres synthétiques. Les fibres synthétiques se retrouvent dans les eaux usées notamment suite au lavage de vêtements synthétiques au lave-linge.
- [0007] On connaît des solutions de dépollution notamment des mers et océans, consistant à positionner sur l'eau des barrières flottantes visant à concentrer les déchets, à la manière d'un entonnoir, en direction d'une plateforme de traitement et/ou de stockage en vue du traitement.
- [0008] On connaît également des solutions consistant en des installations de traitement flottantes, naviguant une zone à dépolluer et aspirant l'eau environnante en vue de son traitement.
- [0009] L'inconvénient de ces solutions est de ne permettre que le traitement des déchets situés à proximité de la surface de l'eau et à proximité des installations, et de ne pas être adaptée au traitement des microplastiques les plus petits.
- [0010] Les solutions connues ont également l'inconvénient d'être des solutions de tri

actives, nécessitant une source d'énergie extérieure pour leur fonctionnement.

[0011] Enfin, ces solutions ont pour inconvénient de ne proposer qu'une dépollution a posteriori, sans effet préventif de la pollution.

[0012] En outre, dans les systèmes connus, il est nécessaire de procéder après la collecte à un tri des déchets récoltés, en vue de leur recyclage. Or, il serait souhaitable de collecter les déchets, en particulier microplastiques, et de les trier simultanément, en vue de leur recyclage.

Exposé de l'invention

[0013] La présente invention vise à remédier à tout ou partie des inconvénients de l'état de la technique cités ci-dessus.

[0014] À cet effet, l'invention vise, un dispositif de tri de fibres, notamment de fibres synthétiques, contenues dans un liquide chargé de fibres, le dispositif de tri comprenant un récipient s'étendant selon une direction sensiblement verticale et étant adapté pour contenir le liquide, et un réseau d'obstacles disposé dans le récipient, le réseau d'obstacles étant configuré de manière à pouvoir être traversé par une fibre depuis une zone supérieure du récipient vers une zone inférieure du récipient, dite zone de récupération, sous l'effet de la gravité, et le réseau d'obstacles est en outre configuré pour induire un déplacement latéral de ladite fibre différencié selon ses propriétés mécaniques, de manière à opérer un tri de fibres dans la zone de récupération par dépôt des fibres à des positions latérales différenciées.

[0015] Le dispositif de tri est ainsi entièrement passif, ce qui permet la mise en œuvre du dispositif sans nécessiter de source d'énergie extérieure. L'orientation verticale du récipient en utilisation, c'est-à-dire sensiblement parallèle à la direction du champ gravitationnel local, permet d'assurer un déplacement des fibres dans le récipient sous le seul effet de la gravité. L'orientation verticale du dispositif correspond donc à une configuration normale d'utilisation du dispositif.

[0016] Grâce au réseau d'obstacles, le dispositif permet de filtrer un liquide chargé de fibres, ainsi que de trier ces dernières selon leur type.

[0017] Le réseau d'obstacles est en effet choisi de manière à induire un déplacement latéral des fibres qui dépend de leurs propriétés mécaniques, c'est-à-dire qui dépend du type de fibre. Le tri est opéré par la seule interaction hydrodynamique entre les fibres et les obstacles du réseau d'obstacle, immergés dans le liquide.

[0018] Ainsi, un liquide initialement chargé de fibres versé dans le récipient, tel une eau usée chargée de fibres synthétiques, peut être filtré après un temps de repos permettant aux fibres de se déplacer vers le fond du récipient sous l'effet de leur propre poids. Après passage à travers le réseau d'obstacles, les fibres triées selon leurs propriétés mécaniques peuvent être récupérées au niveau de la zone de récupération. Les fibres

triées peuvent être revalorisées, et le liquide précédemment chargé de fibres se retrouve filtré, et peut par exemple être rejeté dans l'environnement sans craindre une pollution microplastique.

- [0019] De plus, le dispositif de tri est particulièrement simple de conception, ce qui le rend à la fois peu coûteux et simple d'entretien, et facilement adaptable pour différentes applications.
- [0020] Selon d'autres caractéristiques avantageuses :
- [0021] Le réseau d'obstacles est configuré pour induire un déplacement latéral différencié selon la géométrie de la fibre et/ou ses propriétés mécaniques intrinsèques.
- [0022] Ainsi, un tri de fibres de différents types peut être obtenu. Par exemple, il est possible de discriminer des fibres de matériaux différents et/ou de tailles et formes différentes.
- [0023] Le réseau d'obstacles est configuré pour induire un déplacement latéral différencié selon la longueur de la fibre et/ou la flexibilité de la fibre.
- [0024] Ainsi, il est possible en particulier de discriminer les fibres selon leur longueur, qui peut être déterminante en vue de leur revalorisation, et/ou leur flexibilité, qui est un indicateur du type de matériau constitutif de la fibre, qui peut également être déterminant en vue de leur revalorisation.
- [0025] Le nombre de Reynolds, caractérisant le comportement du liquide dans le récipient, est inférieur à 1, préférentiellement inférieur à 0,1.
- [0026] Ainsi, un meilleur fonctionnement du dispositif peut être obtenu, le liquide étant proche du repos, et le déplacement de la fibre n'est pas perturbé, ce qui a pour effet d'améliorer la qualité du tri.
- [0027] Le réseau d'obstacles comprend une pluralité de tiges sensiblement parallèles, s'étendant sensiblement orthogonalement à ladite direction sensiblement verticale.
- [0028] Ainsi, les tiges forment un réseau d'obstacles à la manière d'un grillage, à travers lequel les fibres peuvent se déplacer.
- [0029] En particulier, la section transversale d'une tige est de forme circulaire.
- [0030] Une telle forme de section transversale induit une interaction hydrodynamique avec les fibres qui présente un compromis idéal entre déviation des fibres et risque de blocage des fibres dans le réseau.
- [0031] En particulier, la section transversale d'une tige est de forme polygonale, de préférence triangulaire, la forme polygonale comportant de préférence des sommets arrondis.
- [0032] Une telle forme de section transversale est une alternative permettant d'obtenir un déplacement latéral des fibres satisfaisant. Une forme arrondie des sommets participe à réduire le risque de blocage des fibres dans le réseau d'obstacles.
- [0033] Préférentiellement, la section transversale d'une tige est de forme triangulaire, et dans lequel l'orientation de la tige est telle qu'une majorité des sommets de la forme

triangulaire soit plus proche de la zone supérieure du récipient, que de la zone inférieure du récipient.

- [0034] Une telle forme et orientation permet d'obtenir un risque modéré de blocage des fibres dans le réseau.
- [0035] Le réseau d'obstacles comprend une pluralité de séries de tiges, arrangées de façon décalée l'une au-dessus de l'autre selon ladite direction sensiblement verticale, de manière obtenir un arrangement en quinconce des tiges selon la direction sensiblement verticale.
- [0036] Un tel arrangement a pour effet de maximiser la probabilité d'une fibre de rencontrer un obstacle, et en particulier plusieurs obstacles, au cours de son déplacement à travers le réseau d'obstacle. Les déplacements latéraux pouvant ainsi se cumuler, la discrimination en sortie du réseau d'obstacles est améliorée. De plus, un tel arrangement favorise les déplacements de fibres le long de diagonales du réseau de tri, ce qui renforce le déplacement latéral total.
- [0037] La dimension maximale de la section transversale d'une tige est comprise entre 0.5 et 10 fois la longueur moyenne des fibres destinées à être triées.
- [0038] Une telle plage de valeurs représente un bon compromis entre risque de blocage des fibres dans le réseau, et la probabilité pour une fibre de rencontrer un obstacle et d'être déplacée latéralement. En particulier, une dimension maximale de la section transversale d'une tige est comprise entre 1 et 3 fois la longueur moyenne des fibres destinées à être triées peut être préférée, et représente un compromis idéal.
- [0039] En particulier, le liquide chargé de fibres comprend de l'eau, notamment de l'eau salée.
- [0040] Ainsi, le dispositif est configuré notamment pour pouvoir contenir de l'eau, par exemple salée, destinée à être traitée. De l'eau polluée de fibres microplastiques est un type de liquide particulièrement susceptible d'être filtré par le dispositif.
- [0041] L'invention a également pour objet une installation de traitement d'eaux usées comprenant un circuit de traitement et un dispositif de tri disposé en aval dudit circuit de traitement.
- [0042] Ainsi, il est possible d'améliorer la qualité des effluents traités dans une installation de traitement d'eaux usées, tout en récupérant les fibres triées en vue de leur revalorisation par exemple.
- [0043] L'invention a également pour objet une installation d'analyse biologique comprenant un dispositif de tri pour la caractérisation de fibres biologiques, en particulier de pathogènes ou de cytosquelettes.

BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

- [0044] D'autres avantages, buts et caractéristiques particulières de la présente invention res-

sortiront de la description non limitative qui suit d'au moins un mode de réalisation particulier des dispositifs et procédés objets de la présente invention, en regard des dessins annexés, dans lesquels :

- la [Fig.1] est une représentation schématique d'un dispositif de tri selon un mode de réalisation particulier, selon une vue en coupe.
- la [Fig.2] est une vue de détail de deux obstacles de différent type, selon une coupe transversale.
- la [Fig.3] est un graphe illustrant le déplacement latéral d'une fibre pour différent nombre élasto-gravitationnels Be .
- la [Fig.4] est un graphe illustrant le déplacement latéral d'une fibre pour différents rapports entre dimension maximale de l'obstacle et longueur de la fibre.
- la [Fig.5] est un graphe illustrant le déplacement latéral d'une fibre pour différentes formes d'obstacles du réseau d'obstacle.
- la [Fig.6] est une représentation schématique d'une installation de traitement d'eaux usées comprenant un dispositif de tri.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE L'INVENTION

- [0045] La présente description est donnée à titre non limitatif, chaque caractéristique d'un mode de réalisation pouvant être combinée à toute autre caractéristique de tout autre mode de réalisation de manière avantageuse.
- [0046] On note, dès à présent, que les figures ne sont pas à l'échelle.
- [0047] La [Fig.1] représente schématiquement un dispositif de tri 100 selon un mode de réalisation possible, selon une vue en coupe longitudinale.
- [0048] Le dispositif de tri 100 comprend un récipient, qui est en particulier une cuve 110. La cuve 110 est adaptée pour contenir un liquide chargé de fibres 120, en particulier de fibres synthétiques. Un tel liquide peut par exemple comprendre de l'eau, et notamment un soluté tel que du sel.
- [0049] Selon une autre possibilité, le liquide peut être de l'huile de silicone.
- [0050] La cuve 110 comprend des parois latérales 111, un fond 112, et une ouverture 113 adaptée pour remplir la cuve 110 d'un liquide.
- [0051] En particulier, la cuve 110 comprend une paroi supérieure 114 munie de l'ouverture 113. L'ouverture 113 peut toutefois être pratiquée dans une paroi latérale 111.
- [0052] La cuve 110 s'étend selon une direction longitudinale entre le fond 112 et la paroi supérieure 114.
- [0053] La hauteur de la cuve 110, définie comme étant sa dimension selon la direction longitudinale, est ici supérieure à ses dimensions transversales. La cuve 110 peut toutefois également être plus large que haute, dans d'autres variantes de réalisation.

- [0054] La cuve 110 peut notamment être à base rectangulaire, bien que toute autre forme puisse également convenir.
- [0055] Par exemple, les dimensions d'une base rectangulaire de la cuve 110 peuvent être de 40 centimètres par 60 centimètres. Sa hauteur est par exemple de 80 centimètres.
- [0056] Par la suite, l'utilisation de termes « inférieur », « supérieur » et « latéral » est faite en considération d'une cuve 110 disposée verticalement, c'est-à-dire dans laquelle la direction longitudinale correspond à une direction verticale de la cuve 110 en utilisation. On entend par direction « verticale » une direction sensiblement parallèle au champ gravitationnel terrestre local.
- [0057] Le dispositif de tri 100 comprend un réseau d'obstacles 130 disposé à l'intérieur de la cuve 110. Le réseau d'obstacles 130 est configuré pour induire un déplacement latéral différencié des fibres 120, selon leurs propriétés mécaniques.
- [0058] Préférentiellement, le réseau d'obstacles 130 s'étend entre une zone supérieure 140 de la cuve 110, et une zone inférieure 150, dite zone de récupération, de la cuve 110, et peut être traversé par une fibre 120 depuis la zone supérieure 140 vers la zone inférieure 150.
- [0059] Plus précisément, le réseau d'obstacles 130 est agencé à distance du fond 112, et à distance de la paroi supérieure 114.
- [0060] Préférentiellement, le réseau d'obstacles 130 s'étend sensiblement d'une paroi latérale 111 à l'autre, en étant sensiblement parallèle au fond 112.
- [0061] Le réseau d'obstacles 130 comprend une pluralité d'obstacles.
- [0062] Les obstacles sont notamment des tiges 131, pleines ou creuses. Les tiges 131 sont préférentiellement rectilignes.
- [0063] Les tiges 131 s'étendent sensiblement parallèlement les unes aux autres, dans une direction transversale de la cuve 110, qui est en particulier orthogonale à la direction longitudinale de la cuve 110. En d'autres termes, les tiges 131 sont agencées de façon sensiblement parallèle au fond 112.
- [0064] Tel que cela est représenté à la [Fig.1], les tiges 131 peuvent être agencées selon une pluralité de séries 132 de tiges, les séries 132 étant arrangées de façon décalée l'une au-dessus de l'autre selon la direction longitudinale de la cuve 110.
- [0065] Ainsi, un arrangement en quinconce des tiges 131 selon la direction verticale est obtenu.
- [0066] Par exemple, le réseau d'obstacles 130 comprend entre cinq et quinze, préférentiellement dix, séries 132 de tiges.
- [0067] Par exemple, chaque série 132 de tiges comprend entre cinq et dix tiges 131.
- [0068] La distance d entre deux tiges 131 adjacentes appartenant à deux séries différentes correspond par exemple à entre 1 et 2 fois, préférentiellement 1,5 fois, la dimension maximale de la section transversale d'une tige 131.

- [0069] Selon une première variante, une section transversale d'une tige 131 est de forme circulaire.
- [0070] Une telle configuration est représentée à droite sur la [Fig.2], qui représente les sections transversales de deux variantes de tiges 131.
- [0071] Selon une deuxième variante, une section transversale d'une tige 131 est de forme polygonale.
- [0072] De préférence, la forme polygonale d'une section de tige 131 est une forme triangulaire. En particulier, la forme triangulaire est isocèle, préférentiellement équilatéral.
- [0073] De préférence également, la forme polygonale d'une section de tige 131 comporte des sommets arrondis, ou émoussés.
- [0074] Une configuration particulièrement préférée est une section de tige 131 de forme triangulaire, dont les sommets sont arrondis, tel que représenté à gauche sur la [Fig.2].
- [0075] La forme triangulaire à sommets arrondis n'est pas limitée à la représentation faite sur la [Fig.2]. En effet, toute forme de triangle allant quasiment depuis un cercle, jusqu'à un triangle « conventionnel », peut être envisagée. En d'autres termes, les sommets de la forme triangulaire peuvent être de légèrement arrondis à très fortement arrondis.
- [0076] Lorsque la section transversale d'une tige 131 est de forme triangulaire, l'orientation d'une tige 131 est préférentiellement telle qu'une majorité des sommets de la forme triangulaire sont plus proche de la zone supérieure 140 de la cuve 110, c'est-à-dire de la paroi supérieure 114, que de la zone inférieure 150 de la cuve 110, c'est-à-dire du fond 112.
- [0077] En d'autres termes, une telle orientation d'une tige 131 correspond à une forme triangulaire de sa section transversale qui « pointe » vers la zone inférieure 150.
- [0078] Préférentiellement, dans une telle orientation, une base de la forme triangulaire de la section transversale d'une tige 131 est sensiblement parallèle au fond 112, en étant orientée en opposition à ce dernier.
- [0079] En particulier, lorsque la forme triangulaire de la section transversale d'une tige 131 est isocèle, la base est orientée vers la paroi supérieure 114.
- [0080] Les dimensions d'une section transversale d'une tige 131 sont choisies en fonction du type de fibres 120 à trier. En particulier, la dimension maximale de la section transversale d'une tige 131 est comprise entre 0.5 et 10 fois, préférentiellement entre 1 et 3 fois, la longueur moyenne des fibres 120 destinées à être triées. Une telle dimension permet de réduire le risque de blocage des fibres 120 dans le réseau d'obstacles 130, et maximise leur réorientation.
- [0081] En d'autres termes, les dimensions de la section transversale dépendent de l'application envisagée pour le dispositif de tri 100.

- [0082] Par exemple, les fibres 120 sont de l'ordre du centimètre ou du millimètre dans le cas de fibres synthétiques dans une eau usée, et de l'ordre du micromètre dans le cas d'organismes biologiques fibreux.
- [0083] Dans le cas d'une section circulaire, la dimension maximale de la section transversale correspond à son diamètre, tandis que pour une section de forme triangulaire, la dimension maximale de la section transversale correspond à la longueur de sa base.
- [0084] Après leur passage dans le réseau d'obstacles 130, les fibres 120 peuvent être récupérées directement dans la zone de récupération 150, suite à leur dépôt à des positions latérales différenciées sur le fond 112, ou indirectement en aval de la zone de récupération 150.
- [0085] Dans ce dernier cas, le dispositif de tri 100 peut également comprendre des unités de récupération 160 de fibres 120, tel que représenté à la [Fig.1].
- [0086] Par exemple, des unités de récupération 160 prenant la forme de récipients sont disposés à proximité du fond 112, à l'intérieur ou à l'extérieur de la cuve 110.
- [0087] Les unités de récupération 160 permettent ainsi de collecter et de récupérer aisément les fibres 120 triées.
- [0088] Le dispositif de tri 100 fonctionne comme décrit ci-après.
- [0089] La cuve 110 est remplie d'un liquide chargé de fibres 120, qui est destiné à être filtré et dont les fibres 120 sont destinées à être triées.
- [0090] Comme indiqué ci-avant, le liquide peut par exemple comprendre de l'eau. Le liquide peut également comprendre un soluté tel que du sel, c'est-à-dire que le liquide comprend de l'eau salée, tel que de l'eau de mer.
- [0091] Le liquide est généralement un liquide pollué par des fibres 120, qui sont en particulier des fibres synthétiques. Les fibres synthétiques peuvent provenir d'activités humaines, tel que le lavage de vêtements en matière synthétique.
- [0092] En particulier, les fibres synthétiques contenues dans le liquide comprennent notamment des fibres de polyester, de polyoléfines, acryliques, de nylon.
- [0093] Préférentiellement, la cuve 110 est auparavant remplie d'un liquide identique ou différent, de façon à au moins immerger le réseau d'obstacles 130.
- [0094] En effet, le tri de fibres est opéré préférentiellement lorsque liquide contenu dans la cuve 110 est quasiment au repos.
- [0095] En d'autres termes, le nombre de Reynolds, caractérisant le comportement du liquide dans la cuve 110, est inférieur à 1, préférentiellement compris entre 0.1 et 10^{-6} .
- [0096] Plus précisément, le nombre de Reynolds peut ici être défini de la manière suivante : $Re = \frac{\rho U l}{\eta}$, où U est la vitesse de la fibre 120, donnée par l'équilibre entre la gravité et la viscosité du liquide, l est la longueur moyenne d'une fibre, ρ est la densité du fluide et η est la viscosité dynamique du liquide.

- [0097] Ainsi, non seulement l'écoulement du liquide est laminaire, il est préférentiellement quasi statique, c'est-à-dire que le fluide est sensiblement au repos.
- [0098] On comprend ainsi qu'afin de maintenir un nombre de Reynolds constant pour différentes longueurs de fibres, dans le but d'obtenir un fonctionnement constant du dispositif de tri 100, il suffit de modifier la viscosité du liquide. Par exemple, pour des fibres 120 de longueur inférieure à 100 micromètres, de l'eau peut être utilisée, tandis que pour des fibres de longueur supérieure à 100 micromètres, de l'huile, notamment de silicone, peut être utilisée
- [0099] Les fibres 120 contenues dans le liquide se déplacent sous l'effet de leur propre poids vers le fond 112 de la cuve 110. Pour obtenir un tel comportement, la cuve 110 est disposée sensiblement verticalement, conformément à ce qui a été décrit plus en amont.
- [0100] Lors de leur déplacement vers le fond 112, les fibres 120 rencontrent les obstacles du réseau d'obstacles 130.
- [0101] Chaque fibre 120 possède des propriétés mécaniques propres. Ces propriétés mécaniques comprennent notamment des caractéristiques géométriques de la fibre 120, tel que sa longueur, et des propriétés mécaniques intrinsèques, tel que sa flexibilité, exprimée notamment par son module de Young.
- [0102] Il a été observé que les interactions hydrodynamiques entre un obstacle tel qu'une tige 131 et une fibre 120 induisent un déplacement latéral de la fibre 120 lors de la traversée du réseau d'obstacles 130.
- [0103] Plus précisément, il a été observé que plus une fibre 120 est longue et/ou peu flexible, plus cette dernière dérive fortement latéralement.
- [0104] En d'autres termes, le déplacement latéral d'une fibre 120 est inversement proportionnel au nombre adimensionnel élasto-gravitationnel Be de la fibre, défini comme suit : $Be = \frac{WL^3}{EI}$, où W est la masse linéique de fibre, L est la longueur de la fibre, E est le module de Young de la fibre, et I est le moment quadratique de la fibre.
- [0105] La figure 3 est une représentation graphique du déplacement latéral d'une fibre 120 pour un nombre élasto-gravitationnel égal à 200 (chronophotographie de gauche et tracé ■) ainsi que pour un nombre élasto-gravitationnel égal à 1000 (chronophotographie de droite et tracé ►). Le rapport entre la longueur de la fibre 120 et la dimension maximale d'un obstacle du réseau d'obstacle 130 (aussi désigné par ξ) correspond ici à 2. Les obstacles sont de section circulaire.
- [0106] La [Fig.4] est une représentation graphique du déplacement latéral d'une fibre 120 pour un nombre élasto-gravitationnel égal à 200, pour un rapport entre la longueur de la fibre 120 et la dimension maximale d'un obstacle du réseau d'obstacle 130 de 1 (tracé ■) ainsi que pour un rapport entre la longueur de la fibre 120 et la dimension

maximale d'un obstacle du réseau d'obstacle 130 de 2 (tracé ►). Les obstacles sont de section circulaire.

- [0107] Respectivement sur les graphes de la [Fig.3] et 4, ainsi que sur la [Fig.5] décrite ci-après, sur l'axe des ordonnées est indiquée la position en profondeur du centre de masse de la fibre 120 dans la cuve 110, normé par la longueur de la fibre 120. Sur l'axe des abscisses est indiquée la position latérale du centre de masse de la fibre 120 dans la cuve 110, également normé par la longueur de la fibre 120.
- [0108] Tel que cela ressort clairement de la comparaison entre le tracé de la fibre « semi-flexible » ($Be=200$) et celui d'une fibre « très flexible » ($Be=1000$), une fibre 120 pour lequel le nombre élasto-gravitationnel est faible, la fibre 120 aura tendance à se déplacer fortement latéralement (de l'ordre de plusieurs fois la longueur de la fibre, à l'issue du passage dans le réseau d'obstacles), tandis que pour une fibre 120 pour lequel le nombre élasto-gravitationnel est important, la fibre 120 aura tendance à peu se déplacer latéralement.
- [0109] Ainsi, les fibres 120 les plus rigides se déplacent fortement latéralement, et se retrouvent fortement écartés d'une position centrale dans la cuve 110 à l'issue de leur passage à travers le réseau d'obstacles 130, tel que cela ressort également des chronophotographies de la [Fig.3].
- [0110] Au contraire, les fibres 120 les plus souples se déplacent peu latéralement, et restent sensiblement en position centrale dans la cuve 110 à l'issue de leur passage à travers le réseau d'obstacles 130.
- [0111] Ainsi, le réseau d'obstacles 130 permet d'induire un déplacement latéral différencié des fibres 120, en vue de leur tri, ou discrimination, selon des propriétés mécaniques.
- [0112] Comme cela ressort de la [Fig.4], un rapport entre la longueur de la fibre 120 et la dimension maximale d'un obstacle du réseau d'obstacle 130 élevé, c'est-à-dire une taille de fibre élevée, induit un déplacement latéral plus important.
- [0113] Bien entendu, plus une fibre 120 rencontre d'obstacles, plus son déplacement latéral sera amplifié à l'issue du passage à travers le réseau d'obstacles 130. Il est ainsi avantageux de prévoir une pluralité de séries d'obstacles arrangés selon la direction longitudinales, avantageusement en quinconce, tel que cela a été explicité plus en amont, de manière à maximiser la rencontre d'obstacles par une fibre.
- [0114] De plus, le choix d'une section transversale particulière de tiges 131 du réseau d'obstacles 130 permet de varier le comportement du dispositif de tri 100.
- [0115] La [Fig.5] est une représentation graphique du déplacement latéral d'une fibre 120 pour des obstacles de section transversale circulaire (chronophotographie de gauche et tracé ►) ainsi que pour des obstacles de section transversale triangulaire arrondie, orientée vers le fond de la cuve (chronophotographie de droite et tracé ■). Le rapport entre la longueur de la fibre 120 et la dimension maximale d'un obstacle du réseau

d'obstacle 130 correspond ici à 2. Les obstacles sont de section circulaire. Le nombre élasto-gravitationnel est égal à 200.

- [0116] Comme il ressort clairement de la [Fig.5], une forme de section transversale circulaire induit le déplacement latéral d'une fibre 120 plus important en comparaison à une forme triangulaire aux sommets arrondis, pour un nombre élasto-gravitationnel constant.
- [0117] Il convient de noter qu'une forme triangulaire aux côtés concaves (non représentée) peut permettre d'induire un déplacement latéral d'une fibre 120 plus important. Le choix d'une telle forme peut ainsi être fait dans le but d'amplifier le déplacement latéral, mais il implique toutefois un risque de piégeage de la fibre dans le réseau d'obstacles, en particulier dans le cas de fibres longues et souples qui risquent de rester bloquées sur un sommet de la forme triangulaire. De plus, le temps de résidence de la fibre 120 dans le réseau d'obstacles 130 est alors augmenté.
- [0118] De manière générale, afin de minimiser le risque de blocage et le temps de résidence, le rapport entre la longueur de la fibre 120 et la dimension maximale d'un obstacle du réseau d'obstacle 130 peut être choisi au voisinage de 1. En effet des fibres longues ont tendance à se bloquer sur les obstacles 131.
- [0119] Afin de minimiser le risque de piégeage des fibres 120 par friction, l'orientation des obstacles peut être choisi tel qu'une majorité des sommets de la forme triangulaire de la section de l'obstacle soient plus proche de la zone inférieure 150 de la cuve 110 que de la zone supérieure 140 de la cuve 110, en d'autres termes que la forme triangulaire « pointe » vers la partie supérieure.
- [0120] Afin de minimiser le risque de piégeage des fibres 120 par blocage, l'orientation des obstacles peut être choisi tel qu'une majorité des sommets de la forme triangulaire de la section de l'obstacle soient plus proche de la zone supérieure 140 de la cuve 110 que de la zone inférieure 150 de la cuve 110, en d'autres termes que la forme triangulaire « pointe » vers la partie inférieure.
- [0121] Également, la rugosité de surface des obstacles du réseau d'obstacles 130 peut être réduite afin de minimiser le risque de piégeage par friction des fibres 120.
- [0122] On comprend ainsi que la taille des obstacles du réseau d'obstacles 130 par rapport à la taille moyenne des fibres à trier, la forme de leur section transversale, l'orientation de leur section transversale, ainsi que leur nombre dans le réseau d'obstacles 130, sont des paramètres de conception du dispositif de tri 100 qui peuvent être ajustés afin d'adapter le dispositif à l'application envisagée.
- [0123] Afin d'illustrer les possibilités d'application du dispositif de tri 100, deux exemples sont donnés ci-après.

Exemple d'une première application particulière

- [0124] A la [Fig.6] est illustrée schématiquement une installation de traitement 200 d'eaux

usées, telle qu'une station d'épuration.

- [0125] L'installation de traitement 200 comprend un circuit 210 de traitement des eaux usées, qui peut par exemple comprendre un poste de prétraitement visant à séparer de l'eau usagée les éléments solides de taille importante, les sédiments et les graisses. En général, un tel circuit 210 comprend ensuite des bassins de traitement biologique, et des clarificateurs.
- [0126] L'installation de traitement 200 peut comprendre un dispositif de tri 100, préférentiellement en aval du circuit 210 de traitement. En effet, il est préférable de filtrer une eau déjà épurée en grande partie, afin que le dispositif de tri 100 puisse faire effet dans des conditions optimales.
- [0127] Les effluents traités en sortie de l'installation de traitement 200 sont ainsi dépollués et ne comportent plus ou peu de fibres, en particulier synthétiques.
- [0128] L'intégration d'un dispositif de tri 100 dans une installation de traitement 200 permet ainsi d'améliorer le traitement des eaux usées au plus proche de la source de pollution, de façon préventive avant tout déversement dans l'environnement, et de manière totalement passive.
- [0129] Dans une telle application, l'ordre de grandeur des fibres est celui du millimètre. Conformément à ce qui a été exposé plus en amont, les dimensions des obstacles du réseau d'obstacles 130, et leur espacement, sont alors choisies dans ce même ordre de grandeur.

Exemple d'une deuxième application particulière

- [0130] Selon un autre exemple d'application, une installation d'analyse biologique peut comprendre un dispositif de tri 100 pour la caractérisation de fibres biologiques, en particulier de pathogènes ou de filaments issus de cytosquelettes.
- [0131] Un certain nombre d'agents pathogènes peuvent être assimilés à des fibres d'un point de vue mécanique, si bien qu'une discrimination de ces derniers selon leurs propriétés mécaniques peut être utilisée à des fins de caractérisation ou d'indentification.
- [0132] Par exemple, on sait que des parasites véhiculant des maladies telles que la méningite ou la pneumonie se développent sous la forme de chaînes de cellules de longueurs et rigidités diverses, qui varient en fonction qu'elles soient mortes ou vivantes, virulentes ou non, sous action d'antibiotiques ou non. L'application du dispositif de tri 100 permet de séparer une culture de pathogènes en sous-populations discriminées selon leur morphologie, permettant par exemple d'étudier leur virulence.
- [0133] Une application similaire peut être faite pour caractériser ou d'identifier des cytosquelettes, qui se présentent habituellement sous une forme filamenteuse.
- [0134] Une installation d'analyse biologique de ce type comprend essentiellement un dispositif de tri 100, ainsi que tout autre moyen nécessaire aux analyses à effectuer, comme par exemple des moyens pour garantir la stérilité de l'installation.

[0135] Dans une telle application, l'ordre de grandeur des agents et cytosquelettes assimilables à des fibres 120 est celui du micromètre. Conformément à ce qui a été exposé plus en amont, les dimensions des obstacles du réseau d'obstacles 130, et leur espacement, sont alors choisies dans ce même ordre de grandeur.

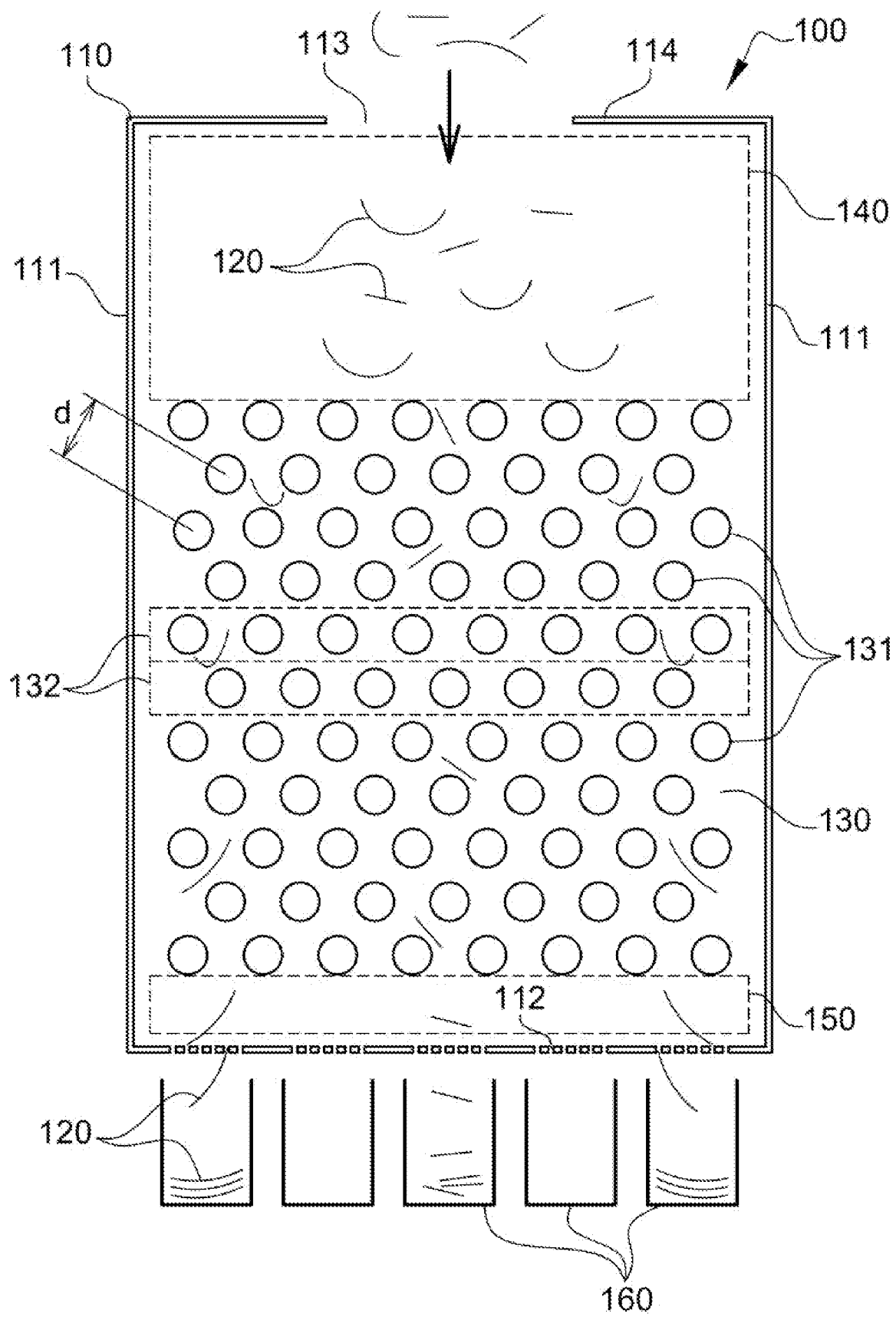
Revendications

- [Revendication 1] Dispositif (100) de tri de fibres (120), notamment de fibres synthétiques, contenues dans un liquide chargé de fibres, le dispositif de tri comprenant un récipient (110) s'étendant selon une direction sensiblement verticale et étant adapté pour contenir le liquide, et un réseau d'obstacles (130) disposé dans le récipient (110), le réseau d'obstacles (130) étant configuré de manière à pouvoir être traversé par une fibre (120) depuis une zone supérieure (140) du récipient vers une zone inférieure (150) du récipient, dite zone de récupération, sous l'effet de la gravité, caractérisé en ce que le réseau d'obstacles (130) est en outre configuré pour induire un déplacement latéral de ladite fibre (120) différencié selon ses propriétés mécaniques, de manière à opérer un tri de fibres dans la zone de récupération par dépôt des fibres (120) à des positions latérales différenciées.
- [Revendication 2] Dispositif (100) selon la revendication 1, dans lequel le réseau d'obstacles (130) est configuré pour induire un déplacement latéral différencié selon la géométrie de la fibre (120) et/ou ses propriétés mécaniques intrinsèques.
- [Revendication 3] Dispositif (100) selon la revendication 2, dans lequel le réseau d'obstacles (130) est configuré pour induire un déplacement latéral différencié selon la longueur de la fibre (120) et/ou la flexibilité de la fibre (120).
- [Revendication 4] Dispositif (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le nombre de Reynolds, caractérisant le comportement du liquide dans le récipient, est inférieur à 1, préférentiellement inférieur à 0,1.
- [Revendication 5] Dispositif (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le réseau d'obstacles (130) comprend une pluralité de tiges (131) sensiblement parallèles, s'étendant sensiblement orthogonalement à ladite direction sensiblement verticale.
- [Revendication 6] Dispositif (100) selon la revendication 5, dans lequel la section transversale d'une tige (131) est de forme circulaire.
- [Revendication 7] Dispositif (100) selon la revendication 5, dans lequel la section transversale d'une tige (131) est de forme polygonale, de préférence triangulaire, la forme polygonale comportant de préférence des sommets arrondis.
- [Revendication 8] Dispositif (100) selon la revendication 7, dans lequel la section transversale d'une tige (131) est de forme triangulaire, et dans lequel

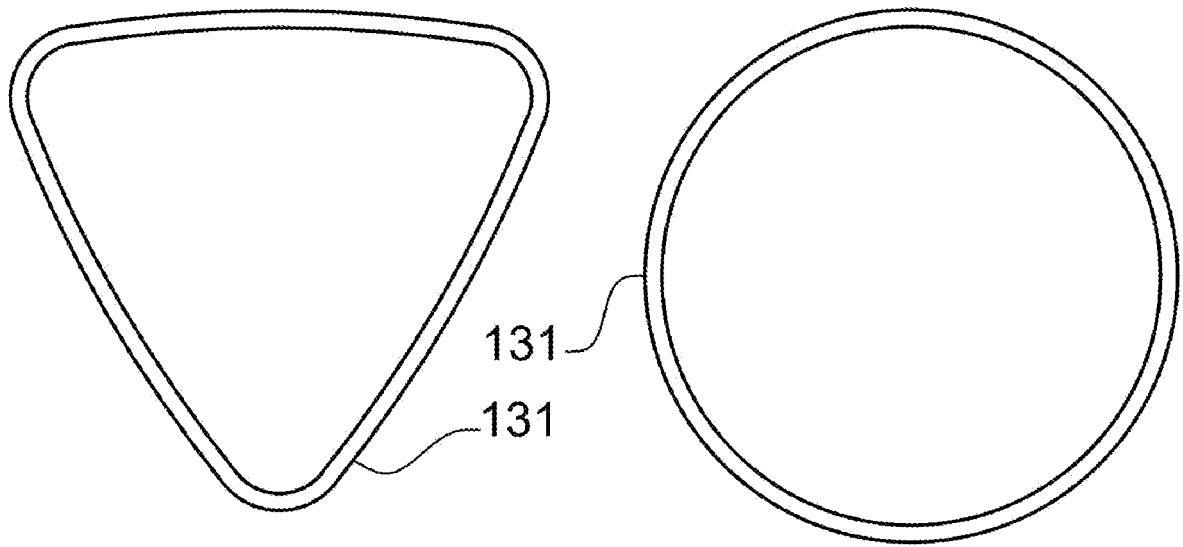
l'orientation de la tige (131) est telle qu'une majorité des sommets de la forme triangulaire soit plus proche de la zone supérieure (140) du récipient, que de la zone inférieure (150) du récipient.

- [Revendication 9] Dispositif (100) selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, dans lequel le réseau d'obstacles (130) comprend une pluralité de séries (132) de tiges (131), arrangées de façon décalée l'une au-dessus de l'autre selon ladite direction sensiblement verticale, de manière obtenir un arrangement en quinconce des tiges (131) selon la direction sensiblement verticale.
- [Revendication 10] Dispositif (100) selon l'une quelconque des revendications 5 à 9, dans lequel la dimension maximale de la section transversale d'une tige (131) est comprise entre 0.5 et 10 fois la longueur moyenne des fibres (120) destinées à être triées.
- [Revendication 11] Dispositif (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel ledit liquide chargé de fibres comprend de l'eau, notamment de l'eau salée.
- [Revendication 12] Installation (200) de traitement d'eaux usées comprenant un circuit de traitement (210) et un dispositif (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 11 disposé en aval dudit circuit de traitement (210).
- [Revendication 13] Installation d'analyse biologique comprenant un dispositif (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 11 pour la caractérisation de fibres biologiques, en particulier de pathogènes ou de filaments issus de cytosquelettes.

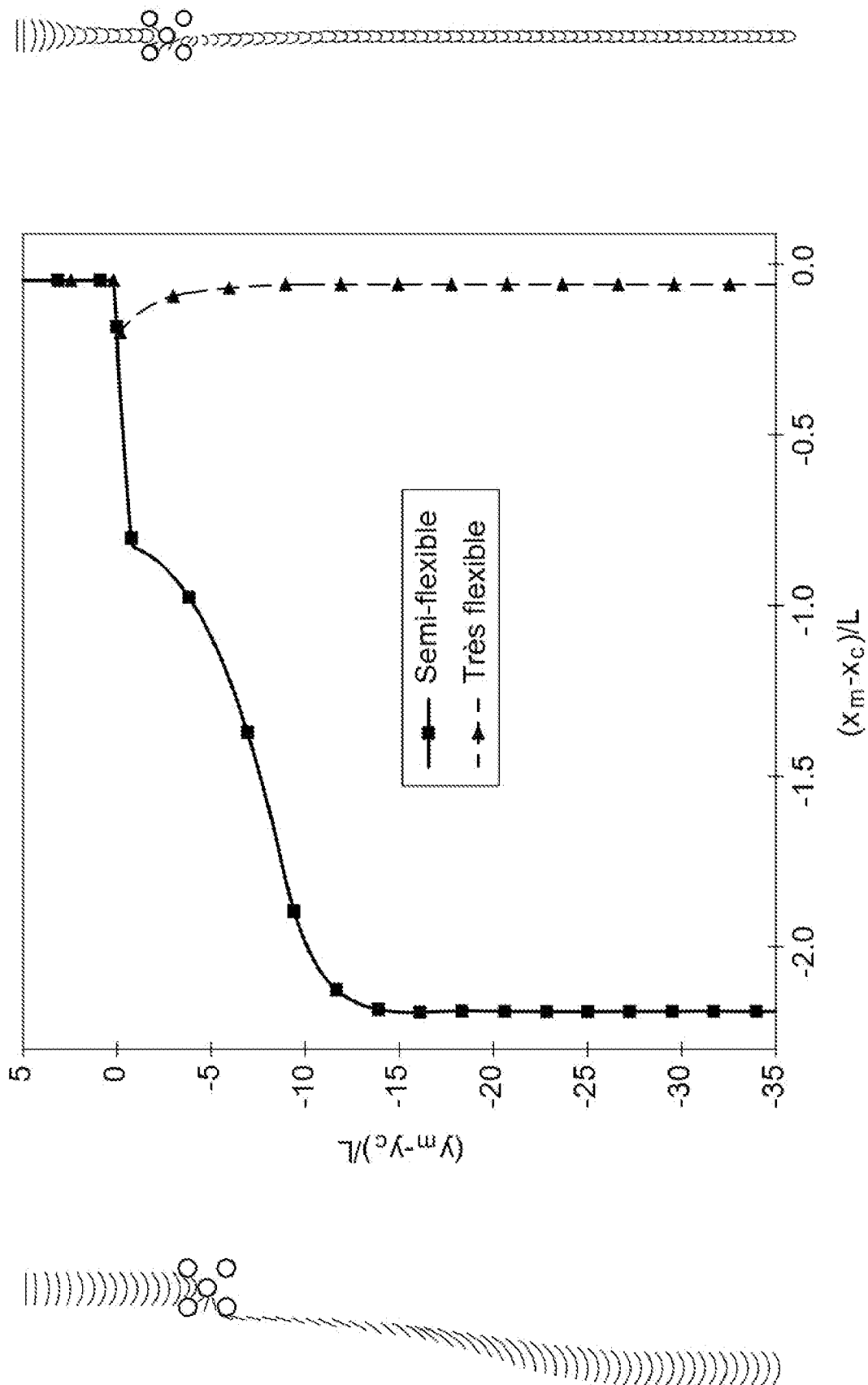
[Fig. 1]



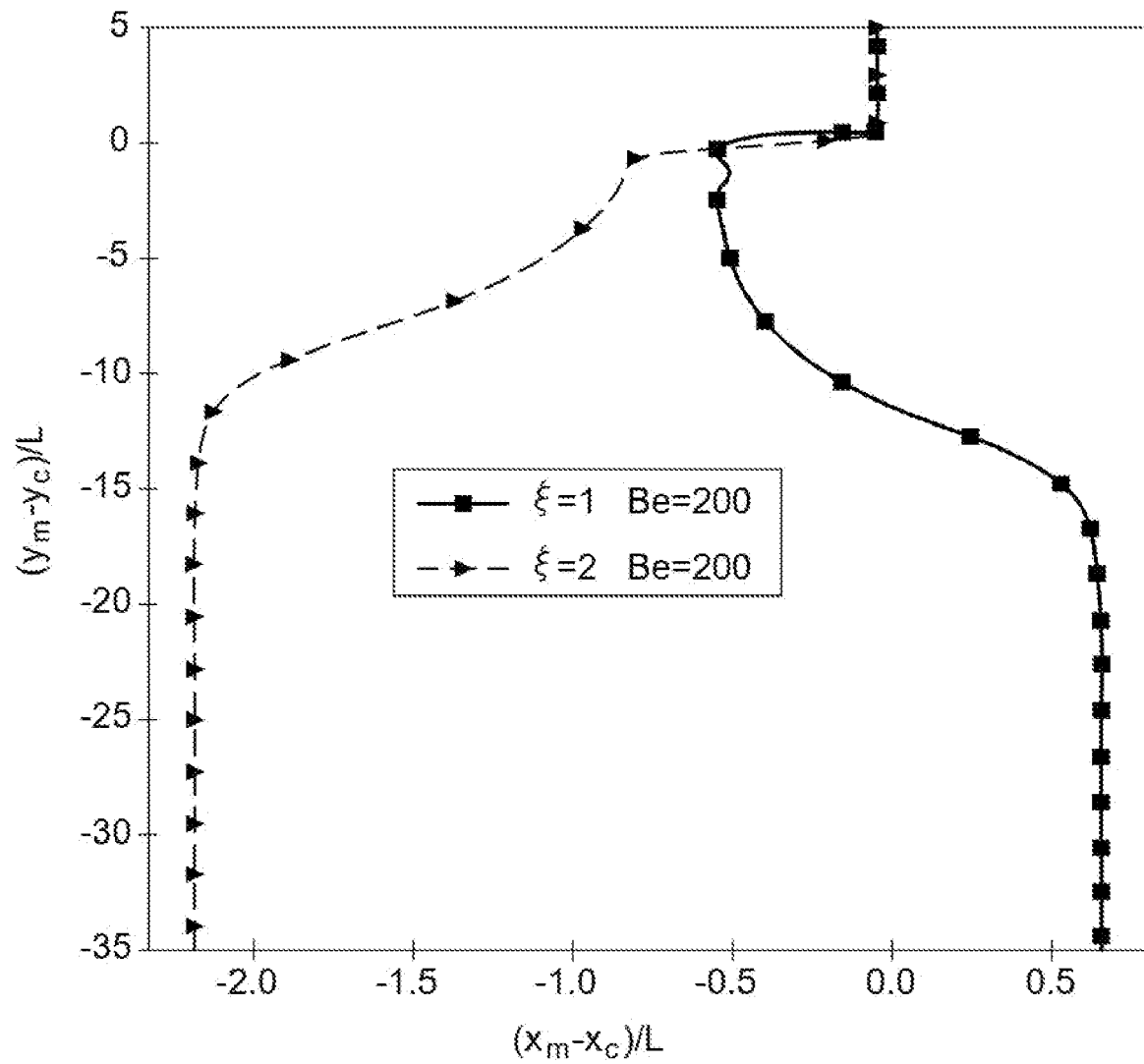
[Fig. 2]



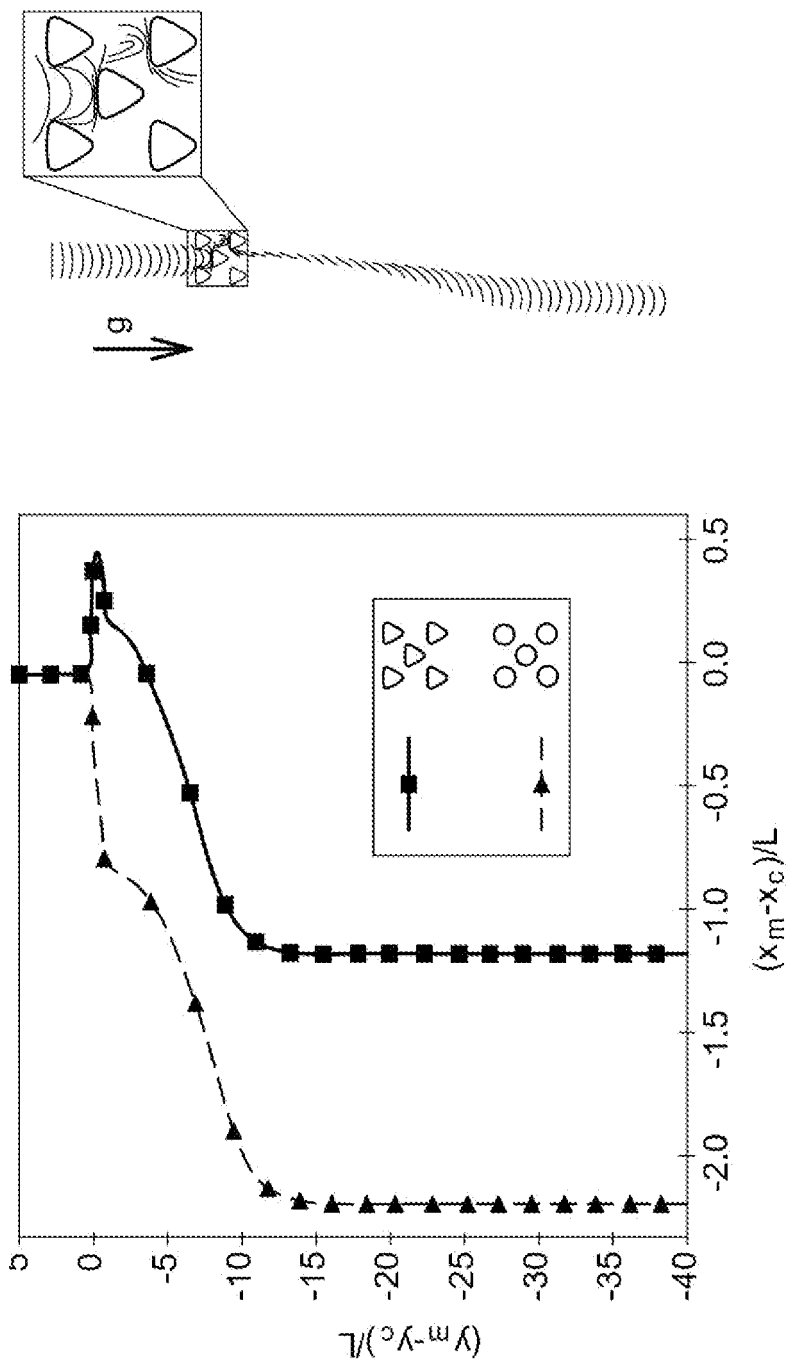
[Fig. 3]



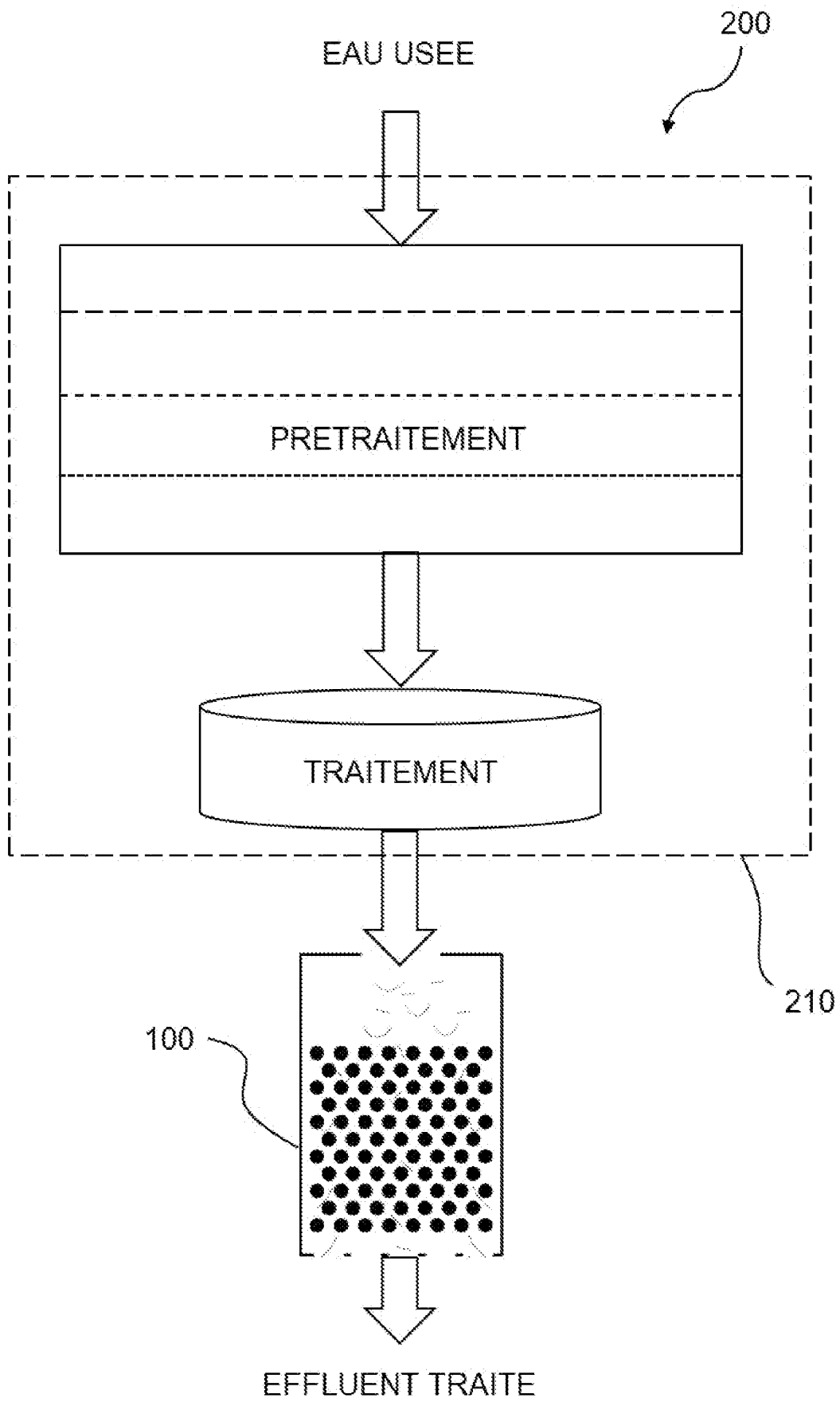
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 910431
FR 2206968

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2013/168298 A1 (HUANG LOTIEN RICHARD [US] ET AL) 4 juillet 2013 (2013-07-04) * alinéas [0046], [0052], [0069]; revendication 1; figures 6, 19 * -----	1-6, 10	B03B5/66 D01G5/00
X	JIANG MINGLIANG ET AL: "Fractionation by shape in deterministic lateral displacement microfluidic devices", MICROFLUIDICS AND NANOFUIDICS, SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, BERLIN/HEIDELBERG, vol. 19, no. 2, 27 mars 2015 (2015-03-27), pages 427-434, XP035541448, ISSN: 1613-4982, DOI: 10.1007/S10404-015-1572-6 [extrait le 2015-03-27] dernier alinéa; * abrégé; figure 1 * -----	1-6	
X	WO 2019/211523 A1 (VALMET AUTOMATION OY [FI]) 7 novembre 2019 (2019-11-07) * page 3, ligne 12; revendication 1; figures 1-5 * * page 3, ligne 28 - page 4, ligne 9 * -----	1-5, 7-11, 13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) B01D
X	US 2020/025657 A1 (D'SILVA JOSEPH [US] ET AL) 23 janvier 2020 (2020-01-23) * alinéa [0228]; figure 1 * -----	1	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
21 février 2023		Artos Fernández, V	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2206968 FA 910431**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **21-02-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
US 2013168298 A1	04-07-2013	AT	463292	T		15-04-2010
		AU	2003299553	A1		13-05-2004
		EP	1585583	A2		19-10-2005
		ES	2341103	T3		15-06-2010
		US	2004144651	A1		29-07-2004
		US	2007187250	A1		16-08-2007
		US	2012006728	A1		12-01-2012
		US	2013168298	A1		04-07-2013
		WO	2004037374	A2		06-05-2004

WO 2019211523 A1	07-11-2019	FI	20185405	A1		03-11-2019
		WO	2019211523	A1		07-11-2019

US 2020025657 A1	23-01-2020	CA	2942831	A1		18-09-2014
		CN	105247042	A		13-01-2016
		CN	113512522	A		19-10-2021
		EP	2971279	A2		20-01-2016
		EP	3608022	A1		12-02-2020
		US	2016139012	A1		19-05-2016
		US	2019137369	A1		09-05-2019
		US	2020025656	A1		23-01-2020
		US	2020025657	A1		23-01-2020
WO	2014145075	A2		18-09-2014		
