



(12) FASCICULE DE BREVET

- (11) N° de publication : **MA 34017 B1** (51) Cl. internationale : **C12M 3/02; C12M 1/24; C12M 1/04**
- (43) Date de publication : **01.02.2013**

-
- (21) N° Dépôt : **35165**
- (22) Date de Dépôt : **22.08.2012**
- (30) Données de Priorité : **23.02.2010 US 12/710,552**
- (86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT : **PCT/US2010/051971 08.10.2010**
- (71) Demandeur(s) :
• **MENA, Jacinto, La Plaza Adolfo Ventas 5, 2d C E-43870 Amposta (ES)**
• **MARGALEF, Pere, 4923 Verano Pl.Irvine California 92617 (US)**
- (72) Inventeur(s) :
MENA, Jacinto
- (74) Mandataire :
H & H CONSULTING LAW FIRM

(54) Titre : **PROCÉDÉ ET APPAREIL DESTINÉS À FOURNIR UN PHOTOBIORÉACTEUR**

- (57) Abrégé : La présente invention concerne un photobioréacteur pour la culture de microorganismes photosynthétiques et comprend un circuit hydraulique par lequel une solution aqueuse contenant une culture d'au moins un type d'organisme photosynthétique circule et est exposé à une source de lumière. Le photobioréacteur comprend également un moyen pour alimenter le système en dioxyde de carbone, un moyen pour éliminer l'oxygène gazeux, et un moyen pour injecter des éléments nutritifs dans le système. Le circuit hydraulique se compose de deux canaux récepteurs ouverts au même niveau relatif, d'un jeu de tubes transparents ou translucides qui connectent les canaux récepteurs l'un à l'autre, et d'au moins un dispositif de déplacement de fluide destiné à déplacer le fluide du premier canal récepteur au second canal récepteur par les tubes. Chaque canal récepteur comprend également un barrage directionnel qui aide à maintenir deux niveaux de surface différents de la solution aqueuse dans les parties amont et aval de chaque canal récepteur.

ABREGE

La présente invention concerne un photobioréacteur pour la culture de
5 microorganismes photosynthétiques et comprend un circuit hydraulique par
lequel une solution aqueuse contenant une culture d'au moins un type
d'organisme photosynthétique circule et est exposé à une source de lumière. Le
photobioréacteur comprend également un moyen pour alimenter le système en
dioxyde de carbone, un moyen pour éliminer l'oxygène gazeux, et un moyen
10 pour injecter des éléments nutritifs dans le système. Le circuit hydraulique se
compose de deux canaux récepteurs ouverts au même niveau relatif, d'un jeu de
tubes transparents ou translucides qui connectent les canaux récepteurs l'un à
l'autre, et d'au moins un dispositif de déplacement de fluide destiné à déplacer le
fluide du premier canal récepteur au second canal récepteur par les tubes.
15 Chaque canal récepteur comprend également un barrage directionnel qui aide à
maintenir deux niveaux de surface différents de la solution aqueuse dans les
parties amont et aval de chaque canal récepteur.

01 FEB 2013

WO/2011/106038

PCT/US2010/051971

PROCÉDÉ ET APPAREIL DESTINÉS À FOURNIR UN
PHOTOBIORÉACTEUR

- 5 [0001] Contexte de l'invention
[0002] Domaine de l'invention
[0003] L'invention concerne le domaine des microalgues et des cyanobactéries,
plus précisément la culture d'algues et de bactéries permettant la production de
biocarburants, d'aliments destinés à la consommation humaine et animale, de
10 fertilisants organiques ou de produits pharmaceutiques.
[0004] Description de la technique antérieure
[0005] La croissance continue du coût des carburants fossiles de même que leur
incidence néfaste sur l'environnement (les changements climatiques en sont un
exemple) suscitent un intérêt grandissant pour les biocarburants du type
15 biodiesel et bioéthanol. Jusqu'à présent, ces biocarburants ont été obtenus à
partir de matières premières traditionnelles riches en cellulose et en oléagineux
Toutefois, ces cultures traditionnelles ne sont pas rentables et la production de
biocarburants n'est pas d'un rendement suffisant pour rivaliser avec le pétrole et
ses dérivés. C'est ainsi que la production de biocarburants à partir de cultures
20 traditionnelles peut générer des effets secondaires négatifs tels qu'une
augmentation intolérable du prix des aliments et, de même, soulever d'autres
préoccupations de nature globale.
[0006] L'une des solutions les plus prometteuses pour résoudre la pénurie en
carburant fossile et son incidence sur l'environnement réside dans la production
25 de biocarburants à partir de microalgues du type micro-organismes phototrophes
unicellulaires. Les organismes phototrophes (des plantes, le plus généralement)
utilisent l'énergie obtenue par photosynthèse à partir de la lumière solaire pour
convertir le dioxyde de carbone et l'eau en matières organiques utiles pour
remplir des fonctions cellulaires telles que la biosynthèse et la respiration. Il est
30 à souligner que les microalgues unicellulaires vivant en solution aqueuse
transforment la lumière en énergie chimique beaucoup plus efficacement que
tout autre organisme en raison de leur plus grand accès au dioxyde de carbone et
aux minéraux dissous. Il s'ajoute que les microalgues unicellulaires sont
capables de stocker des lipides en plus forte densité que toute autre plante ou
35 organisme multicellulaire auquel du temps, de l'énergie et des nutriments sont

indispensables pour élaborer des structures portantes du type racines et tiges, des structures photocollectrices du type feuilles, et des organes conservateurs de lipides du type semences. Il en résulte que la production de biocarburants à partir de microalgues, dans la seule mesure d'être effectuée à grande échelle,

5 présente vis-à-vis des cultures conventionnelles les avantages suivants :

- les rendements de production sont de 30 à 100 fois plus élevés pour les micro-organismes que toute autre culture traditionnelle connue.

- Les microalgues peuvent pousser dans des sols et tolérer l'eau qui n'est pas utile pour l'agriculture conventionnelle. Elles peuvent même tolérer l'utilisation des eaux usées et de l'eau salée.

- Au cours de la croissance, d'énormes quantités de dioxyde de carbone, de même que d'autres gaz contaminants, sont captées. De plus, de vastes quantités d'oxygène sont générées et libérées dans l'atmosphère.

[0007] Les microalgues sont des organismes unicellulaires qui effectuent une photosynthèse pour convertir la lumière solaire en énergie chimique :

sous la forme

[0008] $C \% * ^k * w Pe^{3/4} + 'fl^{3/4}$

[0009] Les microalgues et les cyanobactéries sont les organismes les plus abondants de la planète, s'étant adaptées aux conditions extrêmes que l'on trouve par exemple dans les environnements polaires et volcaniques. Elles constituent le noyau de la chaîne trophique qui maintient la vie sur Terre de même que celui du cycle carbonique naturel. Elles produisent 80 % de la biomasse de la planète (phytoplancton).

[0010] La concentration en masse de lipides de certaines microalgues et de certaines cyanobactéries peut atteindre 60 à 70 % en poids sur une base sèche. Une optimisation en termes de production de biodiesel est ainsi rendue possible. De plus, les algues forment des puits de carbone efficaces et puissants. Il a été montré que 100 tonnes d'une biomasse composée de microalgues captent 170 tonnes de dioxyde de carbone.

[0011] En plus de la lumière, du dioxyde de carbone et de l'eau, la photosynthèse nécessite des sels inorganiques qui renferment des éléments essentiels du type azote, phosphore, fer et, dans certains cas, silicium. La température optimale de croissance des microalgues est comprise entre 20 et 30 ° C. La culture des microalgues et des cyanobactéries requiert donc ce qui

35 suit :

- un milieu aqueux contenant la culture de microalgues pouvant être composé d'eau douce, d'eau saumâtre ou salée selon le type d'organisme.
 - Une source de lumière permettant le déroulement du processus de photosynthèse.
- 5 • Une source de dioxyde de carbone pour amplifier le processus de la photosynthèse.
- Un système pour extraire l'oxygène généré au cours de la photosynthèse.
 - Des nutriments (sels minéraux).
 - Un système destiné à déplacer ou entraîner et maintenir en circulation les mi-
- 10 lieux aqueux contenant la culture de microalgues pour amplifier la photosynthèse.

[0012] Il existe à ce jour deux types principaux de photobioréacteurs capables de favoriser la croissance à grande échelle des microalgues :

[0013] les espaces circulants et les étangs ouverts. Ces systèmes sont d'une grande simplicité. Ils se composent d'un étang circulant ou d'un jeu de canaux circulants ouverts à l'atmosphère dans lequel la solution aqueuse circule en captant la lumière solaire. L'avantage majeur que présentent ces photobioréacteurs est d'être très économiques. Toutefois, la préservation par ces photobioréacteurs ouverts des conditions que requiert la croissance au niveau

15 désiré des microalgues et des cyanobactéries s'avère difficile du fait qu'en raison de l'évaporation de l'eau, il existe une variation considérable des conditions de culture des algues à mesure de l'écoulement du temps. De surcroît, la production est affectée d'une contamination par des algues et des microorganismes indésirables qui se déposent sur la culture des microalgues.

[0014] Des photobioréacteurs fermés ont été développés en de nombreuses typologies différentes en vue de surmonter les problèmes rencontrés dans les bassins ouverts. Les photobioréacteurs fermés sont basés sur des circuits hydrauliques fermés, essentiellement tubulaires, par lesquels circule la culture de microalgues. Ce type de système permet une croissance plus dense des

20 microalgues, requiert une moindre surface terrestre et ne présente pas de risques de contamination. Cependant, cette technologie peut soulever un problème en ce que l'élimination de l'oxygène toxique pour les algues et les bactéries généré au cours de la photosynthèse peut s'avérer difficile. De plus, le coût de l'installation est environ dix fois supérieur au coût des photobioréacteurs munis d'un espace

30

circulant. Ainsi, du fait de leur coût élevé, les photobioréacteurs fermés ne sont pas encore viables du point de vue économique.

[0015] Les photobioréacteurs actuels limitent fortement la production massive de microalgues et de cyanobactéries. Tandis que certains exigent d'énormes quantités d'énergie, d'autres sont rendus inexploitable par des coûts de construction, d'installation et d'entretien excessifs.

[0016] C'est désormais le photobioréacteur en soi qui institue un goulot d'étranglement dans la production de quantités massives de microalgues et de cyanobactéries. Il manque un photobioréacteur évolué permettant au double plan technique et économique la production à grande échelle de microalgues et de cyanobactéries, la production des biocarburants devenant alors enfin compétitive avec celle des combustibles fossiles.

[0017] Bref résumé de l'invention

[0018] Les modes de réalisation illustrés de l'invention satisfont aux exigences spécifiques instaurées par la production économique et à grande échelle d'une biomasse formée de microalgues et de cyanobactéries. Les modes de réalisation illustrés de l'invention sont fondés sur un concept conjuguant les avantages doublement institués par les photobioréacteurs à espace circulant et les photobioréacteurs tubulaires fermés, on citera à cet égard de faibles coûts de construction, d'exploitation et d'entretien dans le cas de la technologie des espaces circulants ouverts et les caractéristiques avantageuses propres aux photobioréacteurs fermés (production à haut rendement et sécurité au plan biologique). Les modes de réalisation illustrés de l'invention satisfont ainsi aux exigences spécifiques d'une production massive de biocarburants viable du point de vue économique. Les modes de réalisation illustrés de l'invention comprennent un photobioréacteur fermé apte à un fonctionnement continu dans un environnement interne aussi bien qu'externe.

[0019] En particulier, l'un des modes de réalisation illustrés de l'invention comprend un nouveau photobioréacteur muni d'un circuit hydraulique par lequel la solution aqueuse contenant la culture d'au moins un type d'organisme photosynthétique circule et est exposée à la source de lumière, un système d'alimentation en dioxyde de carbone, une zone pour extraire l'oxygène de la solution aqueuse et un système d'alimentation en nutriments.

[0020] Dans un mode de réalisation particulier, le circuit hydraulique est formé de deux canaux récepteurs dans lesquels la solution aqueuse contenant la culture

d'algues et de bactéries est exposée à l'atmosphère, les deux canaux récepteurs s'y trouvant à même hauteur, un réseau de tubes transparents ou translucides raccordant entre eux le premier et le second canaux récepteurs, et au moins un
5 dispositif de déplacement de fluide déplaçant la solution aqueuse du premier canal récepteur au second par les tubes transparents ou translucides.

[0021] Dans un autre mode de réalisation, la présente invention comprend un circuit hydraulique ouvert à la pression atmosphérique, dans lequel la culture d'algues et de bactéries peut être protégée de la pollution extérieure du fait que la réaction de photosynthèse s'effectue en interne sur toute la longueur des tubes
10 transparents. Il en résulte que la protection contre la pollution externe de la culture d'algues et de bactéries n'exige que la couverture des canaux récepteurs dont la surface représente une infime partie de la surface totale du photobioréacteur. Il s'ajoute que le système étant étanche à la contamination, l'élimination de l'oxygène comme le double apport de nutriments et de dioxyde
15 de carbone sont d'une grande simplicité et d'un faible coût.

[0022] La concentration en oxygène de la solution aqueuse augmente à mesure de son passage à travers les tubes où s'effectue la photosynthèse. Ainsi, pour chaque application, la longueur et le diamètre des tubes transparents ou translucides sont calculés en se conformant aux principes applicables régissant
20 la conception pour atteindre des valeurs prédéterminées afin d'éviter des concentrations d'oxygène toxiques. L'élimination de cet oxygène généré s'effectue dans le prochain canal récepteur ou canal aval.

[0023] S'agissant d'un système hydraulique ouvert (à pression atmosphérique), le déplacement dans le photobioréacteur de la solution de microalgues et de
25 bactéries est simple et peu coûteux. Dans un mode de réalisation, le dispositif de déplacement de fluide induit une variation différentielle en termes de niveau de surface entre les faces de l'appareil mobile. En outre, le même dispositif peut contribuer à l'élimination de l'oxygène présent dans la solution de microalgues et de bactéries (au moyen d'un dégazage par exemple). Le dispositif de
30 déplacement de fluide peut être du type dispositif de levage rotatif direct comme une roue à aubes, noria, roue à augets, un système pneumatique de levage de fluide, etc. et peut ou non être muni de lames perforées pour améliorer le dégazage.

[0024] Dans un mode de réalisation, chaque canal récepteur comprend au moins
35 un dispositif de déplacement de fluide.

[[0025] Dans un autre mode de réalisation préféré, l'introduction du dioxyde de carbone, et des éléments nutritifs dans la culture des deux canaux récepteurs est effectuée simultanément.

[0026] Bien que l'appareil et le procédé aient été ou seront décrits dans un souci
5 de fluidité grammaticale par des explications fonctionnelles, il doit être expressément entendu que les revendications, sauf disposition expresse formulée en vertu de 35 USC 112, ne doivent pas être interprétées comme étant nécessairement limitées en aucune façon par l'emploi d'expressions du type «moyens» ou «étapes» , mais doivent se voir accorder la pleine portée de la
10 signification et des équivalents de la définition fournie par les revendications en vertu de l'acceptation juridique des équivalents et, dans le cas où les revendications sont expressément formulées en vertu de 35 USC 112, doivent être accordés tous les équivalents juridiques en vertu de 35 USC 112. L'invention peut être mieux visualisée par l'examen des dessins suivants dans
15 lesquels les éléments sont désignés par les mêmes références numériques.

[0027] Brève description des dessins

[0028] La figure 1 est une vue latérale partielle d'un photobioréacteur illustrant un mode de réalisation de la présente invention.

[0030] La figure 3 est une coupe transversale, partielle du photobioréacteur dans
20 laquelle une partie de la paroi sur le côté de l'un des canaux récepteurs, ainsi que la section transversale des tubes sont présentées dans le but d'illustrer la partie intérieure du photobioréacteur.

[0031] La figure 4 est une vue de détail agrandie d'une partie du photobioréacteur représenté sur la figure 3.

25 [0032] La figure 5 est vue en coupe transversale d'un canal récepteur dans lequel un dispositif de déplacement de fluide, par exemple une roue à aubes, peut être observé :

[0033] La figure 6 est une vue latérale du dispositif de déplacement de fluide à l'intérieur de l'un des canaux récepteurs de la figure 5.

30 [0034] La figure 7 est une vue en perspective du photobioréacteur représenté sur les figures 1 et 2.

[0035] L'invention et ses divers modes de réalisation peuvent maintenant être mieux compris en se tournant vers la description détaillée qui suit des modes de réalisation préférés présentés à titre d'exemples illustratifs de l'invention telle
35 que définie dans les revendications. Il est expressément entendu que l'invention

telle que définie par les revendications peut être plus large que les modes de réalisation illustrés décrits ci-après.

[0036] Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0037] Sur la figure 1, l'un des modes de réalisation illustrés de l'invention
5 prévoit un photobioréacteur tubulaire 10 ouvert à la pression atmosphérique, conçu pour une production massive de microalgues et de bactéries, comprenant un jeu de tubes horizontaux 3 disposé entre un premier canal récepteur 1 et un second canal récepteur 2. Une solution aqueuse contenue dans les canaux récepteurs 1,2 est distribuée par un premier dispositif de déplacement de fluide
10 11 et un second dispositif de déplacement de fluide 21 respectivement représentés au mieux sur les figures 2 et 7.

[0038] Dans un mode de réalisation de l'invention, le jeu de tubes horizontaux 3 du photobioréacteur 10 comprend une pluralité de sous-ensembles, ou «rampes», 31,32 de tubes comme on le voit sur les figures 2, 3 et 7. Aux fins de
15 l'illustration, les rampes comprenant l'hémisphère droit du jeu de tubes horizontaux 3, comme on le voit sur la figure 2, sont désignées par la référence numérique 31, tandis que les rampes comprenant l'hémisphère gauche du jeu de tubes horizontaux 3 sont désignées par la référence 32. Chaque rampe 31,32 comprend à son tour une pluralité de tubes 311, 312, 313, 314, 315, 316 visible
20 sur la vue en coupe transversale agrandie de la figure 4. Préférentiellement, chacun des tubes 311 à 316 est formé d'une matière plastique de type polyéthylène basse densité (LDPE) et son épaisseur est comprise entre 200 et 500 µm. A l'intérieur de chaque rampe 31,32, lesdits tubes 311-316 sont disposés horizontalement et sont parallèles entre eux. Ils forment un capteur
25 solaire efficace grâce à une caractéristique de bonne transparence ou translucidité. Si la figure 4 présente un montage en série de 6 tubes 311 à 316 dans chaque rampe 31,32, il est expressément entendu que chaque rampe 31,32 peut contenir un nombre plus grand ou plus petit desdits tubes 311 à 316 sans s'écarter de l'esprit ni de la portée de l'invention.

[0039] Chaque rampe 31,32 est disposée sur une partie de sol nivelé 6
30 recouverte d'un film plastique (non représenté). Le film plastique est opaque ou de couleur noire sur sa face inférieure pour empêcher l'émergence et la croissance de végétation sous les rampes 31,32 et de couleur blanche sur sa face supérieure pour amplifier la réflexion de la lumière sur la surface de sol nivelé 6
35 située en dessous des rampes 31,32.

[0040] Chaque extrémité de la pluralité de tubes 314-316 présents dans chacune de la pluralité de rampes 31,32 est couplée individuellement au premier canal récepteur et au second canal récepteur 2 respectivement comme on le voit au mieux sur les figures 2 et 7. Les canaux récepteurs 1,2 collectent la solution aqueuse contenant une culture d'algues et de bactéries 5. la circulation interne de la solution aqueuse et de la culture d'algues et de bactéries 5 suit le même sens directionnel dans chacune des rampes 31,32. Plus précisément, dans l'hémisphère droit des rampes 31, ladite circulation s'effectue du premier canal récepteur 1 au second canal récepteur 2 et, dans l'hémisphère gauche des rampes 32, du second canal récepteur 2 au premier canal récepteur 1.

[0041] Pendant la circulation de la culture d'algues et de bactéries 5 à travers le jeu de tubes horizontaux 3, dans chacune des rampes 31,32, la lumière solaire traverse les tubes transparents 311-316 induisant une réaction de photosynthèse par la culture d'algues et de bactéries 5. L'oxygène généré dans les tubes 311-316 au cours de la réaction de photosynthèse est transporté jusqu'aux canaux transporteurs 1,2 où son élimination s'effectue par dégazage. L'introduction de dioxyde de carbone et autres nutriments dans les canaux récepteurs 1,2 prépare la culture d'algues et de bactéries 5 pour le prochain processus photosynthétique dont la réaction s'effectuera dans le jeu opposé de rampes 31,32 pendant son écoulement dans la direction opposée vers l'autre canal récepteur 1,2, son canal d'origine. On peut ainsi voir que les canaux récepteurs 1,2 et les rampes 31,32 coopèrent pour former une boucle, de type unidirectionnel, à savoir un circuit partant du premier canal récepteur 1 vers le second canal récepteur 2, via l'hémisphère droit de rampes 31, puis revenant au premier canal récepteur 1 via l'hémisphère gauche de rampes 32. Un dispositif de déplacement de fluide intégré 11,12 permet à chacun des canaux récepteurs 1,2 de faire circuler la solution aqueuse à travers la boucle. Les dispositifs de déplacement de fluide 11,12 peuvent être chacun tout dispositif tel que roue à aubes, noria, roue à augets, système aérosustentateur de fluide, connu dans l'art pour déplacer un fluide ou tout autre dispositif hypersustentateur de fluide similaire actuellement connu ou de conception plus récente. L'entraînement de la solution vers l'autre canal récepteur 1,2 respectif, à savoir d'un jeu de tubes à l'autre, est rendu possible par le déplacement dans le sens des flèches représentées sur la figure 2 de la solution aqueuse à travers les canaux récepteurs 1,2 par les dispositifs de déplacement de fluide 11,12.

[0042] Selon la description ci-dessus, un nombre identique de rampes 31 et 32 est préféré. Dans le mode de réalisation préféré représenté sur les figures 2, 3, et 7, le photobioréacteur 10 comprend au moins dix rampes 31,32, cinq rampes 31 arrivant dans le second canal récepteur 2, et cinq rampes 32 arrivant dans le premier canal récepteur 1. La longueur des tubes 311-316 est préférentiellement comprise entre 50 et 80 mètres et leur diamètre est respectivement de 12,5 à 15 centimètres. Il est expressément entendu toutefois que la longueur et le diamètre de chacun des tubes de 311 à 316 peuvent différer des grandeurs indiquées dans la description ci-dessus et peuvent être ajustés pour maintenir la teneur en oxygène gazeux en-deçà des seuils de toxicité au sein de la culture d'algues et de bactéries 5. Par ailleurs, pendant le déroulement du processus de photosynthèse, l'ajustement des paramètres précédemment décrits pour les tubes 311-316 permettra de modifier les conditions de croissance des microalgues et des cyanobactéries.

[0043] La composition des canaux récepteurs 1,2 peut être formée de divers matériaux tels que HDPP, HDPE, polyester, ou de l'une de leurs combinaisons et leurs dimensions sont telles à donner une aire de taille suffisante pour que s'effectue le dégazage. En outre, dans la partie aval 8 des canaux récepteurs 1,2, la profondeur de la solution aqueuse excède d'au moins quelques centimètres le diamètre des tubes 311-316. Dans un autre mode de réalisation, les canaux récepteurs 1,2 sont formés de briques, il ne s'agit pas là cependant de la solution la plus optimale. Dans encore un autre mode de réalisation, les canaux récepteurs 1,2 peuvent servir de capteurs solaires s'ajoutant aux tubes 311-316 lorsqu'ils sont munis d'une couverture de matériaux transparents connus dans l'art (non représentée). Dans ce mode de réalisation, le photobioréacteur 10 est dépourvu de zones sombres pour favoriser la réaction de la solution de microalgues et de bactéries 5 tout au long de sa circulation à travers celui-ci.

[0044] Le dispositif de déplacement de fluide 11,12 est disposé dans le point central de chaque canal récepteur 1,2 comme on le voit sur les figures. 2 et 7. Dans un mode de réalisation préféré, le dispositif de déplacement de fluide 11,12 porte une pluralité de lames 113, 114 en position radiale entraînées en rotation par un moteur électrique 111 comme on le voit mieux sur la figure 5. Le moteur électrique 111 peut être de tout type ou modèle de moteur électrique actuellement connu ou de conception plus récente et sa puissance nominale peut ne pas excéder un cheval-vapeur (HP). En variante, le moteur 111 peut n'être

aucunement électrique, mais plutôt un moteur à essence ou diesel traditionnel comme on le sait dans le domaine. Le moteur 111 est couplé au dispositif de déplacement de fluide 11,12 par l'intermédiaire d'un arbre d'entraînement 112, ou autre moyen similaire de variation de vitesse par lequel les tours par minute

5 du dispositif de déplacement de fluide 11,12 peuvent être commandés afin d'atteindre une vitesse optimale d'écoulement du fluide à travers les canaux récepteurs 1,2. La vitesse optimale d'écoulement du fluide évite de préférence le dépôt de culture d'algues et de bactéries sur les parois internes des divers composants du photobioréacteur 10 dont les canaux récepteurs 1,2 et les rampes

10 31,32.

[0045] Le pas de la pluralité de lames 113, 114 des dispositifs de déplacement de fluide 11,12 sont tels que, lorsque le dispositif de déplacement de fluide 11,12 est circulant à l'intérieur de la culture d'algues et de bactéries 5, un niveau

15 fluïdique différentiel est créé entre une partie amont 7 et une partie aval 8 des canaux récepteurs 1,2, comme on le voit au mieux sur la figure 6. À des fins de définition, «en amont» fait référence à l'écoulement de la solution aqueuse de microalgues et de cyanobactéries 5 avant son entrée en contact avec le dispositif de déplacement de fluide 11,12, tandis que "aval" fait référence à l'écoulement

20 de la solution aqueuse de microalgues et de cyanobactéries 5 après contact avec ledit dispositif de déplacement de fluide 11,12. Le niveau fluïdique différentiel entre la partie amont 7 et la partie aval 8 des canaux récepteurs 1,2 est maintenu tel par un barrage directionnel 4 formé essentiellement en coin. S'il est préférable que le barrage 4 soit formé essentiellement en coin, d'autres formes ou profils de barrages actuellement connus ou de conception plus récente

25 peuvent être utilisés sans s'écarter de l'esprit, ni de la portée, de l'invention. Lorsque la solution aqueuse de microalgues culture d'algues et de bactéries 5 afflue dans les canaux récepteurs 1,2 via la pluralité de rampes 31,32 et de leurs tubes 311-316 correspondants, ladite solution aqueuse de microalgues et cyanobactéries 5 s'amasse en volume croissant dans la partie amont 7 du canal

30 récepteur 1,2. Le dispositif de déplacement de fluide 11,12 agissant dans le sens anti-horaire indiqué par la flèche visible sur la figure 6, la solution de microalgues et de cyanobactéries 5 subit une poussée vers la pluralité de lames 113, 114. Le maintien par le dispositif de déplacement de fluide 11,12 de son action de rotation permet une poussée continue par la pluralité de lames 113,

35 114 soulevant la solution de microalgues et cyanobactéries 5 et la déversant au-

dessus du barrage 4 dans la partie aval 8 du canal récepteur 1,2. L'incurvation de la surface en amont du barrage 4 peut, à la manière d'une pente de plage, favoriser la formation de vaguelettes dans la culture 5 subissant la poussée appliquée par les lames 113, 114, lesdites vaguelettes se déversant sur la partie

5 aval en s'élevant au dessus du barrage 4. Le barrage 4 non seulement empêche le reflux dans la partie amont 7 du canal récepteur 1,2 de la culture d'algues et de bactéries 5 après son entrée dans la partie aval 8, mais empêche également les vagues formées contre les parois intérieures du canal récepteur 1,2 de refluer par un flux contrant le mouvement d'entraînement appliqué par la pluralité de lames

10 113, 114 et protège ainsi le moteur 111 d'une surcharge évitable. En d'autres termes, le barrage 4 est du type "directionnel" n'autorisant qu'un écoulement essentiellement unidirectionnel, particulièrement en sortie du dispositif de déplacement de fluide 11,12, de la partie amont 7 à la partie aval 8 du canal récepteur 1,2. La surélévation par rapport à la partie amont 7 du niveau fluidique

15 dans la partie aval 8 crée un différentiel de pression fluidique suffisant pour mouvoir la solution aqueuse de microalgues et cyanobactérienne 5 hors du canal récepteur 1,2 d'origine par les rampes 31,32 jusqu'au canal récepteur 1,2 opposé, où le cycle complet se répète. Le double positionnement respectif dans le premier et le second canaux récepteurs 1,2, du dispositif de déplacement de

20 fluide 11,12 assure le maintien de ladite surélévation fluidique dans la partie aval 8 de chaque canal récepteur 1,2. Une circulation intégrale à travers le photobioréacteur 10 de la culture d'algues et de bactéries 5 est ainsi obtenue pendant le cycle de fonctionnement complet des dispositifs de déplacement de fluide 11,12.

25 [0046] Outre le déplacement de la culture d'algues et de bactéries 5 au sein de la solution aqueuse, chacun des dispositifs de déplacement de fluide 11,12 facilite les échanges gazeux (libération de l'oxygène et capture de carbone par exemple), de même que le mélange homogène de la culture d'algues et de bactéries 5 avec les éléments nutritifs. La poussée subie par la culture d'algues et de bactéries 5

30 le long des tubes transparents 311-316 induit une augmentation de la concentration de l'oxygène gazeux généré pendant le déroulement des réactions photosynthétiques. Dès l'arrivée de la culture d'algues et de bactéries 5 dans les canaux récepteurs 1,2, la turbulence créée par l'entrée en contact du dispositif de déplacement de fluide 11,12 avec la culture d'algues et de bactéries 5 entraîne le

35 dégazage de l'oxygène. En outre, chacun des canaux récepteurs 1,2 peut

comprendre un moyen d'injection de nutriments 90 de même que de dioxyde de carbone pur ou de flux de dioxyde de carbone 91 dans la culture d'algues et de bactéries 5 pendant son déplacement à travers les canaux récepteurs 1,2. Dans un mode de réalisation, il est préférable que les nutriments 90 soient injectés dans les canaux récepteurs 1,2, immédiatement avant l'entrée de la culture d'algues et de bactéries 5 en contact avec le dispositif de déplacement de fluide 11,12 comme on le voit sur la figure 6 de façon à tirer le meilleur parti de l'effet de turbulence et de mélange créé par la pluralité de lames 113, 114. En conséquence, dans un mode de réalisation, tout ou partie de la pluralité de lames 113, 114 peut porter des perforations ou être formé d'un treillis métallique pour un mélange plus intime de la culture d'algues et de bactéries 5 avec les éléments nutritifs et/ou favoriser les échanges gazeux. De préférence, le dioxyde de carbone est injecté dans la culture d'algues et de bactéries 5 dans la partie aval 8 des canaux récepteurs 1,2 au moyen d'un dispositif d'injection de dioxyde de carbone 91 situés à proximité ou au début de chaque tube 311-316, afin de minimiser les pertes.

[0047] La vitesse d'écoulement du courant formé par la solution aqueuse et la culture d'algues et de bactéries 5 dans son déplacement à l'intérieur du photobioréacteur 10 est ajustée en faisant varier la vitesse de rotation du dispositif de déplacement de fluide 11,12 via le moteur électrique 111, ou par la mise en fonctionnement d'un seul des deux dispositifs de déplacement de fluide 11,12 présents dans le photobioréacteur 10.

[0048] Il apparaît donc clairement que le mode de réalisation préféré représenté et décrit offre certains avantages, que bon nombre des avantages de la présente invention peuvent néanmoins être obtenus en d'autres configurations* et on se rendra compte que diverses modifications, changements et variations peuvent être apportés dont tous sont entendus au sens et dans la portée des équivalents des revendications annexées.

[0049] De nombreuses variations et modifications peuvent être apportées par les spécialistes de compétence ordinaire dans le domaine sans s'écarter de l'esprit, ni sortir de la portée, de l'invention. Il doit en conséquence être entendu que le mode de réalisation illustré a été présenté à seule fin d'exemple et ne devra pas être considéré comme limitant l'invention telle que définie ci-après non plus que ses divers modes de réalisation.

[0050] Il doit en conséquence être entendu que le mode de réalisation illustré n'a été divulgué qu'à seule fin d'exemple et ne devra donc pas être considéré comme limitant l'invention telle que définie par les revendications suivantes. Par exemple, nonobstant le fait que les éléments d'une revendication sont présentés
5 ci-après selon une certaine combinaison, il doit être expressément entendu que l'invention englobe d'autres combinaisons d'éléments moins nombreux, en plus grand nombre ou différents, qui sont divulgués ci-dessus, y compris lorsqu'ils ne sont pas initialement revendiqués en de telles combinaisons. L'enseignement que deux éléments sont combinés en une combinaison revendiquée est en outre
10 à comprendre comme prévoyant également une combinaison revendiquée dans laquelle les deux éléments ne sont pas combinés entre eux, mais peuvent être utilisés seuls ou combinés en d'autres combinaisons. Le retrait de tout élément divulgué dans l'invention est explicitement envisagé comme entrant dans la portée de l'invention.

[0051] Les termes utilisés dans cette description pour décrire l'invention et ses divers modes de réalisation doivent être compris non seulement au sens de leurs significations généralement admises, mais inclure par définition spéciale dans la présente description les structures, matériels ou actes débordant les significations généralement admises. Ainsi, un élément peut-il être compris dans
20 le contexte de la présente description comme ayant plus d'une signification et son emploi dans une revendication doit-il dès lors être compris comme générique de toutes les significations possibles précisées par la présente description et impliquées par le mot en soi.

[0052] Dans la présente description, les mots ou éléments des revendications ci-après sont en conséquence définis pour inclure non seulement la combinaison des éléments tels que littéralement énoncés, mais toute structure, tout matériel ou tous actes équivalents pour remplir essentiellement la même fonction de manière à obtenir un résultat essentiellement similaire. En ce sens, il est donc envisagé que la substitution d'un équivalent de deux ou plusieurs éléments peut
30 être faite pour l'un quelconque des éléments énoncés dans les revendications ci-après ou qu'un seul élément puisse être substitué à au moins deux éléments dans une revendication. Bien que des éléments puissent être ci-dessus décrits comme agissant en certaines combinaisons et même avoir d'abord été revendiqués comme tels, il doit être expressément entendu qu'un ou plusieurs éléments d'une
35 combinaison revendiquée peut ou peuvent dans certains cas être supprimé(s) de

la combinaison et que la combinaison revendiquée peut porter sur une sous-combinaison ou sur une variation d'une sous-combinaison.

[0053] Les modifications non substantielles de l'objet revendiqué telles que considérées par un spécialiste de compétence ordinaire dans le domaine, 5 présentement connues ou de conception plus récente, sont expressément envisagées comme équivalentes dans la portée des revendications. En conséquence, les substitutions évidentes connues maintenant ou plus récemment par les spécialistes du domaine sont définies comme entrant dans la portée des éléments définis.

10 [0054] Les revendications doivent donc être comprises comme incluant ce qui est spécifiquement illustré et décrit ci-dessus, ce qui est conceptuellement équivalent, ce qui peut à l'évidence être substitué de même que ce qui de manière essentielle intègre l'idée essentielle de l'invention.

15

Revendications:

1. Appareil pour capter la lumière solaire au sein d'une culture d'algues et de bactéries comprenant :
 - 5 un premier canal récepteur ;
un second canal récepteur disposé parallèle au premier canal récepteur ;
une pluralité de rampes couplées fluidiquement entre les premier et second canaux récepteurs ;
au moins un dispositif de déplacement de fluide disposé à l'intérieur du premier
 - 10 ou du second canal récepteur ;
un barrage directionnel disposé en aval du au moins un dispositif de déplacement de fluide à l'intérieur du premier ou du second canal récepteur, et
une solution aqueuse capable de mélange avec la culture d'algues et de bactéries et s'écoulant par les premier et second canaux récepteurs et la pluralité de
 - 15 rampes.
2. Appareil selon la revendication 1 comprenant en outre des moyens pour injecter des nutriments dans la solution aqueuse lors de son écoulement par les premier et second canaux récepteurs.
3. Appareil selon la revendication 1, dans lequel la pluralité de rampes
- 20 comprennent chacune une pluralité de tubes transparents ou translucides en communication fluide avec les premiers et seconds canaux récepteurs.
4. Appareil selon la revendication 1, dans lequel le dispositif de déplacement de fluide comprend un moyen pour diriger la solution aqueuse sur le barrage et pour maintenir un niveau de surface différentiel de solution aqueuse entre les
- 25 parties amont et aval du premier ou du second canal récepteur.
5. Appareil selon la revendication 1, dans lequel le dispositif de déplacement de fluide est un dispositif de sustentation rotative directe du type roue à aubes.
6. Appareil selon la revendication 1, comprenant en outre au moins deux dispositifs de déplacement de fluide, un dispositif de déplacement de fluide étant
- 30 disposé à l'intérieur de chacun des premier et second canaux récepteurs.
7. Appareil selon la revendication 6 comprenant en outre un barrage directionnel disposé en aval du au moins un dispositif de déplacement de fluide à l'intérieur à la fois des premier et second canaux récepteurs.
8. Appareil selon la revendication 1, dans lequel à la fois les premier et second
- 35 canaux récepteurs sont ouverts à la pression atmosphérique.

9. Appareil selon la revendication 1, dans lequel à la fois les premier et second canaux récepteurs comprennent un couvercle transparent ou translucide disposé sur toute leur longueur.
10. Appareil selon la revendication 1, dans lequel la pluralité de rampes est en communication fluidique avec le premier ou le second canal récepteur de sorte qu'une demi-pluralité de rampes est couplée fluidiquement en amont du dispositif de déplacement de fluide tandis que les rampes sont couplées fluidiquement en aval du dispositif de déplacement de fluide.
11. Procédé pour capter la lumière solaire au sein d'une culture d'algues et de bactéries comprenant des étapes consistant à :
- mélanger la culture d'algues et de bactéries à une solution aqueuse dans au moins deux canaux récepteurs ;
- diriger unidirectionnellement l'écoulement du mélange de la culture d'algues et de bactéries et de la solution aqueuse à travers chacun des canaux récepteurs ;
- maintenir un niveau fluide différentiel entre une partie amont de chacun des canaux récepteurs et une partie aval de chacun desdits canaux récepteurs ;
- diriger l'écoulement du mélange de la culture d'algues et de bactéries et de la solution aqueuse dans le double sens affluant et refluant entre les deux canaux récepteurs dans une pluralité de tubes transparents ou translucides fermés, et
- exposer la mélange de la culture d'algues et de bactéries et de la solution aqueuse à la lumière solaire incidente aux tubes transparents ou translucides.
12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel l'écoulement unidirectionnel du mélange de la culture d'algues et de bactéries et de la solution aqueuse par chacun des canaux récepteurs comprend une étape consistant à faire tourner un dispositif de déplacement de fluide capable d'interagir avec le mélange de la culture d'algues et de bactéries et de la solution aqueuse.
13. Procédé selon la revendication 12, comprenant en outre des étape consistant à pousser le mélange de la culture d'algues et de bactéries et de la solution aqueuse sur un barrage disposé à l'intérieur de chaque canal récepteur et à maintenir un niveau de surface différentiel du mélange de la culture d'algues et de bactéries et de la solution aqueuse entre les canaux amont et aval.
14. Procédé selon la revendication 11 comprenant en outre une étape consistant à injecter au moins une substance nutritive dans le mélange de la culture d'algues et de bactéries et de la solution aqueuse à mesure de son écoulement par au moins deux canaux récepteurs.

WO/2011/106038

PCT/US2010/051971

15. Procédé selon la revendication 12 comprenant en outre des étapes consistant à libérer l'oxygène gazeux contenu dans la culture d'algues et de bactéries et à capter le dioxyde de carbone présent dans la culture d'algues et de bactéries interagissant avec le dispositif de déplacement de fluide.
- 5 16. Procédé selon la revendication 11, comprenant en outre une étape consistant à exposer le mélange de la culture d'algues et de bactéries et de la solution aqueuse à la pression atmosphérique à l'intérieur des au moins deux canaux récepteurs.
- 10 17. Procédé selon la revendication 11, comprenant en outre une étape consistant à exposer le mélange de la culture d'algues et de bactéries et de la solution aqueuse à la lumière solaire incidente à un couvercle transparent ou translucide disposé sur toute la longueur de chacun des canaux récepteurs .
18. Photobioréacteur comprenant :
- 15 au moins deux canaux récepteurs ;
- une pluralité de tubes transparents ou translucides disposés entre les au moins deux canaux récepteurs ;
- au moins un dispositif de déplacement de fluide disposé à l'intérieur de chacun des au moins deux canaux récepteurs ;
- 20 un barrage directionnel disposé à l'intérieur de chacun des au moins deux canaux récepteurs et en aval du au moins un dispositif de déplacement de fluide ;
- au moins deux canaux récepteurs, et
- au moins un type d'organisme photosynthétique mélangé à une solution aqueuse capable d'écoulement par les au moins deux canaux récepteurs et la pluralité de tubes transparents ou translucides.
- 25 19. Appareil selon la revendication 18, dans lequel le au moins un dispositif de déplacement de fluide disposé à l'intérieur de chacun des au moins deux canaux récepteurs comprend un moyen pour faire circuler l'organisme photosynthétique mélangé à la solution aqueuse essentiellement unidirectionnellement par les au moins deux canaux récepteurs et la pluralité de transparents ou tubes
- 30 translucides.
- 20, Appareil selon la revendication 18, dans lequel le au moins un dispositif de déplacement de fluide disposé à l'intérieur de chacun des au moins deux canaux récepteurs comprend un moyen destiné à libérer l'oxygène gazeux contenu dans l'organisme photosynthétique mélangé à la solution aqueuse et à capter le

WO/2011/106038

PCT/US2010/051971

dioxyde de carbone à l'intérieur de l'organisme photosynthétique mélangé à la solution aqueuse.

1/4

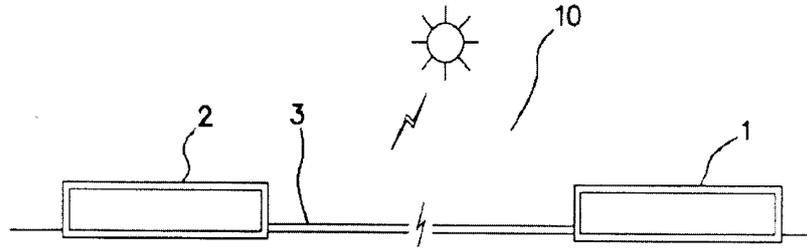


FIG. 1

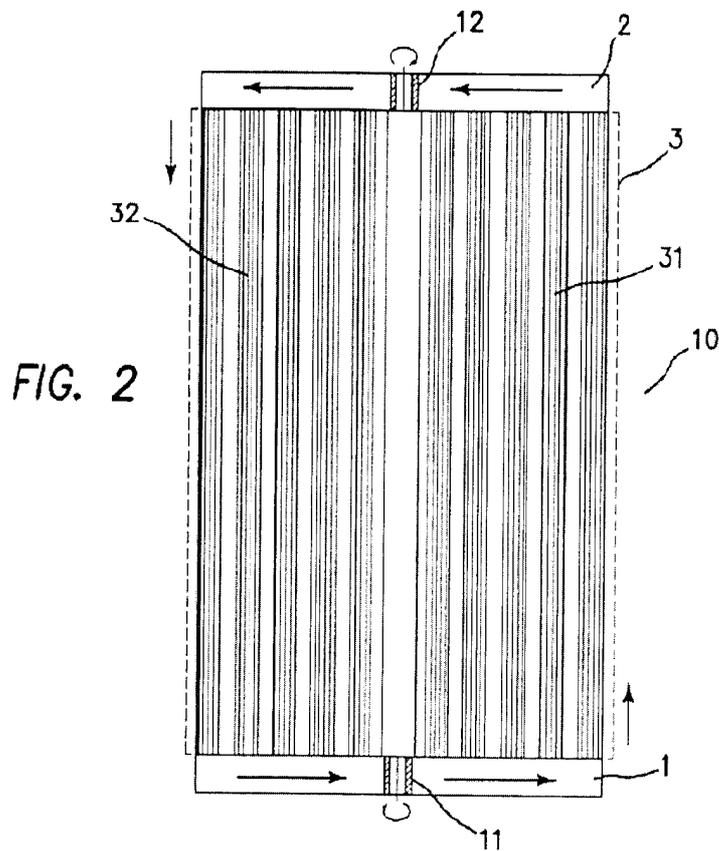
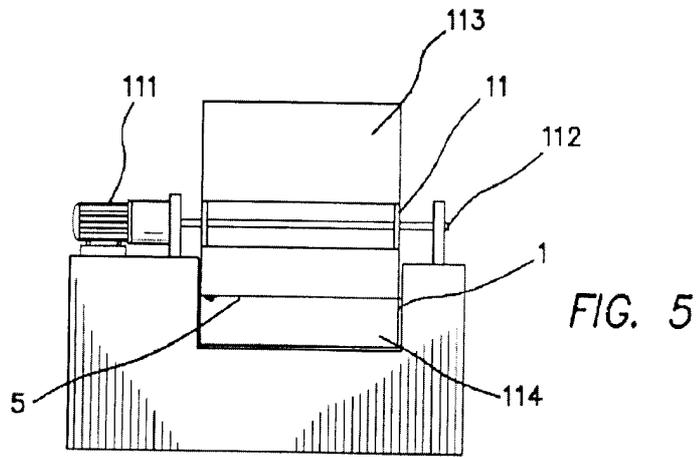
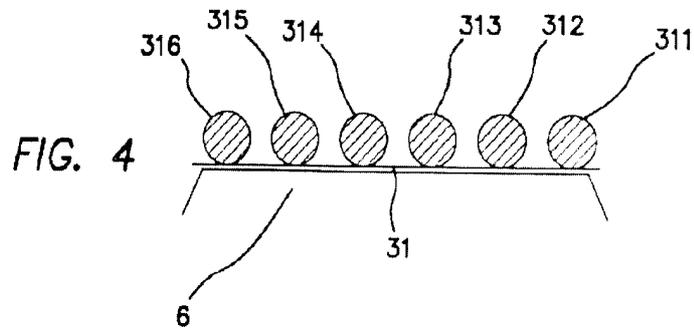
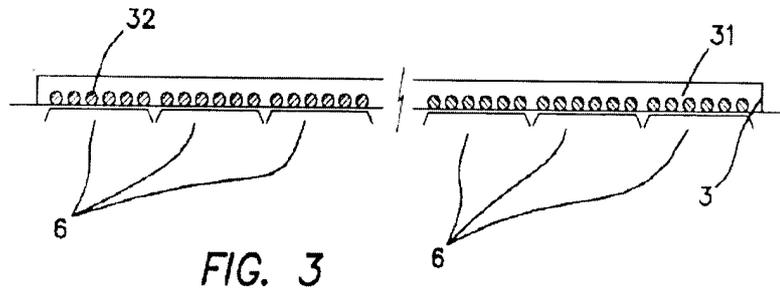


FIG. 2

PAGE DE REMPLACEMENT (REGLE 26)

2/4



PAGE DE REMPLACEMENT (REGLE 26)

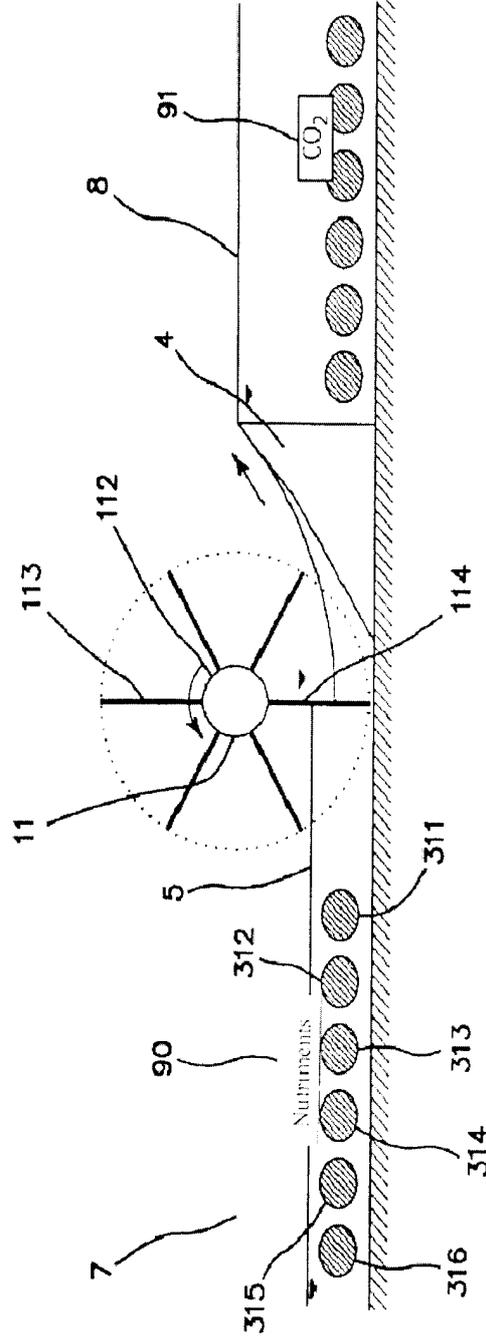


FIG. 6

PAGE DE REMPLACEMENT (REGLE 26)

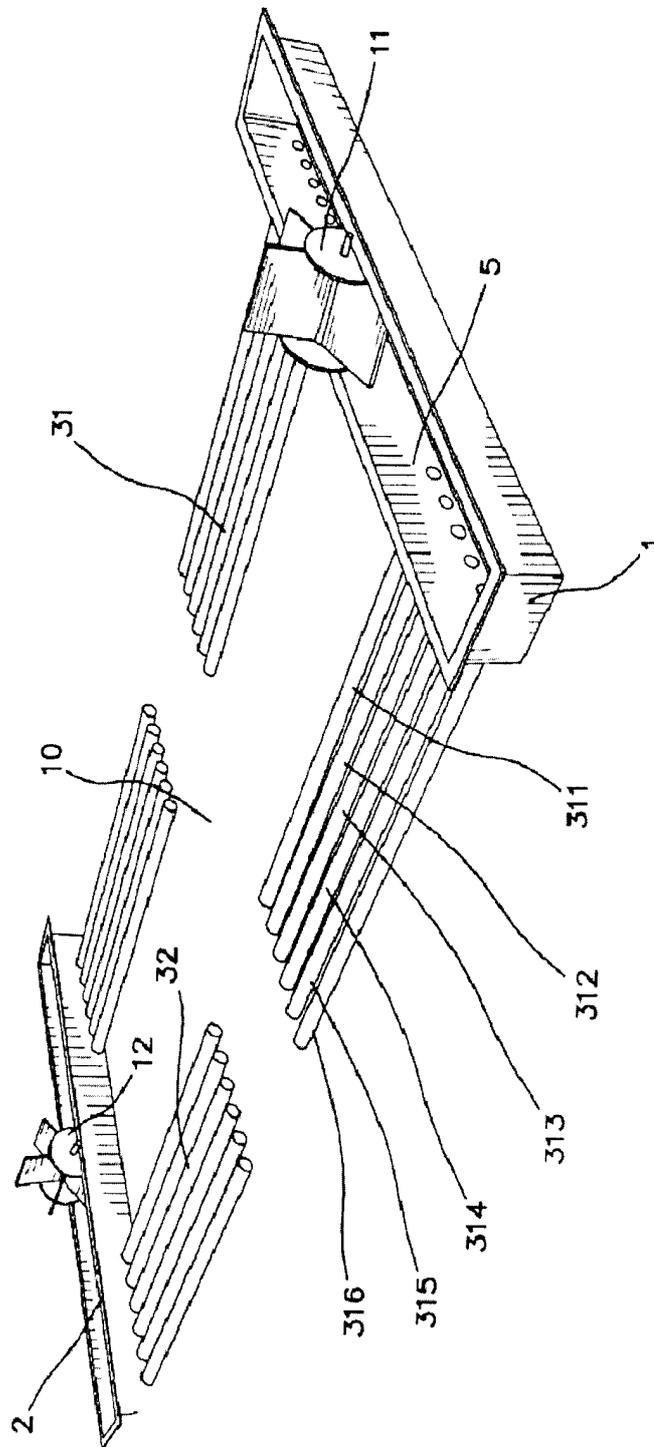


FIG. 7

PAGE DE REMPLACEMENT (REGLE 26)