

EXAMEN D'AGENT DE BREVETS

ÉPREUVE B

Mercredi

9 avril 2014

de 9 h à 13 h

DIRECTIVES AUX CANDIDATS

1. Les seuls outils de référence permis sont les copies de la *Loi sur les brevets* et des *Règles sur les brevets* fournies par l'OPIC, ainsi qu'un dictionnaire anglais, français ou bilingue (anglais/français) non annoté.
 2. Les téléphones cellulaires, téléphones intelligents et autres appareils de communication sans fil et d'extraction d'information à partir d'une mémoire sont interdits pendant l'examen.
 3. Vous devez inscrire le numéro de candidat qui vous a été attribué sur chaque copie d'épreuve, chaque cahier de réponses et chaque enveloppe. Il vous est interdit de vous identifier d'une autre façon sur le matériel que vous remettrez.
 4. Vous disposez de quatre (4) heures pour répondre à la présente épreuve. Lorsque ce délai sera écoulé, vous devrez mettre la copie d'épreuve et le ou les cahiers de réponses dans l'enveloppe, cacheter l'enveloppe, puis la remettre au surveillant.
 5. Le défaut de vous conformer aux directives 1, 2, 3 ou 4 pourrait vous valoir une note de zéro (0).
 6. Vous devez utiliser votre propre stylo pour répondre aux questions de l'épreuve.
 7. À chaque question, seules les réponses (ou parties de réponse) qui remplissent les conditions suivantes seront prises en considération dans l'attribution des points :
 - être clairement identifiées À L'AIDE DU NUMÉRO de la question;
 - être rédigées LISIBLEMENT, À L'ENCRE, à double interligne dans LE CAHIER DE RÉPONSES; et
 - être écrites sur les pages de droite du cahier de réponse SEULEMENT.
- Aucun point ne sera accordé au texte qui :
- est écrit sur les pages de gauche du cahier de réponses ou sur la copie d'épreuve;
 - ne peut être déchiffré avec un degré raisonnable de certitude.
8. Il n'est pas nécessaire d'inclure dans vos réponses les salutations, les signatures et autres formalités habituellement d'usage; le fond est plus important que la forme. Lisez chaque question attentivement, et assurez-vous que votre réponse répond bel et bien à la question posée. Les réponses formulées dans un style télégraphique sont

acceptables, sauf s'il vous est expressément demandé de rédiger une réponse complète.

9. Le nombre de points attribués varie d'une question à l'autre. Toutes n'ont pas la même valeur; tenez-en compte. Outre les connaissances techniques démontrées dans vos réponses, des points sont accordés pour les capacités d'analyse et de résolution de problème, les aptitudes à la communication et à la rédaction, et la capacité d'établir les priorités et de poser un jugement.
10. La présente épreuve compte pour 100 points. La note de passage est de 50 points.

PARTIE A

Les cinq documents suivants sont fournis :

- Brevet canadien n° 2,209,700
- B1 : Kundjapur A.M. et Eldridge R.B, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2009, 49, 3516-23
- B2 : Brevet américain n° 7,070,410
- B3 : J. Green et G. Miss, *Bioresource Engineering* 88 (2009), 421-423
- B4 : Demande de brevet canadien n° 2,123,456

DIRECTIVES À L'INTENTION DES CANDIDATS

Consultez la mise en contexte suivante et les documents fournis afin de répondre adéquatement à chaque question. Ne faites pas de commentaires superflus qui ne s'appliquent pas directement à la question. Par exemple, si une question porte sur l'évaluation de la nouveauté, ne formulez aucun commentaire sur d'autres critères comme l'utilité, l'évidence, etc. Rappelez-vous que, pour bien répondre à chaque question, il est important de fournir un renvoi à la jurisprudence, à la doctrine ou aux dispositions légales pertinentes (p. ex. les dispositions législatives et réglementaires), ainsi qu'une analyse et une argumentation.

CONTEXTE

Votre client est Future Energy LLC, une société de capital de risque (SCR) désireuse d'investir dans des entreprises en démarrage. M^{me} Jade Green, Ph. D. a fait appel à la SCR pour un investissement dans sa nouvelle entreprise en démarrage, GreenTech Inc. M^{me} Green est chercheuse à l'University of Hull (Royaume-Uni), et elle dirige une équipe de recherche qui a reçu de nombreuses subventions de recherche et participe depuis les dix dernières années à l'optimisation d'un bioréacteur industriel. Grâce à sa nouvelle entreprise, M^{me} Green souhaite produire des biocarburants et divers ingrédients biologiques issus de la biomasse; en outre, elle a déclaré à Future Energy LLC qu'elle avait enfin trouvé quelque chose qui allait révolutionner la culture de la biomasse.

Pour mousser sa demande, M^{me} Green a dit à Future Energy LLC qu'un brevet canadien portant le numéro 2,209,700, lui avait été accordé pour sa technologie. Elle a présenté à la SCR des copies de son brevet et de documents publiés dans le domaine, y compris son article scientifique résumant une partie des travaux qu'elle a réalisés pour en arriver à l'invention. Avant d'investir, votre client vous demande d'étudier ces documents.

QUESTION 1 : [4 points]

Évaluez l'opposabilité des documents B1 à B4 à l'égard de l'anticipation et de l'évidence. Indiquez les raisons pour lesquelles les documents peuvent être cités ou non et appliquez tous les articles pertinents de la *Loi sur les brevets*.

QUESTION 2 : [1 point]

Indiquez la date appropriée pour l'interprétation des revendications relatives à un brevet canadien.

QUESTION 3 : [10 points]

Si l'on suppose que ces éléments sont essentiels, interprétez les termes suivants tirés des revendications relatives au brevet canadien numéro 2,209,700.

- a) « photobioréacteur » (revendication 1) [1 point]
- b) « chambre de réacteur » (revendication 1) [1 point]
- c) « dispositif pour la production d'un écoulement turbulent » (revendication 1) [2 points]
- d) « composé de décalage de longueur d'onde » (revendication 2) [2 points]
- b) « chambre de réacteur » (revendication 7) [1 point]
- f) « pluralité de saillies s'étendant à partir d'une paroi du réacteur vers l'intérieur de la chambre du réacteur » (revendication 7) [3 points]

QUESTION 4 : [24 points]

Les revendications 1, 2 et 3 sont-elles anticipées par l'un ou l'autre des documents B1 à B4? Présentez des arguments à l'appui et appliquez la jurisprudence et les articles

pertinents de la *Loi sur les brevets*. [Revendication 1 : 16 points; Revendication 2 : 4 points; Revendication 3 : 4 points; Total : 24 points]

QUESTION 5 : [37 points]

En appliquant en entier le critère établi par la Cour suprême dans l'affaire *Apotex c. Sanofi* (2008), y compris l'analyse du critère de l'essai allant de soi, indiquez si la revendication 7 est évidente, eut égard aux documents B1 à B4. Fournissez des arguments à l'appui détaillés ainsi que des références aux sections pertinentes des documents.

QUESTION 6 : [2 points]

Pour chacune des revendications 5 et 6, indiquez une raison pour laquelle ces revendications pourraient être considérées comme non valides. [Revendication 5 : 1 point; Revendication 6 : 1 point; Total : 2 points]

QUESTION 7 : [2 points]

D'après l'information fournie, nommez deux problèmes possibles qui doivent faire l'objet d'une enquête relativement à la propriété du brevet canadien n° 2,209,700.

FIN DES QUESTIONS DE LA PARTIE A

LA PARTIE B DÉBUTE À LA PAGE 47

Office de la Propriété
Intellectuelle
du Canada
Un organisme
d'Industrie Canada

Canadian
Intellectual Property
Office
An agency of
Industry Canada

2 209 700
CANADIAN PATENT
BREVET CANADIEN

<p>Date de dépôt/Filing Date: 2010/06/10</p>	<p>Propriétaire/Owner : GREENTECH INC., CA Inventeurs/Inventors : GREEN, JADE, CA</p>
--	---

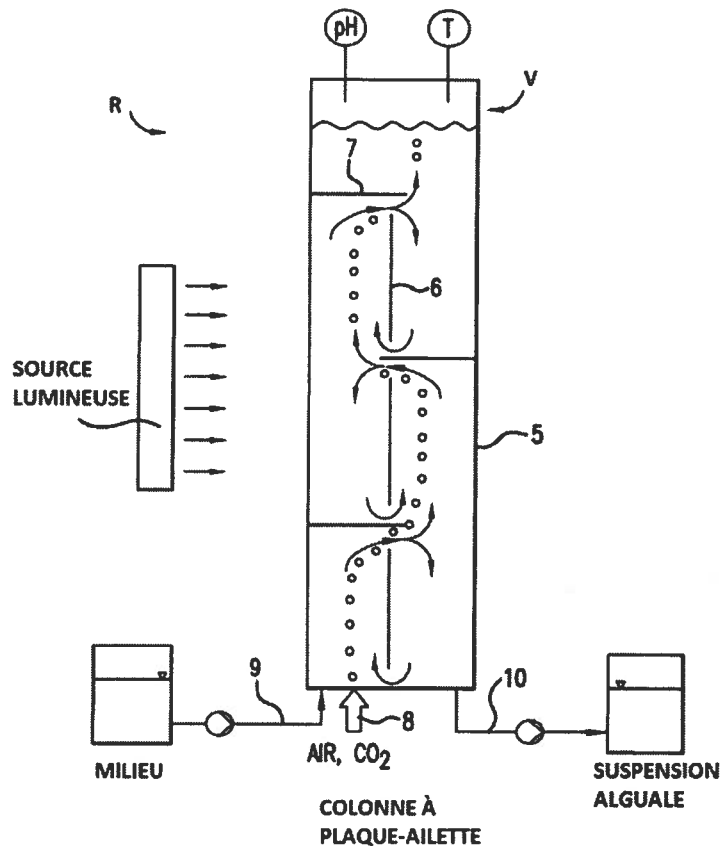
Date publication/Publication Date: 2011/12/29

Date de délivrance/Issue Date: 2013/12/25

Priorités/Priorities: 2009/06/27 (US 60/152,652)

Titre : PHOTOBIOREACTEUR AVEC UN APPROVISIONNEMENT DE LUMIÈRE AMÉLIORÉ

Title: PHOTOBIOREACTOR WITH IMPROVED SUPPLY OF LIGHT



DOMAINE DE L'INVENTION

L'invention concerne un nouveau photobioréacteur pour la production de biomasse.

CONTEXTE DE L'INVENTION

Les algues et certaines bactéries sont des microorganismes qui utilisent la lumière comme principale source d'énergie. Les photobioréacteurs sont des systèmes dans lesquels ces microorganismes sont cultivés, c'est-à-dire dans lesquels la croissance ou la propagation de ces microorganismes est possible. À ce jour, il existe deux principaux types de photobioréacteurs, à savoir les bassins ouverts et les réacteurs fermés, et ces deux types de réacteurs sont soumis à nombreux paramètres (Kundjapur A.M. et Eldridge R.B, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2009, 49, 3516-22).

Les photobioréacteurs sont principalement utilisés pour produire des algues, ce qui représente 30 pour 100 de la production primaire de biomasse (p. ex., la matière biologique provenant d'organismes vivants) générée à l'échelle mondiale. La biomasse ainsi produite contribue donc à la réduction des émissions de CO₂ dans l'atmosphère, puisqu'elle remplace les substances issues de sources fossiles.

SOMMAIRE DE L'INVENTION

La rentabilité de la biomasse produite à l'aide d'algues dépend en partie de la productivité des espèces d'algues utilisées. Cependant, cela ne s'applique que si, simultanément, il est possible de convertir très efficacement l'énergie issue du rayonnement solaire en une forme de biomasse désirée et de veiller à ce que la consommation d'énergie ainsi que les coûts de production, d'installation et d'exploitation de l'usine soient maintenus très bas. Une biomasse hautement productive constitue un problème complexe qui met en cause plusieurs paramètres, dont l'un étant d'assurer une répartition optimale de la lumière par unité de volume. En conséquence, de nombreuses technologies brevetées actuelles sont axées sur l'augmentation de la productivité par l'optimisation de la répartition de la lumière, et surtout sur l'assurance d'une répartition uniforme et constante de la lumière sur la surface intérieure du bioréacteur.

L'un des objectifs de l'invention consiste à offrir un photobioréacteur fermé, équipé d'une chambre de réacteur dont la surface est augmentée par rapport à la surface plane enveloppante d'un volume. Cette augmentation de la surface donne lieu à une meilleure répartition spatiale de la lumière sur la section transversale du réacteur et, par conséquent, à une optimisation de l'intensité de la lumière dans tout le réacteur, comparativement aux photobioréacteurs que l'on connaît dans le domaine.

L'invention a aussi pour but d'offrir un photobioréacteur dans lequel la lumière disponible peut être répartie de manière à ce que les microorganismes cultivés soient exposés à de brefs intervalles d'intensité lumineuse élevée à la surface du réacteur.

DESCRIPTION SUCCINCTE DES DESSINS

La **figure 1** montre des coupes transversales de divers photobioréacteurs ayant une surface augmentée conforme à l'invention décrite aux présentes : La **figure 1a** montre une surface du réacteur, laquelle est en forme de méandre; la **figure 1b** montre une surface du réacteur, laquelle est en forme sinusoïdale; et la **figure 1c** montre un réacteur équipé de toiles transparentes à la lumière.

La **figure 2** montre un photobioréacteur selon l'invention, utilisant le principe de base d'un réacteur à air ascendant en boucle.

La **figure 3** montre un photobioréacteur muni d'une colonne à plaque-ailette selon la présente invention.

La **figure 4** montre un réacteur à tube muni de saillies selon la présente invention.

La **figure 5** est un graphique linéaire illustrant la productivité (mg/l*h) de *Chlorella vulgaris* en fonction de la concentration cellulaire (g/l) dans les réacteurs avec ou sans saillies latérales.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE L'INVENTION

Conformément à un mode de réalisation, le photobioréacteur présente une augmentation de la surface par rapport aux géométries connues des réacteurs, comme il est illustré à titre d'exemple à la **figure 1**. Ici, (1a) révèle une surface de réacteur en forme de méandre, alors que (1b) présente une surface de réacteur en forme sinusoïdale. Quant à (1c), il s'agit d'une géométrie de réacteur comportant des toiles transparentes à la lumière. Un autre mode de réalisation est présenté à la **figure 4**, selon lequel des extensions en verre orientées vers l'intérieur viennent augmenter la surface.

Le point commun de toutes ces géométries est que la surface du réacteur est augmentée par rapport aux géométries connues. Dans le photobioréacteur selon l'invention, toutes les géométries de chambres de réacteur peuvent en principe être utilisées si elles possèdent une surface augmentée par rapport aux géométries à enveloppe plane (carrées ou rectangulaires en coupe transversale).

La chambre de réacteur du photobioréacteur conforme à l'invention est composée d'un matériau transparent à la lumière, de préférence du verre ou du plexi-verre. Les matériaux acceptables sont ceux qui permettent le passage des couleurs de la lumière et des longueurs d'onde pouvant servir à la photosynthèse des microorganismes comme les algues.

Conformément à un autre mode de réalisation de l'invention, la géométrie à surface augmentée de la chambre de réacteur est possible, grâce à un tube de verre muni d'extensions se prolongeant vers son intérieur. Lesdites extensions en verre sont placées de manière perpendiculaire ou à angle sur la surface interne, en alternance, comme il est illustré à la **figure 4**. Au lieu du verre, il est aussi possible d'utiliser un autre matériau transparent à la lumière ou un matériau qui permet la photosynthèse, comme le plexi-verre.

De plus, les extensions en verre augmentent la turbulence en phase liquide. Comme il est démontré aux présentes, l'inventeur a découvert que le fait d'accroître la turbulence à l'aide des extensions en verre génère un « effet lumineux clignotant »; ainsi les algues

sont exposées à une lumière d'intensité variable (c.-à-d. les clignotements) grâce à ces extensions en verre. L'effet lumineux clignotant signifie qu'une rafale d'éclats lumineux intermittents et de forte intensité suffit pour optimiser l'activité photosynthétique des algues. Cet effet peut être obtenu à l'aide d'un écoulement turbulent qui expose les algues à des intensités lumineuses élevées selon de brefs intervalles à la surface du réacteur et les algues peuvent donc traiter l'énergie lumineuse recueillie pendant les phases lumineuses moins intenses.

L'invention concerne également un photobioréacteur dont la chambre de réacteur comporte, en plus d'une surface augmentée, un dispositif pour la production d'un écoulement turbulent. Le mélange intense, de pair avec une turbulence maximale, donne lieu à une répartition améliorée de la lumière en amenant les algues vers la lumière.

On peut obtenir cette turbulence à l'aide d'un dispositif de gazage qui permet l'effet de mélange désiré selon un débit de gazage adéquat (voir l'illustration aux **figures 2 et 3**). L'invention permet aussi de générer de la turbulence dans le photobioréacteur à l'aide de dispositifs mécaniques (c.-à-d. autre qu'un gaz de barbotage) – par exemple au moyen des extensions en verre déjà mentionnées, lesquelles se prolongent partiellement dans la chambre du réacteur – par l'installation d'un mélangeur fixe (chicanes) ou par le mélange actif ou la recirculation du milieu de culture.

Selon l'invention, il est également possible d'accroître la densité de l'énergie dans la chambre de réacteur du photobioréacteur par un « décalage de longueur d'onde ». Le décalage de longueur d'onde se fait à l'aide d'une substance qui convertit la composante de la lumière qui n'est pas absorbée par les algues, de sorte que la plus grande proportion de lumière possible, ou le rayonnement complet, soit déplacé dans une bande de fréquences qui sont absorbées plus efficacement par les algues. Le composé de décalage de longueur d'onde peut être placé entre un réflecteur et la chambre du réacteur. Cependant, le composé de décalage de longueur d'onde peut aussi être placé entre la source de lumière et la chambre du réacteur, permettant ainsi d'omettre le réflecteur. Le composé de décalage de longueur d'onde peut également être un enduit placé directement sur la paroi du réacteur, à l'intérieur ou à l'extérieur de la chambre du réacteur. Les

substances qui permettent de déplacer la longueur d'onde sont connues en soi de la personne versée dans l'art. Les composés de décalage de longueur d'onde utilisés dans le photobioréacteur conforme à l'invention comportent de préférence des substances fluorescentes qui, après avoir absorbé la lumière, la rediffusent.

La **figure 2** montre la structure d'un photobioréacteur selon l'invention, utilisant le principe fondamental du réacteur à air ascendant en boucle. Le photobioréacteur comprend une chambre de réacteur (R) muni d'une section transversale rectangulaire et de deux surfaces internes (1) qui se prolongent parallèlement aux parois de la chambre de réacteur (5), des dispositifs d'injection de gaz (2) (p. ex., de l'air ou du CO₂) dans la partie inférieure de la chambre de réacteur, ainsi que des dispositifs alimentant (3) un milieu de culture et permettant le retrait (4) de la biomasse produite dans la chambre de réacteur. Les surfaces internes (1) servent aussi de tube de guidage pour l'écoulement du liquide dans la chambre de réacteur.

Le mélange homogène se fait à la suite de l'injection de gaz dans la partie inférieure du réacteur; ainsi, le liquide circule vers le haut entre les surfaces internes (1) et redescend sur le côté. L'échange gazeux et la régulation de la température se font dans l'espace vide (V) où la turbulence est forte. Le régulateur de température (T) et le régulateur de pH (pH) peuvent être placés dans cet espace vide (V).

Grâce à la structure de base rectangulaire et à la faible profondeur du réacteur, on obtient un important rapport surface/volume et, par conséquent, une éventuelle entrée lumineuse élevée dans le réacteur. Une source de lumière peut être placée d'un côté ou de l'autre (**figure 2**), de sorte que le réacteur ne compte aucune zone non éclairée; ainsi, les algues sont continuellement exposées à une lumière suffisante. L'intensité de la lumière dans le réacteur peut être surveillée à l'aide d'un détecteur optique (OD) placé à l'intérieur du réacteur.

Le fonctionnement selon un mode à air ascendant en boucle assure une turbulence élevée générant de faibles forces de cisaillement qui agissent sur les cellules algales. Étant donné la forte turbulence et, parallèlement, la forte intensité du rayonnement, il n'est pas

nécessaire d'éclairer les cellules algales de manière continue. La turbulence peut être accrue soit au moyen du débit gazeux, soit par l'installation de mélangeurs fixes, comme des chicanes, d'une pompe (non illustrée) ou de tout autre élément qui guide l'écoulement, ce qui peut accroître la turbulence et, donc, la fréquence de transport des microorganismes depuis la zone non éclairée vers la zone éclairée. Le mélange homogène et la circulation constante de gaz dans le réacteur assurent aussi une introduction adéquate de CO_2 et une libération de O_2 .

Au lieu d'utiliser un réacteur fondé sur le principe du mode à air ascendant en boucle, il est aussi possible d'utiliser le réacteur dans une conception permettant de former une colonne à plaque-ailette. Cette colonne à plaque-ailette est illustrée dans un schéma à la **figure 3**. Dans ce dernier modèle, la chambre de réacteur (R) présente une section transversale rectangulaire ayant des parois internes (6, 7) qui se prolongent parallèlement (6) et perpendiculairement (7) par rapport aux parois du réacteur.

La colonne à plaque-ailette est également équipée de dispositifs d'injection de gaz (8) (p. ex., air, CO_2) situés dans la partie inférieure de la chambre du réacteur, ainsi que de dispositifs permettant d'alimenter un milieu de culture (9) et de retirer la biomasse (10) produite dans la chambre du réacteur. Les surfaces internes (6, 7) servent de déflecteurs pour générer l'écoulement turbulent. Le mélange homogène se fait à la suite de l'injection de gaz dans la partie inférieure du réacteur; ainsi, le liquide circule d'abord vers le haut, puis redescend. Les parois transversales (7) font dévier les bulles de gaz, ce qui entraîne un écoulement et la formation d'un vortex dans la cellule voisine. L'échange de gaz se fait alors dans l'espace vide (V). À la suite de la formation du vortex et de la turbulence dans chaque cellule individuelle, un mélange intensif se fait au-dessus de la partie transversale du réacteur.

Enfin, à la **figure 4**, on voit la structure d'une chambre de réacteur conçue en forme de tube de verre, comportant des extensions en verre se prolongeant partiellement vers son intérieur. Le réacteur tubulaire (T) comporte des creux (12) se projetant de la paroi du réacteur (5) vers l'intérieur de la chambre du réacteur, formant ainsi des saillies transparentes à la lumière. Ces creux et saillies formés sur l'intérieur ont une double

fonction, c'est-à-dire qu'ils augmentent tous deux la surface du tube et influencent, sans toutefois le gêner, l'écoulement à l'intérieur dudit tube.

L'efficacité d'un réacteur tubulaire muni de tels creux, conforme à l'invention, a été testée à l'aide d'une colonne en verre de Vigreux. La colonne en verre de Vigreux contient plusieurs rangées de « pointes » ou d'indentations formées sur l'intérieur.

Un réacteur tubulaire présentant la même géométrie, mais sans creux latéraux, a été utilisé comme contrôle (tube lisse). En bref, diverses quantités d'algues sèches ont été inoculées dans chaque type de colonne de culture, selon des conditions d'éclairage contrôlées, et la croissance a été évaluée à différents intervalles de temps.

Comme l'illustre la **figure 5**, une comparaison directe a révélé une productivité de 20 à 40 p. 100 plus élevée dans la colonne de Vigreux, à l'aide d'une inoculation de 4 g d'algues, et de 30 à 100 p. 100 plus élevée avec une inoculation de 5 g (V1) comparativement au réacteur n'étant pas muni de creux latéraux. L'expérience 2 (V2) a également été concluante, révélant une productivité supérieure que dans le tube de contrôle.

Ces résultats démontrent clairement qu'une augmentation de la surface à l'aide de saillies transparentes à la lumière améliore la répartition de la lumière et augmente simultanément la turbulence, haussant considérablement la productivité de la biomasse.

REVENDICATIONS :

1. Un photobioréacteur comprenant :
 - une chambre de réacteur ayant des parois latérales faites d'un matériau transparent à la lumière définissant un volume intérieur pour la culture et la croissance d'une biomasse d'algues;
 - un dispositif d'injection de gaz sur un côté inférieur de la chambre de réacteur;
 - un dispositif mécanique pour la production d'un écoulement turbulent.
2. Le photobioréacteur selon la revendication 1, dans lequel le photobioréacteur comporte, en outre, un composé de décalage de longueur d'onde.
3. Le photobioréacteur selon la revendication 2, dans lequel une ou plusieurs parois latérales de la chambre de réacteur ont une section transversale en forme de méandre ou en forme sinusoïdale.
4. Le photobioréacteur selon l'une ou l'autre des revendications 1 à 3, dans lequel la chambre de réacteur a une section transversale rectangulaire, des surfaces intérieures s'étendant parallèlement aux parois latérales de la chambre de réacteur, des injecteurs de gaz à un côté inférieur de la chambre de réacteur, un réservoir d'alimentation de milieu et un réservoir de biomasse en communication fluïdique avec l'intérieur du réacteur.
5. Le photobioréacteur selon l'une ou l'autre des revendications 1 à 3, dans lequel le photobioréacteur comporte une pluralité de réacteurs à air ascendant en boucle reliés en série, dans lequel l'intérieur de chaque réacteur est en communication fluïdique avec un réacteur adjacent.
6. Le photobioréacteur selon l'une ou l'autre des revendications 1 à 5, dans lequel les réacteurs à air ascendant en boucle sont disposés verticalement afin de former une colonne à plaque-ailette.
7. Un photobioréacteur pour la culture d'algues, comprenant une chambre de réacteur en matériau transparent à la lumière, la chambre de réacteur comprenant une pluralité de saillies s'étendant à partir d'une paroi du réacteur vers l'intérieur de la

chambre du réacteur, dans lequel lesdites saillies assurent une augmentation de la productivité en algues par rapport à une chambre de réaction dépourvue de celles-ci.

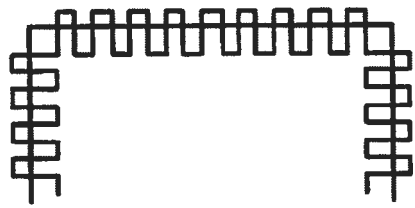


FIG. 1(a)

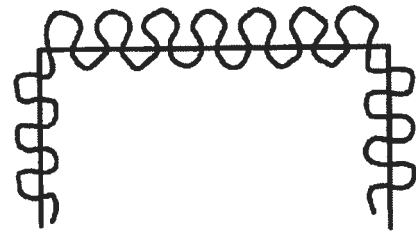


FIG. 1(b)



FIG. 1(c)

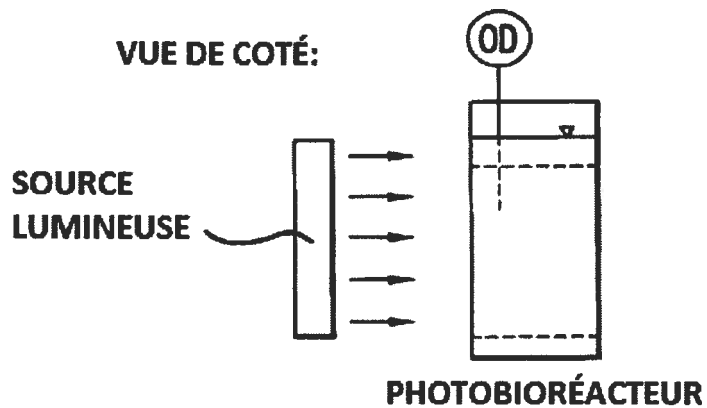
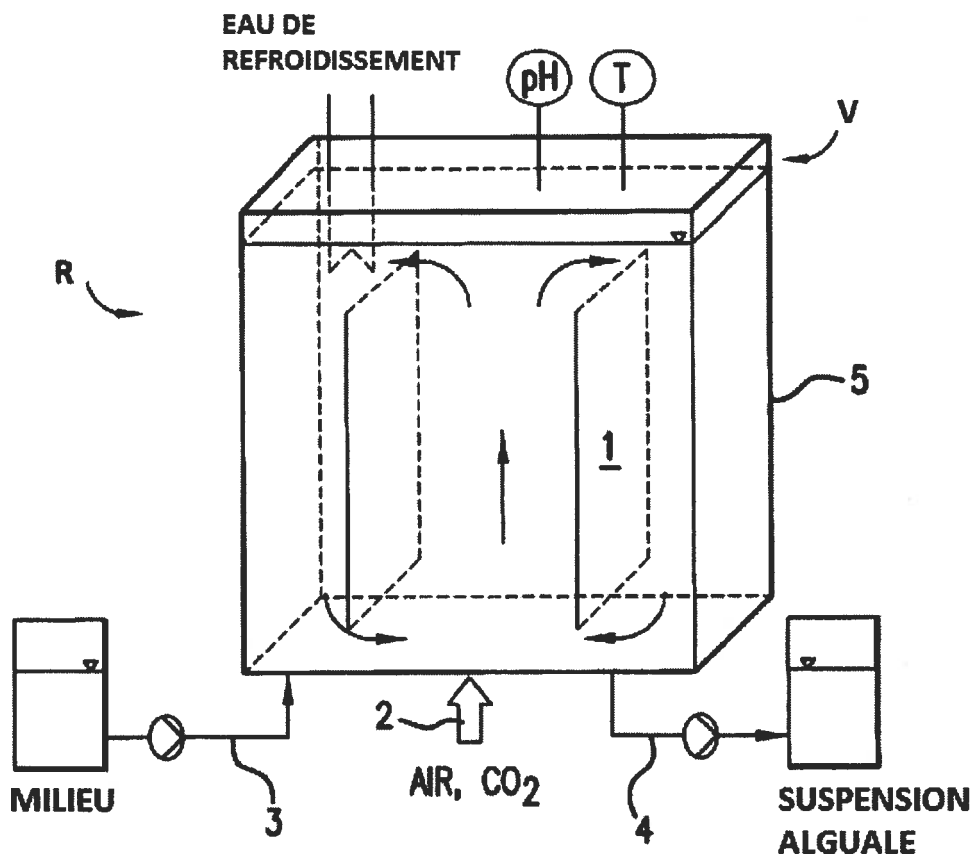


FIG.2

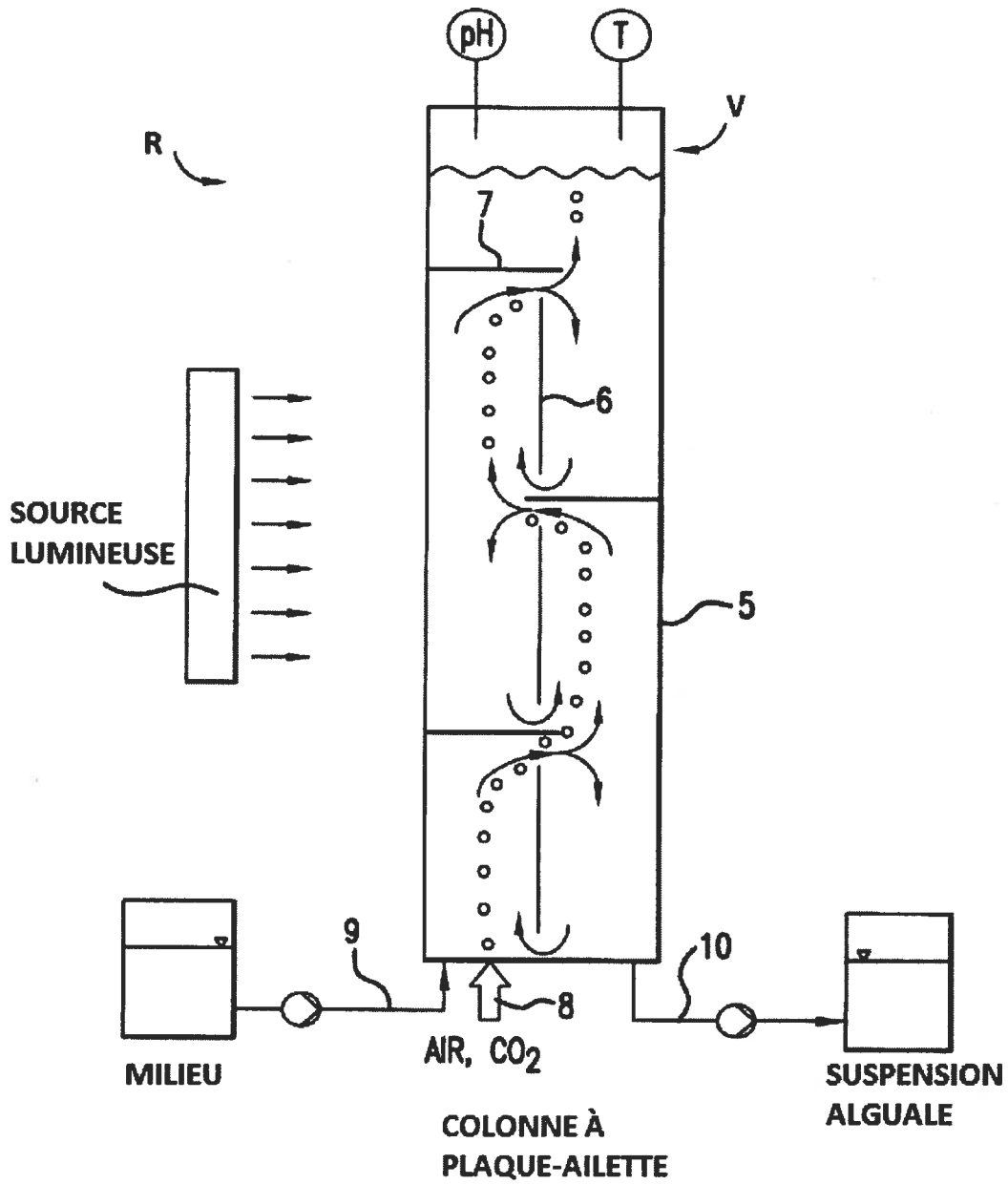


FIG.3

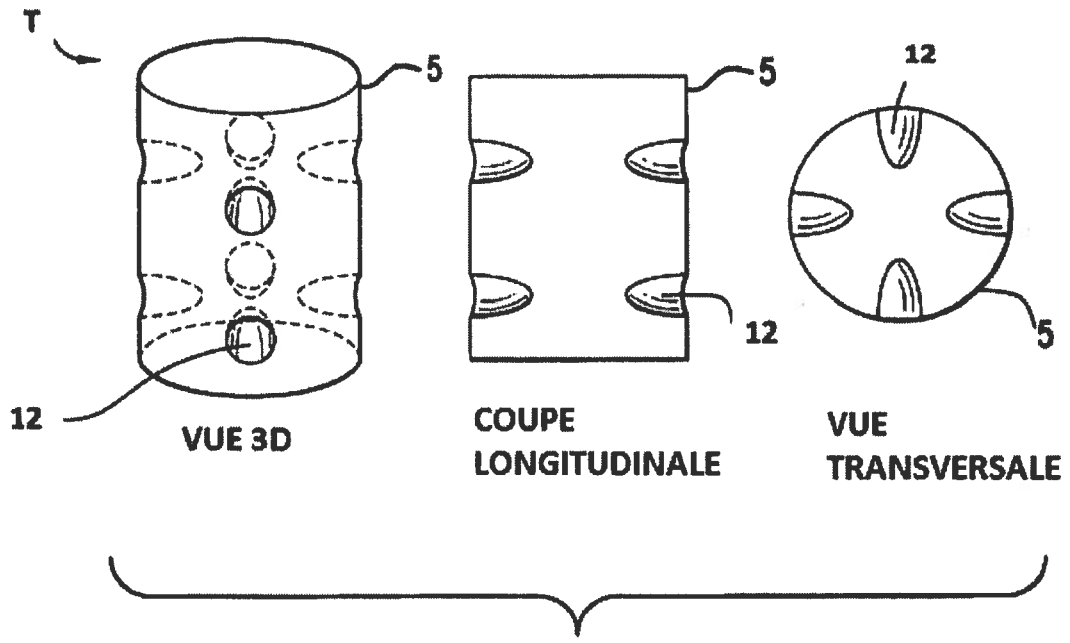


FIG.4

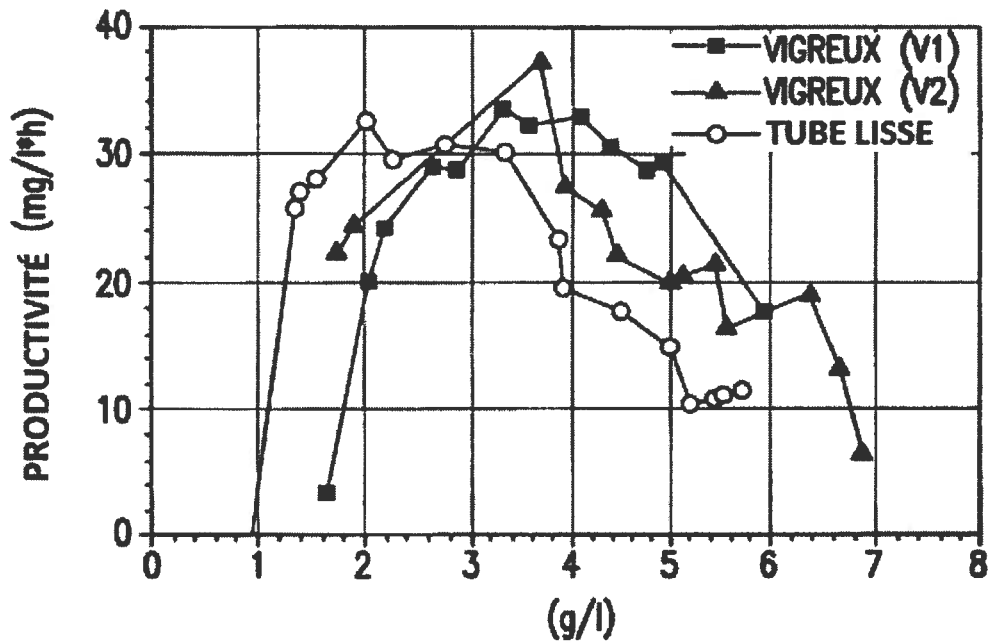


FIG.5

3516

Ind. Eng. Chem. Res. 2009, 49, 3516-3523

Conception d'un photobioréacteur pour la production commerciale de biocombustibles à partir de microalgues

Aditya M. Kunjapur* et R. Bruce Eldridge

Process Science and Technology Center, University of Texas, Austin, Texas
78712

Cet article de synthèse décrit les systèmes servant à cultiver les microalgues pour la production de biocarburant. Il aborde les éléments généraux relatifs à la conception de réacteurs qui utilisent des mécanismes de croissance par lumière naturelle et par photosynthèse, et met l'accent sur les réacteurs à grande échelle. Parmi les aspects importants de la conception, on compte l'éclairage, l'agitation, la consommation d'eau, la consommation de CO₂, le retrait de l'O₂, l'apport en éléments nutritifs, la température et le pH.

Reçu le 14 février 2008. Accepté aux fins de publication le 1^{er} janvier 2009. Publié sur le Web le 3 mars 2009.

*Auteur-ressource. Tél. : 711-702-5555. Téléc. : 711-471-1722 Courriel : aditya.kunjapur@utexas.edu

1. Introduction

Plusieurs souches d'algues photosynthétiques produisent des substances qui peuvent être converties en divers types de biocombustibles. La possibilité d'utiliser des algues photosynthétiques pour produire du biocombustible est particulièrement intéressante, puisque les algues consomment du CO₂ pendant la photosynthèse.

Ci-après, le terme générique « algues » désigne les algues photosynthétiques et le terme « photobioréacteur » désigne un système utilisant la lumière pour assurer la croissance d'algues exclusivement à l'aide du mode de culture par photosynthèse.

Les algues peuvent pousser, peu importe qu'elles soient exposées à une lumière naturelle ou artificielle. Les techniques d'éclairage artificiel ont fourni des renseignements sur la façon dont les algues réagissent aux différentes conditions d'éclairage, lesquels sont brièvement présentés dans la section du présent article portant sur les éléments de conception.

Les deux principales catégories de systèmes de culture d'algues sont les bassins ouverts et les réacteurs fermés. Cependant, les éléments généraux relatifs à la conception sont présentés avant

l'analyse des configurations particulières du photobioréacteur, afin que l'évaluation et la comparaison des différentes configurations du réacteur puissent se faire efficacement.

2. Éléments de conception du photobioréacteur

De nombreux aspects influencent la croissance et la teneur en lipides des algues, et chacun de ces facteurs ont un effet les uns sur les autres. La réaction qui entraîne la conversion initiale des rayons du soleil en énergie emmagasinée se nomme la photosynthèse. Par conséquent, l'ensemble des éléments qui interviennent dans la photosynthèse contribue à la croissance. Les facteurs dont il est question dans le présent article sont l'éclairage, le mélange, l'eau, le CO₂, retrait de l'O₂, l'apport en éléments nutritifs, la température et le pH. Dans chaque catégorie, les conditions précises favorables à une croissance optimale dépendent de la souche d'algues choisies pour la culture.

2.1. Éclairage Un réacteur optimal permet d'accroître l'intensité/la pénétration de la lumière, ainsi que la longueur d'onde de la lumière et la fréquence de l'exposition des cellules à la lumière.

Le degré d'intensité lumineuse est déterminant, puisqu'à un degré donné, les algues atteignent un point de saturation lumineuse et éliminent l'excès d'énergie sous forme de chaleur. En ce qui concerne la conception d'un photobioréacteur, il existe un principe qui consiste à maximiser le rapport surface/volume, lequel peut servir à comparer des réacteurs. À cet égard, certains groupes travaillent à l'amélioration de la surface des bioréacteurs fermés en concevant des bioréacteurs qui comportent des sections transversales courbées et irrégulières (p. ex., en forme de S, sinusoïdales, ondulées).

Par exemple, dans un réacteur tubulaire, le gradient de lumière est principalement déterminé par le diamètre du tube et la densité de la biomasse dans le milieu. La densité de la biomasse affecte l'intensité de la lumière de même que la pénétration de la lumière. La densité cellulaire optimale est propre à chaque souche et doit être maintenue pour que l'intensité et la pénétration de la lumière demeurent à des niveaux optimaux constants.

La longueur d'onde lumineuse utilisée pour cultiver les algues constitue aussi un élément qui entre dans la conception. Toutefois, l'optimisation de cet aspect dans les systèmes éclairés par lumière naturelle est beaucoup plus difficile que dans les systèmes éclairés par lumière artificielle, dans lesquels la longueur d'onde de la lumière émise peut être choisie. Malheureusement, plus de 50 p. 100 du rayonnement solaire incident provenant de la lumière naturelle ne peut pas être utilisé par la photosynthèse.

Un éclairage constant est préférable; les cycles de clarté et d'obscurité influencent fortement la croissance des algues. Dans les bassins ouverts comme dans les réacteurs extérieurs, la lumière naturelle peut changer selon l'heure de la journée, la température, la saison et la géographie. Malheureusement, tous les réacteurs qui fonctionnent à la lumière naturelle se retrouvent dans l'obscurité pendant la nuit.

2.2. Mélange L'ampleur du mélange dans un réacteur contribue largement à la croissance des algues. Lorsque les conditions environnementales ne limitent pas les taux de croissance, le mélange constitue le facteur qui a le plus d'incidence sur le taux de croissance des algues. Le mélange permet d'accroître la productivité en augmentant la fréquence d'exposition des cellules à la lumière et à l'obscurité dans le réacteur et en augmentant le transfert de masse entre les éléments nutritifs et les cellules.

Le mélange a pour but de répartir également le rayonnement à l'ensemble des cellules cultivées et de réduire les obstacles à la diffusion autour des cellules. Le mélange et l'éclairage sont étroitement liés; en effet, le mélange est souvent responsable d'induire les cycles de clarté et d'obscurité qui favorisent la croissance des algues. Dans un même ordre d'idées, le mélange est peu efficace si l'éclairage est trop faible ou trop fort.

La **figure 1** affiche un modèle expérimental de réacteur fermé, muni d'un système à deux agitateurs, l'un à orifices et l'autre à membrane perforée, qui séparent l'entrée de CO₂ de l'air entrant, qui sont utilisés pour l'agitation. Certains systèmes utilisent de grosses bulles d'air pour générer la turbulence qui permet de réduire la croissance sur les parois, alors que d'autres utilisent des dispositifs mécaniques d'agitation.

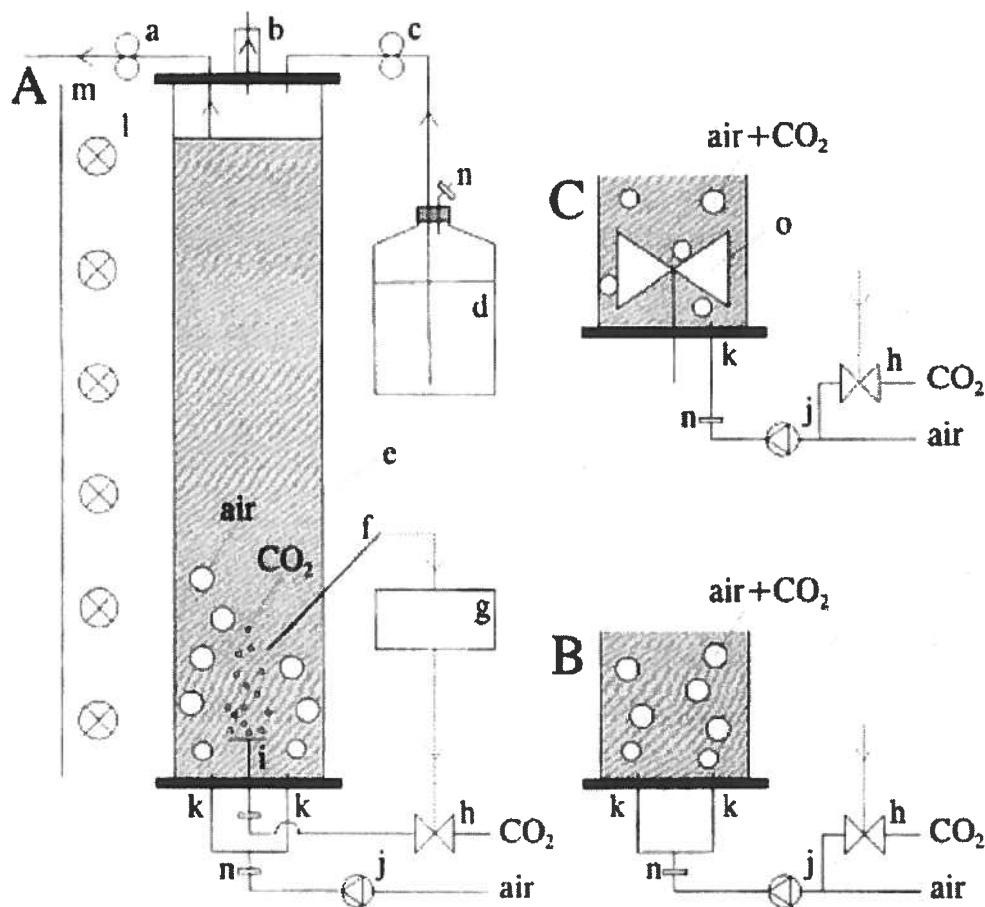


Figure 1 (A) Photobioréacteur à deux agitateurs, avec entrées de CO₂ séparées de l'écoulement d'air, servant à l'agitation : a) sortie de la culture; b) sortie d'air via un condenseur; c) entrée du milieu; d) réservoir du milieu; e) cylindre en verre; f) électrode de pH; g) dispositif de titration automatique; h) soupape à solénoïde; i) agitateur à membrane perforée; j) pompe à air; k) agitateur à orifices; l) tubes d'éclairage; m) miroir; n) filtre à air. (B) Partie inférieure du photobioréacteur fonctionnant comme une colonne à bulles ordinaire, le CO₂ étant combiné à l'écoulement d'air pour l'agitation. Annotations comme au point (A). (C) Partie inférieure du photobioréacteur fonctionnant selon la configuration d'un bioréacteur agité. Le CO₂ est combiné à l'écoulement d'air servant à l'agitation : o) agitateur à turbine; autres annotations comme au point (A).

2.3. Consommation d'eau La culture d'algues n'exige pas d'eau douce. L'utilisation d'eaux usées procure deux avantages : les algues tirent profit d'un milieu peu coûteux et riche en éléments nutritifs dont elles ont besoin; et les eaux usées subissent un traitement supplémentaire dans le processus. L'un des principaux inconvénients des bassins ouverts concerne la perte d'eau dans l'atmosphère par évaporation. Lorsque l'eau s'évapore depuis le réacteur, les concentrations de toutes les espèces présentes augmentent, ce qui peut constituer

un problème particulier dans les bassins d'eau salée, car le degré de salinité pourrait dépasser les valeurs tolérables.

2.4. Consommation de CO₂ En plus de la lumière et de l'eau, le dioxyde de carbone est nécessaire à la photosynthèse. Toutefois, un excès de CO₂ peut aussi nuire à la photosynthèse et à la croissance des cellules. L'approvisionnement en CO₂ peut se faire par diffusion à travers une membrane perméable au gaz afin de fournir une quantité suffisante de CO₂ à toute la culture.

2.5. Élimination de l'O₂ Une forte présence d'oxygène autour des cellules algales n'est pas souhaitable. La combinaison de rayons solaires intenses et de concentrations élevées d'oxygène peut endommager les cellules algales. Puisqu'il n'y a pas d'accumulation importante d'oxygène dans les bassins ouverts, les bassins ouverts offrent un meilleur rendement que les réacteurs fermés.

2.6. Apport en éléments nutritifs Pour croître, les algues requièrent plus que les réactifs présents dans la réaction de photosynthèse. L'azote et le phosphore sont deux éléments nutritifs importants; ils jouent tous deux un rôle dans la régulation des taux de croissance et de la production lipidique. Les autres éléments nutritifs comprennent, par exemple, le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, le nickel, le silicium et le sélénium.

2.7. Température Les températures auxquelles sont soumises les algues cultivées à l'extérieur peuvent varier selon les mêmes extrêmes de températures extérieures qui prévalent de la région où est faite la culture. Bien que les algues puissent croître à différentes températures, la croissance optimale demeure limitée à une plage étroite de températures qui est propre à chaque souche.

2.8. pH. Chaque souche d'algue a aussi sa propre gamme étroite optimale de pH. Le pH du milieu est lié à la concentration de CO₂. Le pH augmente constamment dans le milieu, au fur et à mesure que le CO₂ est consommé, pendant l'écoulement en aval dans le réacteur. Le pH a une incidence sur la disponibilité des éléments nutritifs comme le fer, les acides organiques et même le CO₂. Comme le pH a une telle incidence, les régulateurs de pH offerts sur le marché doivent être utilisés dans les réacteurs pour optimiser la croissance.

3. Bassins ouverts

Les systèmes de culture les plus fréquemment utilisés à des fins commerciales sont les réacteurs en bassins ouverts. Les bassins ouverts sont généralement définis comme étant très volumineux, situés dans un environnement extérieur et bénéficiant d'une source de lumière solaire.

Les quatre principaux types de systèmes de culture commerciaux sont les grands bassins ouverts, les bassins circulaires avec composantes rotatives pour le mélange, les bassins en boucle

fermée et les grands sacs. Les bassins ouverts sont souvent des bassins en boucle fermée comportant des roues à pales radiales et des chicanes favorisant le mélange et l'écoulement turbulent. Les **figures 2** et **3** montrent des exemples de bassins en boucle fermée sous forme de schéma et de modèle pilote. Les bassins ouverts, de pair avec les photobioréacteurs fermés, doivent être reliés à une certaine forme de système de récolte, lequel recueille les cellules algales pour la concentration en biomasse et l'extraction d'huile.

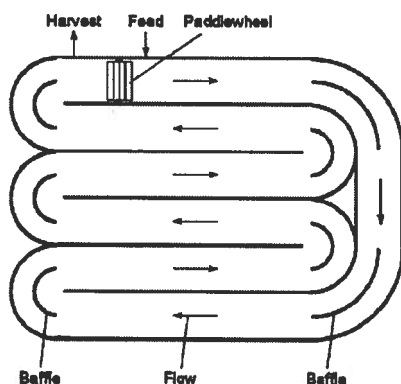


Figure 2 Schéma d'un bassin en boucle fermée.

Figure 3 Photo de modèles pilotes de bassins en boucle fermée.

4. Photobioréacteurs fermés

La littérature sous-entend souvent que les bassins ouverts auraient pris une place exagérée et qu'ils ont atteint un plateau en termes de productivité. Plusieurs auteurs ont exprimé le besoin de recourir à des systèmes fermés pour réaliser des progrès futurs dans la production d'algues à grande échelle.

De nombreux types de photobioréacteurs fermés ont été conçus afin de mieux contrôler les facteurs de croissance dont il a été question précédemment. Cependant, toute tentative de conception d'un réacteur viable sur le plan commercial a jusqu'ici été vaine. Les trois principales catégories qui conviennent généralement mieux à la culture à grande échelle sont les réacteurs tubulaires/horizontaux, à colonne/verticaux et à plateaux ou à plaques. Les **figures 4 à 6** montrent les trois types de réacteurs fermés dans leur forme conceptuelle.



Figure 4 Forme conceptuelle d'un réacteur tubulaire.

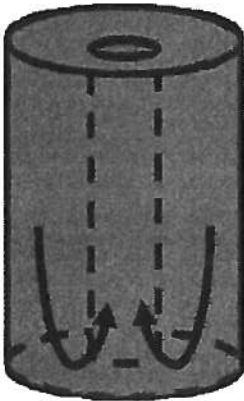


Figure 5 Forme conceptuelle d'un réacteur à colonne.



Figure 6 Forme conceptuelle réacteur à plateaux.

5. Conclusion

La culture d'algues pour la production de biocombustibles nécessite une forte productivité de la biomasse par surface et un minimum de coûts. Les principales difficultés techniques et économiques gênent la sélection du type de réacteur optimal à l'échelle commerciale. En l'absence de considérations économiques détaillées, les réacteurs fermés semblent offrir un meilleur rendement que les bassins ouverts, puisqu'ils maintiennent des conditions de croissance favorables et sont moins vulnérables à la contamination. Le meilleur type de réacteur est le réacteur tubulaire simple puisqu'il offre une bonne efficacité photosynthétique et qu'il est facile à nettoyer en raison de sa surface interne lisse. Toutefois, la taille de ce type de réacteur est limitée en raison de contraintes techniques; il ne peut atteindre une taille suffisante pour une exploitation commerciale sans que soient utilisées plusieurs petites unités, ce qui ne serait probablement pas rentable. Or, parallèlement, aucun type de réacteur particulier n'est optimal pour la culture commerciale d'algues en vue de la production de biocombustibles. Cette conclusion est conforme à la conclusion générale tirée par d'autres auteurs.

6. Littérature citée [omise]

Brevet américain

Hoeksema

Numéro du brevet : 7,070,410

Date du brevet : 4 juillet 2010

PHOTOBIOREACTEUR

Inventeur : John D. Hoeksema, Elkridge, Md

Cessionnaire : Aquacell Corporation, Columbia, Md

Numéro de demande: 12/734,094

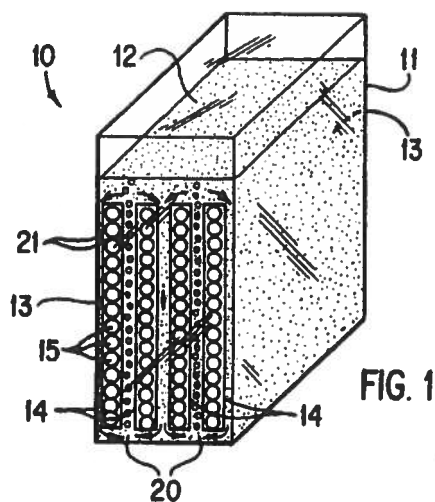
Date de dépôt : 4 juillet 2007

Publication antérieure

US 2008/02931234 4 juillet 2008

ABRÉGÉ

Un photobioréacteur pour la culture de microorganismes photosynthétiques est présenté, dans lequel des chicanes sont montées dans le réservoir du photobioréacteur formant ainsi des cavités creuses qui permettent l'insertion de sources de lumière par les ouvertures dans la paroi du réservoir. Les chicanes protègent les sources de lumière à l'intérieur du réacteur contre la culture photosynthétique en milieu liquide que contient le réservoir, facilitant ainsi les connexions électriques avec les sources de lumière ainsi que leur entretien.



[001] CONTEXTE DE L'INVENTION

[002] Les algues sont cultivées artificiellement pour la production d'huiles et d'autres matières ayant une valeur nutritive.

[003] Des méthodes et des équipements variés ont été utilisés pour la culture artificielle d'algues. D'ailleurs, les procédures les plus simples s'appuient sur l'utilisation de bassins ouverts peu profonds exposés aux rayons du soleil. Toutefois, ces bassins sont vulnérables à la contamination et offrent peu de possibilités lorsque vient le temps de contrôler le degré d'exposition à la lumière, la température et d'autres facteurs importants.

[004] Le processus photosynthétique exige que les algues soient exposées à une source de lumière relativement constante et uniforme. L'un des principaux éléments qui entrent dans la conception des photobioréacteurs modernes suppose la présence d'un dispositif permettant d'exposer de façon uniforme les cellules du milieu de culture algale à une quantité optimale de lumière visible. Les algues sont très sensibles à la quantité et au type de lumière. Une intensité lumineuse excessive peut endommager et tuer les cellules algales. Trop peu de lumière entraîne une baisse de

la photosynthèse et donc, à une diminution de la croissance.

[005] Deux éléments de conception sont étroitement liés à la nécessité de fournir un éclairage uniforme et constant; il s'agit de la densité cellulaire et de la longueur de la traversée optique. Comme dans le cas des processus de fermentation conventionnels, il est généralement préférable d'utiliser la plus forte densité cellulaire possible. En plus des exigences relatives à l'éclairage, il faut tenir compte de la compétition pour les éléments nutritifs, de la viscosité du milieu de culture et d'autres critères semblables. Toutefois, une trop forte densité cellulaire fera en sorte que la lumière ne touchera pas les cellules situées à plus de quelques millimètres de la source de lumière. Le simple fait d'augmenter l'intensité lumineuse ne vient pas régler ce problème, car une forte intensité lumineuse pourrait endommager ou tuer les cellules qui se trouvent plus près de la source de lumière.

[006] Diverses configurations de ces photobioréacteurs ont été utilisées. Néanmoins, il demeure nécessaire de développer des photobioréacteurs à grande échelle qui sont plus efficaces et plus productifs, surtout des photobioréacteurs capables d'utiliser des lampes à forte intensité et peu coûteuses qui assureront une

répartition uniforme de la lumière sur de larges surfaces, tout en utilisant des méthodes sécuritaires et moins complexes d'alimentation électrique.

[007] RÉSUMÉ DE L'INVENTION

[008] Conformément à l'un de ses modes de réalisation, la présente invention concerne un photobioréacteur contenant des chicanes qui transmettent de la lumière, fixées côte à côte dans un réservoir qui contient une culture microbienne en milieu liquide. Chaque chicane présente une cavité creuse et est fixée de manière à ce que cette cavité soit accessible depuis l'extérieur du réservoir, pour l'insertion d'une source de lumière. Les côtés des chicanes sont faits de matériaux optiques transparents; ils peuvent donc transmettre la lumière depuis la source lumineuse vers le liquide qui est en contact avec les surfaces extérieures des chicanes. Chaque source de lumière est composée de plusieurs tubes d'éclairage, de préférence des lampes fluorescentes, soutenus par des brides ou des éléments de support semblables, et fixés aux chicanes. Des fils sont branchés aux tubes, permettant ainsi une connexion à une source d'alimentation externe.

[009] L'invention prévoit donc des connexions et un circuit électrique

grandement simplifiés et permet de réduire les coûts d'entretien. Le fait de permettre l'accès aux sources de lumière depuis l'extérieur du réservoir et de protéger les sources de lumière d'un contact avec la culture microbienne vient faciliter le repérage et le remplacement des ampoules brûlées et réduire les risques de courts-circuits.

[0010] De plus, comme les chicanes transmettant la lumière sont entourées de la culture microbienne en milieu liquide sur leurs principales surfaces émettrices de lumière, l'espace entre les tubes adjacents et l'espace entre les chicanes adjacentes sont tels qu'ils optimisent l'absorption par les algues de la lumière émise et en assure pratiquement l'absorption complète.

[0011] Les chicanes transmettant la lumière jouent également un rôle structural, puisque leurs surfaces externes servent aussi de parois pour définir des sentiers pour la circulation dans lesquels les algues se déplacent, par exemple par une agitation à air ascendant. Les chicanes forment aussi des blocs de construction de base qui peuvent être utilisés en combinaison, selon le nombre désiré, dans des systèmes de photobioréacteurs à grande échelle de toute capacité.

**[0012] DESCRIPTION SUCCINCTE
DES DESSINS**

[0013] Fig. 1 : vue perspective du photobioréacteur;

[0014] Fig. 2 : vue perspective de la disposition d'une chicane et de tubes fluorescents faisant partie du photobioréacteur illustré à la figure 1;

[0015] FIGURES 3 à 5 : vues de haut, d'arrière et de côté, respectivement, du photobioréacteur.

**[0016] DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE
L'INVENTION**

[0017] La **figure 1** présente une vue perspective d'un photobioréacteur (10) qui sera utilisé pour la culture d'organismes ayant besoin de lumière. L'extérieur du photobioréacteur (10) a la forme d'un réservoir (11) pouvant contenir un milieu liquide de culture (12). Le milieu liquide de culture est parfois appelé une culture « algale », mais le photobioréacteur (10) peut servir à la culture de tout type de microorganisme photosynthétique.

[0018] L'unité de base du photobioréacteur est un réservoir rectangulaire transparent à la lumière (11). Ce dernier est illustré à la **figure 1** et comporte plusieurs chicanes internes (14) qui s'étendent d'un bout du

réservoir à l'autre et dont les extrémités sont scellées aux parois internes du réservoir. Chaque chicane (14) comporte une cavité creuse qui est accessible par des ouvertures formées dans la paroi du réservoir. Les parois d'extrémité du réservoir (13) peuvent être coupées ou moulées pour permettre l'accès aux cavités des chicanes depuis l'extérieur de la surface de la paroi d'extrémité du réservoir. Aussi, même si le mode de réalisation illustré à la **figure 1** montre un réservoir rectangulaire (11), toute forme symétrique ou asymétrique qui convient peut être utilisée, y compris, sans toutefois s'y limiter, des réservoirs munis d'escaliers ou d'une section transversale en forme de méandre.

[0019] Sur la surface extérieure des parois du réservoir se trouvent des ouvertures qui permettent l'accès à la cavité de la chicane afin d'y insérer une source de lumière. Dans le mode de réalisation illustré à la **figure 1**, plusieurs tubes d'éclairage (15) sont insérés et installés dans la cavité de la chicane, depuis l'extérieur de la surface du réservoir. Les chicanes (14) servent à protéger les tubes d'éclairage (15) d'un contact direct avec le milieu liquide de culture (12). La lumière est donc émise de façon très uniforme à partir des tubes (15) et est absorbée par la culture algale.

[0020] Un dispositif de régulation de la température du contenu du réservoir (11) est situé à l'extérieur de celui-ci. La méthode privilégiée pour réguler la température comprend des chemises d'eau ou des serpentins internes de transfert de chaleur, qui peuvent être connectés à des unités de réfrigération (non illustrées) ou à des unités de chauffage (non illustrées). De plus, l'oxygène dissous et les niveaux de pH du contenu font l'objet d'une surveillance continue et sont régulés par des méthodes conventionnelles.

[0021] La **figure 2** est une vue perspective d'une chicane (14) et du boîtier des tubes d'éclairage (15) qu'elle contient. Les panneaux latéraux (17) sont essentiellement des parois planes entre lesquelles la cavité de la chicane est formée. Les parois planes (17) sont de grandes surfaces placées sur de part et d'autre de la cavité, permettant l'émission de lumière dans ladite cavité. Les panneaux latéraux (17), le panneau supérieur (18) et le panneau inférieur (19) sont faits d'un matériau optiquement transparent et chimiquement inerte, comme le verre ou l'acrylique. Des brides (16) sont installées afin de faciliter l'installation et le support des tubes d'éclairage (15) ou d'une banque de tubes d'éclairage. Les extrémités ouvertes (25) de la chicane permettent d'insérer

simplement les tubes dans l'une ou l'autre des extrémités, même pendant que le photobioréacteur est en fonction, comme l'illustre la **figure 1**.

[0022] Dans le mode de réalisation illustré à la **figure 2**, les tubes d'éclairage (15) sont des lampes fluorescentes essentiellement « ordinaires », non modifiées. Selon ce mode de réalisation, ces lampes présentent des avantages, en ce sens que la lumière est émise à partir des tubes de façon très uniforme sur leur longueur et dans toutes les directions perpendiculaires à ceux-ci. Cet avantage, qui s'ajoute à l'espacement particulier entre les chicanes, permet une absorption optimale de la lumière par la culture algale.

[0023] Le système d'éclairage peut être configuré à l'intérieur du bioréacteur afin d'accroître le rendement photosynthétique des algues. Par exemple, les tubes d'éclairage (15) peuvent comprendre plusieurs diodes électroluminescentes (DEL). Les DEL, y compris les diodes électroluminescentes organiques (DELO), sont offertes selon des formes et des types variés y compris, par exemple, les DEL standards, à haute intensité, super lumineuses, à faible consommation et autres. La « couleur » ou le spectre de longueur d'onde maximale d'émission de la lumière

émise (p. ex., infrarouge, visible, proche ultraviolet et ultraviolet) peut être sélectionné pour simuler la croissance de certains types d'algues. En revanche, les chicanes (14) peuvent être enduites d'un ou de plusieurs substrats ou produits chimiques qui émettent de la lumière et qui produisent une ou plusieurs émissions maximales associées au spectre d'absorption de la chlorophylle, stimulant ainsi la photosynthèse et la croissance des algues.

[0024] Comme les extrémités (25) de la chicane (14) sont ouvertes, les connexions électriques peuvent se faire facilement et de façon sécuritaire avec les tubes d'éclairage (15) à leurs extrémités opposées. Comme l'illustre la **figure 2**, chaque tube fluorescent (15) est connecté individuellement par les éléments (22), depuis lesquels les fils sont amenés dans des câbles (23 et 24) qui se terminent dans une fiche pouvant être branchée à une source d'alimentation (non illustrée).

[0025] Comme il a été mentionné précédemment, les dimensions du réservoir et des chicanes peuvent être choisies de manière à optimiser l'absorption de la lumière par la culture algale pendant le fonctionnement du bioréacteur. Selon un mode de réalisation (**FIGURES 3 à 5**), les chicanes (14) ont une largeur de 2 pouces

pour permettre l'insertion d'un tube fluorescent. La hauteur globale des chicanes est déterminée par le nombre de tubes fluorescents qui y seront insérés. Dans ce mode de réalisation, la hauteur est d'environ 24 pouces, ce qui permet d'insérer 12 tubes fluorescents et trois brides (16), comme le montre la **figure 2**. Il y a un espace de 1 pouce entre les surfaces extérieures des chicanes adjacentes, et l'espace entre la surface extérieure de la chicane et la paroi du réservoir mesure un demi-pouce. Les chicanes (14) se prolongent généralement sur toute la longueur du réservoir de 48 pouces (**figure 5**). La hauteur et la largeur globales du réservoir sont de 31 pouces et 12 pouces, comme l'illustrent les **FIGURES 4 et 3**, respectivement. Grâce à des tubes fluorescents blanc froid à rendement élevé, cet espacement offre une source d'éclairage presque optimale pour les microalgues.

[0026] En outre, comme il est illustré dans les **FIGURES 2 à 5**, la portion principale des surfaces émettrices de lumière de la chicane est formée de parois planes (17). Conformément aux dimensions de la chicane indiquées dans la réalisation préférentielle décrite ci-dessus, environ 90 p. 100 de la lumière émise par les tubes fluorescents (15) est transmise par les parois planes (17). Ces

chiffres ne se veulent pas limitatifs; ils ne sont présentés que pour illustrer le fait que les parois planes sont des surfaces importantes qui forment la principale partie des surfaces émettrices de lumière de la chicane.

[0027] Il est important de reconnaître que les largeurs des chicanes et l'espacement entre les chicanes adjacentes dépendront du flux de photons de la source d'éclairage, des propriétés optiques des parois des chicanes et de la densité cellulaire de la culture utilisée. De plus, le photobioréacteur peut facilement être fabriqué selon le volume désiré en raison de la symétrie interne des chicanes émettrices de lumière dans le réservoir. Le photobioréacteur illustré à la **figure 1** présente un volume utile de 110 à 130 litres. Ce volume peut facilement être accru si la largeur et la hauteur du réservoir sont augmentées, ce qui permettrait d'ajouter des chicanes supplémentaires. Un tel changement dans la conception du photobioréacteur n'affecte en rien le fonctionnement ou le rendement du photobioréacteur.

[0028] Comme il a été indiqué précédemment, les chicanes émettrices de lumière ont aussi une fonction structurale, en ce sens que leurs surfaces externes servent de parois définissant des sentiers pour la

circulation de la culture algale. Tel qu'il est illustré dans la **figure 1**, les chicanes (14) sont installées dans le réservoir de manière à former des passages (21) entre elles permettant à la culture de circuler et favorisant le processus de croissance. Pour faciliter la circulation et l'agitation dans le réservoir, une série de tubes creux ou de cylindres (20) sont placés entre les paires de chicanes, en alternance (**figure 1**). Les cylindres (20) peuvent aussi être placés entre des chicanes adjacentes dans une position verticale ou entre la chicane et la paroi du réservoir. De plus, les cylindres (20) peuvent être placés tout juste sous les chicanes, de sorte que presque tout le gaz circule dans l'espace ainsi formé (**figure 3**).

[0029] Les cylindres (20) comportent de petites perforations traversant les parois du cylindre; ces trous forment des tubes pour le gaz de barbotage dans lesquels un gaz pressurisé (p. ex., dioxyde de carbone) est injecté pour les besoins de la photosynthèse de la culture algale. Il peut s'agir d'air ou d'azote, ou de tout autre gaz inerte, seul ou enrichi de dioxyde de carbone. Lorsque l'on fait barboter le gaz dans la culture depuis le fond du réservoir, il force le milieu à monter, créant une circulation vers le haut le long d'un canal et vers le bas le long d'un autre canal, dans les directions illustrées par

les flèches dans la **figure 1**. On sait toutefois que la circulation vers le haut et vers le bas telle qu'elle est illustrée n'est pas nécessaire pour assurer le mélange. Le positionnement des tubes de barbotage entre les chicanes adjacentes et entre une chicane et la paroi du réservoir permettra aussi d'obtenir ce résultat souhaité. D'autres moyens mécaniques pour l'approvisionnement en gaz contenant des éléments nutritifs et pour la circulation, l'agitation ou le mélange de la culture peuvent aussi être utilisés.

[0030] Comme les chicanes se prolongent sur toute la longueur du réservoir et que les cavités creuses qu'elles contiennent sont accessibles depuis la surface extérieure des parois du réservoir d'un côté comme de l'autre, il est beaucoup plus facile d'amener des connexions électriques jusqu'aux tubes

fluorescents contenus dans lesdites chicanes. L'entretien des tubes est aussi simplifié. Les fils connectés aux extrémités des tubes sont fabriqués selon les méthodes conventionnelles et sont entièrement protégés du milieu liquide de culture (12). Cette nouvelle structure permet également de repérer et de remplacer beaucoup plus facilement les tubes d'éclairage brûlés. En outre, le choix de la longueur de la traversée optique, comme il a été décrit précédemment, permet l'absorption de pratiquement toute la lumière émise par la culture, sans compter que l'absorption de la lumière est relativement uniforme et optimisée dans toute la culture.

[0031] REVENDICATIONS : [omises]

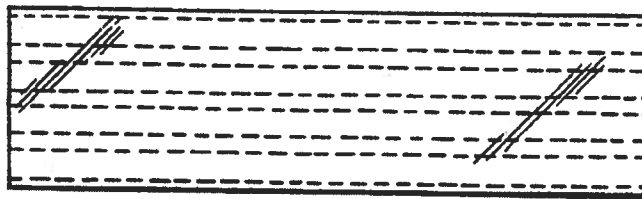


FIG. 3

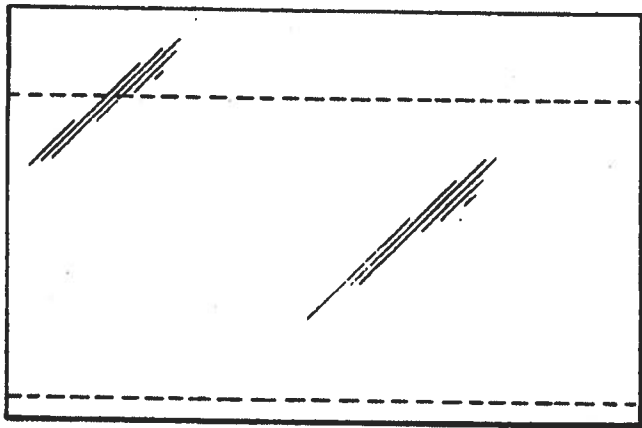


FIG. 5

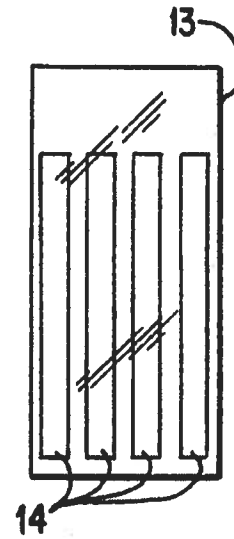


FIG. 4

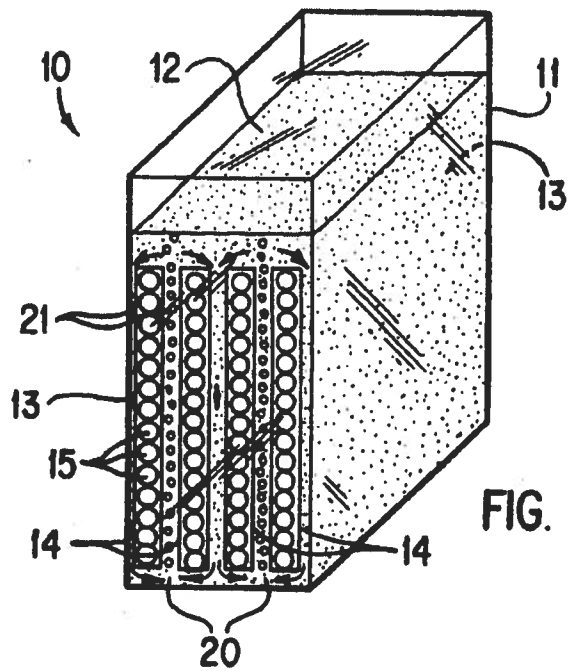


FIG. 1

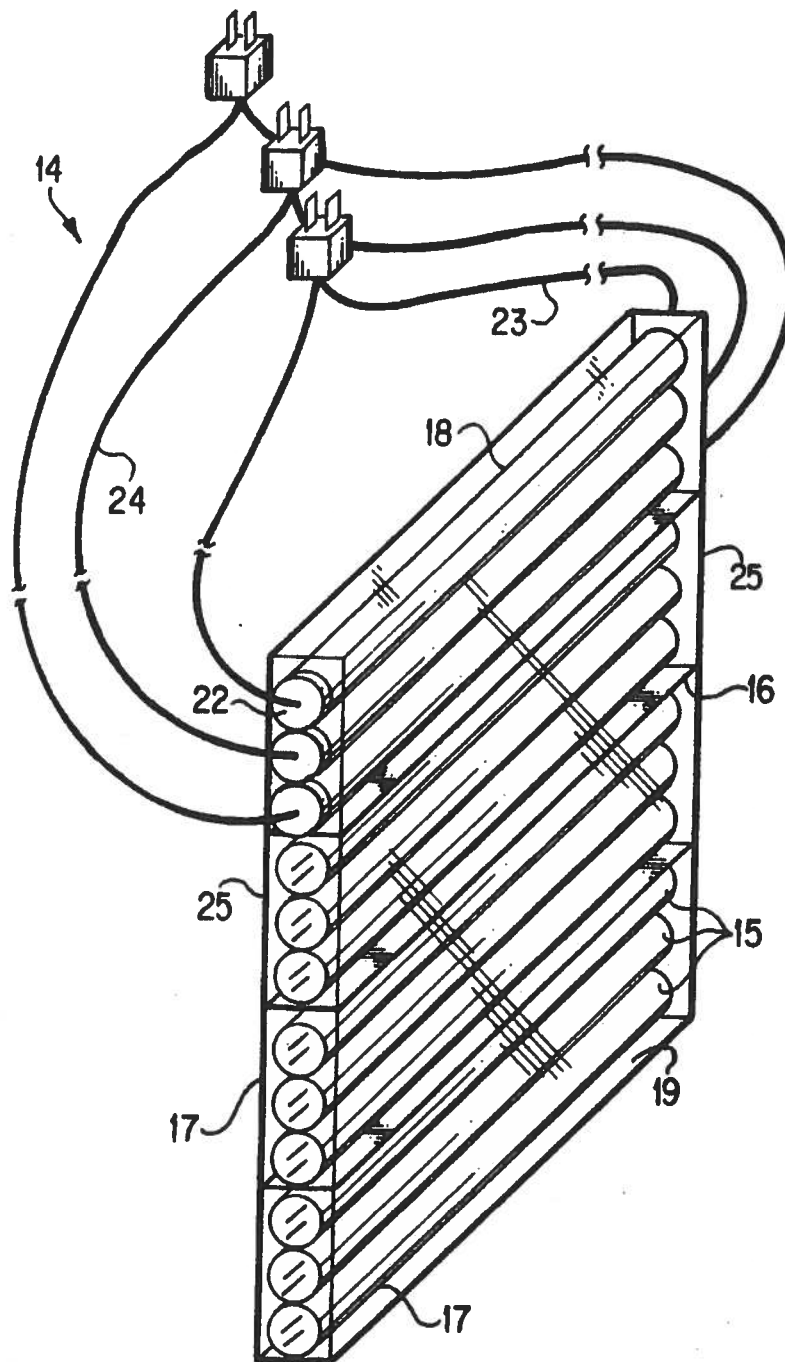


FIG. 2

Bioresource Engineering 88, (2009), 421-423

UNE FORTE INTENSITÉ LUMINEUSE ÉMISE SELON DE BREFS INTERVALLES AUGMENTE L'ACTIVITÉ PHOTOSYNTHÉTIQUE DES ALGUES

Jade Green*, Ph. D et **Greg Miss**, Ph. D

Process Science and Technology Center, University of Hull, UK

L'une des principales difficultés associées à la culture de microalgues concerne la conception et l'élaboration d'appareils, de méthodes de culture et de souches algales capables d'accroître considérablement leur efficacité à utiliser la lumière. Nous avons découvert que l'activité photosynthétique des algues peut être grandement accrue par l'utilisation d'une forte intensité lumineuse émise selon de brefs intervalles. Grâce à la création d'un « effet de clignotement » dans un bioréacteur, il est possible d'accroître considérablement la productivité dudit bioréacteur.

Reçu le 1^{er} avril 2009; accepté aux fins de publication le 10 mai 2009; accessible en ligne le 20 juin 2009.

*Personne à qui la correspondance doit être adressée. Tél. : 225-545-6575 Téléc. : 225-854-9856 Courriel : Jgreen@uhull.edu

Introduction

Les microalgues sont des microorganismes capables de « récolter le soleil » et de transformer son énergie radiante en produits de valeur, à partir de ressources naturelles peu coûteuses (CO₂ et H₂O). L'une des principales difficultés associées à la culture

de microalgues concerne la conception et l'élaboration de méthodes de cultures et de souches algales capables d'accroître considérablement leur efficacité à utiliser la lumière. Le principal paramètre qui affecte la conception du réacteur concerne la prévision d'un moyen pour permettre la pénétration de la lumière, ce qui suppose un

rapport surface-volume élevé; cette pénétration de la lumière est essentielle pour accroître l'activité photosynthétique.

Nous décrivons un processus selon lequel l'activité photosynthétique des algues peut être considérablement augmentée. Grâce à une forte intensité lumineuse émise selon de brefs intervalles, il est possible de créer un « effet de clignotement » qui entraîne une hausse marquée de la productivité. Cet effet de clignotement peut être créé dans un bioréacteur tubulaire ayant la forme d'une colonne de Vigreux, c'est-à-dire une colonne en verre contenant de nombreuses rangées de projections transparentes à la lumière permettant d'accroître la taille de la surface tout en générant de la turbulence dans le photobioréacteur.

Méthodes et résultats

Deux types de colonnes ont été utilisés pour effectuer les essais comparatifs : 1) une colonne en verre de Vigreux de 1 litre, comportant 0,5 pointe ou creux par cm^2 (Corning), et un réacteur tubulaire de 1 litre ayant la même géométrie, mais sans creux latéraux, utilisé aux fins de contrôle (tube lisse).

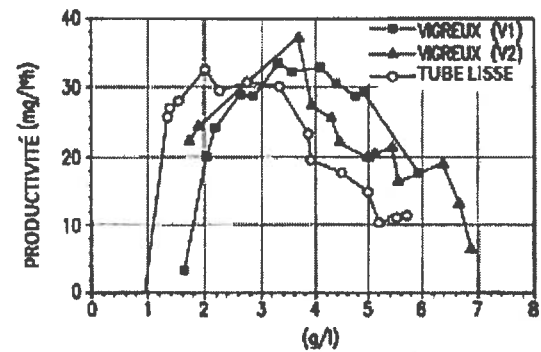
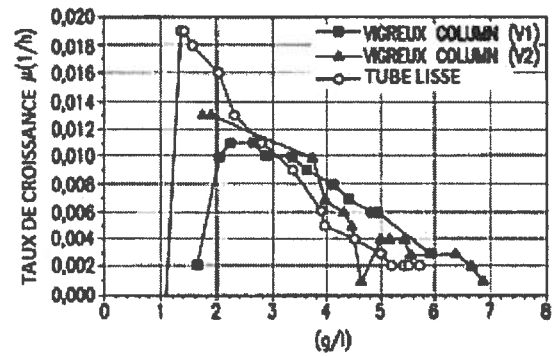
Diverses quantités d'algues *Chlorella vulgaris* ont été inoculées dans 10 litres d'un

milieu de culture Greenex™, et les colonnes ont chacune été remplies de 1 litre de solution. Du CO_2 (0,5 L/h) a été injecté en continu dans les colonnes et celles-ci ont été soumises à une température de 25 °C, à des conditions d'éclairage contrôlé, pendant 24 heures. L'éclairage des colonnes était assisté de 2 radiateurs halogènes, de sorte qu'un éclairage de $520 \mu\text{E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ était possible d'un côté. Des échantillons d'un millilitre ont été prélevés dans chaque colonne, toutes les heures, pendant 24 heures, et la quantité d'algues contenue dans chaque échantillon a été mesurée.

Comme il est illustré dans la **figure**, une comparaison directe a révélé une productivité de 20 à 40 p. 100 plus élevée dans la colonne de Vigreux avec une inoculation de 4 g d'algues (32,8 $\text{mg}/\text{l} \cdot \text{h}$ pour la V1 contre 23,2 $\text{mg}/\text{l} \cdot \text{h}$ pour le tube lisse) et une productivité de 30 à 100 p. 100 plus élevée avec une inoculation de 5 g d'algues (30 $\text{mg}/\text{l} \cdot \text{h}$ pour la V1 contre 15 $\text{mg}/\text{l} \cdot \text{h}$ pour le tube lisse) par rapport au réacteur sans creux latéraux. La deuxième expérience (V2) s'est aussi avérée concluante, révélant une productivité plus élevée que celle de la culture faite dans le tube lisse (les résultats différents dans la V1 et la V2 sont le résultat d'une adaptation préliminaire différente des cellules algales à

la lumière). Le taux de croissance était semblable pour l'ensemble des réacteurs.

Ces résultats ont été étudiés plus en profondeur dans une deuxième série d'expériences, au cours desquelles un turbidimètre a été placé à l'intérieur de la colonne. Les mesures de l'intensité de la lumière ont révélé que les creux dans la colonne de Vigreux créaient de brefs intervalles (supérieure à 1 Hz) de forte intensité lumineuse (données non indiquées). Cet effet de « clignotement » n'a pas été observé dans la colonne lisse. L'hypothèse est donc la suivante : cet effet de clignotement est causé par l'écoulement turbulent accru créé par les creux et les saillies dans la colonne de Vigreux. Par conséquent, on peut raisonnablement conclure que cet effet de clignotement expose les algues à des éclats intermittents de lumière très intenses à l'intérieur de la surface du réacteur et que ces éclats de lumière intermittents augmentent l'activité photosynthétique des algues. Pour une raison inconnue, il n'a pas été possible de reproduire ce phénomène étonnant dans un réacteur tubulaire ou à plaque (données non montrées).



Discussion

Depuis plusieurs années, notre équipe de recherche fait l'essai de nombreux types de configurations différentes. Ici, nous décrivons une nouvelle conception de bioréacteur tubulaire muni de creux et de saillies transparents à la lumière, grâce auxquels il est possible de créer un « effet de clignotement ». Cet effet a entraîné une augmentation considérable de la productivité de biomasse pour les algues cultivées dans le réacteur tubulaire.

Il est fort probable que ce phénomène observé soit le résultat d'une augmentation de la surface, laquelle s'explique par la

présence de creux et de saillies transparents à la lumière qui augmentent simultanément la turbulence dans le réacteur.

D'autres expériences devront être réalisées afin de mieux définir le mécanisme d'action et d'optimiser davantage la production de biomasse, particulièrement pour les applications commerciales. Nous prévoyons étudier ce phénomène plus en profondeur afin de définir les niveaux optimaux d'intensité lumineuse ainsi que les intervalles minimaux et maximaux entre chaque clignotement.

Office de la Propriété
Intellectuelle
du Canada
Un organisme
d'Industrie Canada

Canadian
Intellectual Property
Office
An agency of
Industry Canada

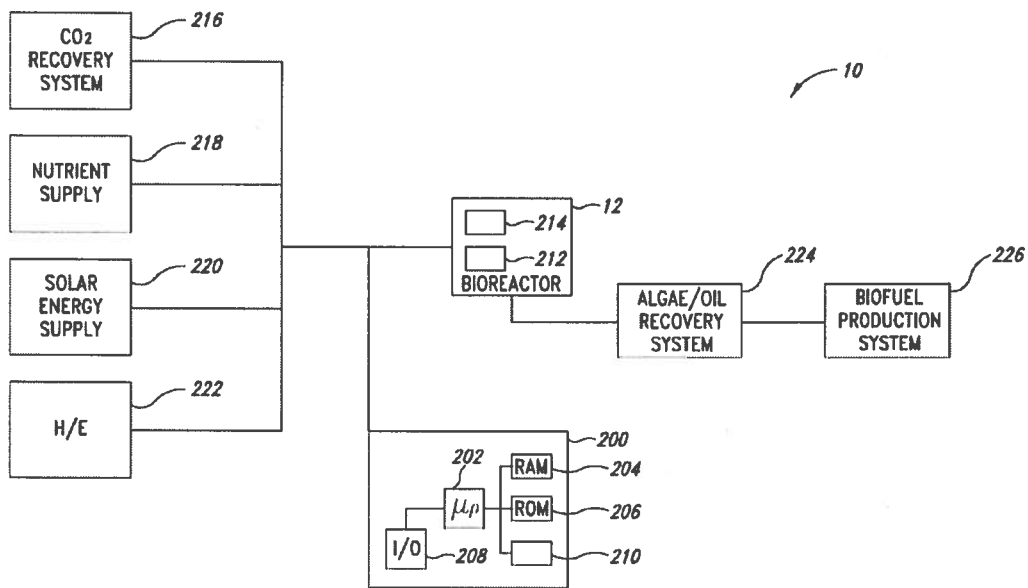
2 123 456

**DEMANDE DE BREVET CANADIEN
CANADIAN PATENT APPLICATION**

<p>Date de dépôt / Filing Date: 2008/03/20 Date publication /Publication Date: 2009/22/09 Priorités/Priorities:</p>	<p>Demandeur/Applicant: BIOELECTRONICS, US Inventeur/Inventor: COLVIN, RICHARD, US</p>
--	--

Titre : SYSTÈMES ET MÉTHODES POUR LA PRODUCTION DE BIOMASSE

Titre : SYSTEMS, DEVICES AND METHODS FOR BIOMASS PRODUCTION



CONTEXTE**1. Domaine**

Cette description concerne le domaine des bioréacteurs et, plus précisément, les systèmes de photobioréacteurs ouverts, ainsi que des méthodes intégrant des systèmes électroniques avancés pour la culture de biomasses, d'organismes photosynthétiques et autres organismes semblables.

2. Description de la technique connexe

Il existe diverses technologies pour cultiver et récolter des biomasses (par exemple, des bactéries et des algues). L'acceptation commerciale des bioréacteurs dépend d'une variété de facteurs, comme les coûts de fabrication et de fonctionnement, la fiabilité, la durabilité et l'évolutivité. L'acceptation commerciale des bioréacteurs dépend aussi de leur capacité à accroître la production de biomasse, tout en réduisant les coûts de production de biomasse. Par conséquent, il pourrait être souhaitable d'accroître l'efficacité de la production de biomasse par le maintien des processus photosynthétiques d'une biomasse cultivée dans des réacteurs ouverts, à l'aide de systèmes électroniques interreliés pour contrôler très précisément les nombreux paramètres associés à la culture d'un large volume de biomasse à l'extérieur.

SOMMAIRE

Dans un aspect, la présente description concerne un bioréacteur en bassin ouvert pour la culture d'organismes photosynthétiques. Le bioréacteur comprend un contenant et un système d'éclairage solaire. Le contenant comprend une surface extérieure et une surface intérieure. Dans certains modes de réalisation, la surface intérieure définit un espace isolé, configuré de manière à y retenir les organismes photosynthétiques et le milieu de culture. Le bioréacteur comprend un système de commande permettant de réguler la tension, le courant et l'alimentation acheminés au bioréacteur, et de réguler automatiquement de nombreux processus et variables de stress qui peuvent modifier ou affecter la croissance et le développement des organismes. Le système de commande comprend un ou plusieurs régulateurs, capteurs, agitateurs mécaniques, systèmes de filtration, système de récupération du dioxyde de carbone, systèmes d'approvisionnement

en éléments nutritifs, systèmes d'approvisionnement en énergie solaire, un système de récupération de la biomasse et de l'huile et un système de production de biocombustible.

Le bioréacteur et son système de commande peuvent donc être configurés de manière à optimiser le rendement photosynthétique et la croissance des algues. Par exemple, le bioréacteur peut maintenir une température, une exposition à la lumière, un mélange, un taux de pH, etc. à un niveau constant, dans différentes conditions environnementales extérieures.

DESCRIPTION SUCCINCTE DES DESSINS

La **figure 1** présente un schéma fonctionnel illustrant un mode de réalisation d'un bioréacteur.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

Le système de commande de l'invention est adapté de manière à ce qu'on puisse l'utiliser avec divers types de réacteurs ouverts (p. ex., des bassins ou des réservoirs). De façon générale, le bioréacteur est un contenant qui comprend une surface extérieure et une surface intérieure. La surface intérieure définit un espace configuré pour retenir les biomasses, les organismes photosynthétiques et autres organismes semblables.

Le bioréacteur peut avoir différentes formes, tailles et configurations structurales, y compris, par exemple les formes ovales, cylindriques, circulaires, carrées, triangulaires, symétriques, asymétriques et autres. Les matériaux qui conviennent à la fabrication du contenant du bioréacteur comprennent le béton, l'acier inoxydable, le Kevlar™, et autres matériaux semblables, ou encore des combinaisons ou des composés de ces matériaux, ainsi que d'autres matériaux comme des matériaux translucides ou transparents, des matériaux conducteurs de lumière, du verre, du plastique, des polymères, et autres matériaux semblables.

Selon la **figure 1**, le bioréacteur (10) comprend un système de commande (200) permettant de réguler la tension, le courant et l'alimentation acheminés au bioréacteur, et de réguler automatiquement au moins une variable de processus ou de stress qui peuvent modifier ou affecter la croissance et le développement des organismes (p. ex., modification du pH, les niveaux d'éléments nutritifs ou de gaz comme le CO₂ ou

l'oxygène, ou d'autres conditions). Dans certains modes de réalisation, le bioréacteur peut fonctionner selon des conditions environnementales strictes qui nécessitent la régulation d'une ou de plusieurs variables de processus associées à la culture ou à la croissance d'une biomasse photosynthétique.

Le système de commande (200) peut comprendre un ou plusieurs régulateurs (202) comme un microprocesseur, des unités de stockage comme une mémoire vive (RAM) (204), une mémoire morte (ROM) (206) et autres dispositifs semblables. Le système de commande (200) peut aussi comprendre un ou plusieurs périphériques de saisie (208) (p. ex., un écran, un écran tactile) et des éléments de circuits discrets et intégrés (201) pour réguler la tension, le courant ou l'alimentation.

Le système du bioréacteur peut aussi comprendre divers systèmes de commande (200), capteurs (212) et agitateurs mécaniques (214) ou systèmes de filtration. Ces dispositifs peuvent être commandés et exploités à l'aide d'un système de commande central (200). Dans certains modes de réalisation, un ou plusieurs capteurs (212) peuvent être utilisés pour capter et réguler au moins un des paramètres que sont la température, la pression, l'approvisionnement en énergie solaire (lumière), la teneur en gaz, le pH, le niveau de liquide, le débit de gaz de barbotage, le mélange et la turbulence et le régulateur (200) peut être configuré de manière à commander au moins un ou plusieurs de ces paramètres.

Le bioréacteur peut aussi comprendre un système de récupération du dioxyde de carbone (216) qui permet la récupération, le traitement, l'extraction, l'utilisation, l'épuration, le nettoyage ou la purification de l'apport en dioxyde de carbone à partir, par exemple, des gaz de combustion d'une source industrielle. Le bioréacteur peut également comprendre un ou plusieurs systèmes d'approvisionnement en éléments nutritifs (218), systèmes d'approvisionnement en énergie solaire (220) et systèmes d'échange de chaleur (222) pour réguler ou maintenir une température constante dans le bioréacteur (12). Le bioréacteur peut aussi comprendre un système de récupération de la biomasse ou de l'huile (224) ainsi qu'un système de production de biocombustibles (226).

Dans certains modes de réalisation, un système d'agitation est installé dans le biosystème afin d'agiter, de faire circuler ou de manipuler l'eau, les algues, le flux d'éléments

nutritifs, les gaz de combustion ou une combinaison de ces éléments. Le système d'agitation peut être configuré de manière à ce que les algues soient continuellement mélangées et qu'au moins une partie des algues soient exposées à la lumière alors que les autres ne le sont pas (c.-à-d. que les autres algues sont placées dans le cycle d'obscurité). Le système d'agitation peut servir à réduire favorablement la surface photosynthétique qui fournit de la lumière au volume d'algues que contient le bioréacteur (12), et d'obtenir quand même la production de lipides souhaitée au moyen de pompes, de pales et autres dispositifs semblables.

Dans les diverses applications possibles, le biosystème, comportant un bioréacteur (12) de même qu'un système d'extraction (224) et un système facultatif de raffinage ou de transformation du biocombustible (226), peut être rattaché à une usine d'épuration. Ainsi le biosystème peut utiliser les effluents de l'usine d'épuration comme sources d'éléments nutritifs pour les algues, lesquelles sont subséquemment récoltées pour la production de biocombustible qui lui, peut être utilisé pour alimenter l'usine d'épuration.

REVENDEICATIONS : [omises]

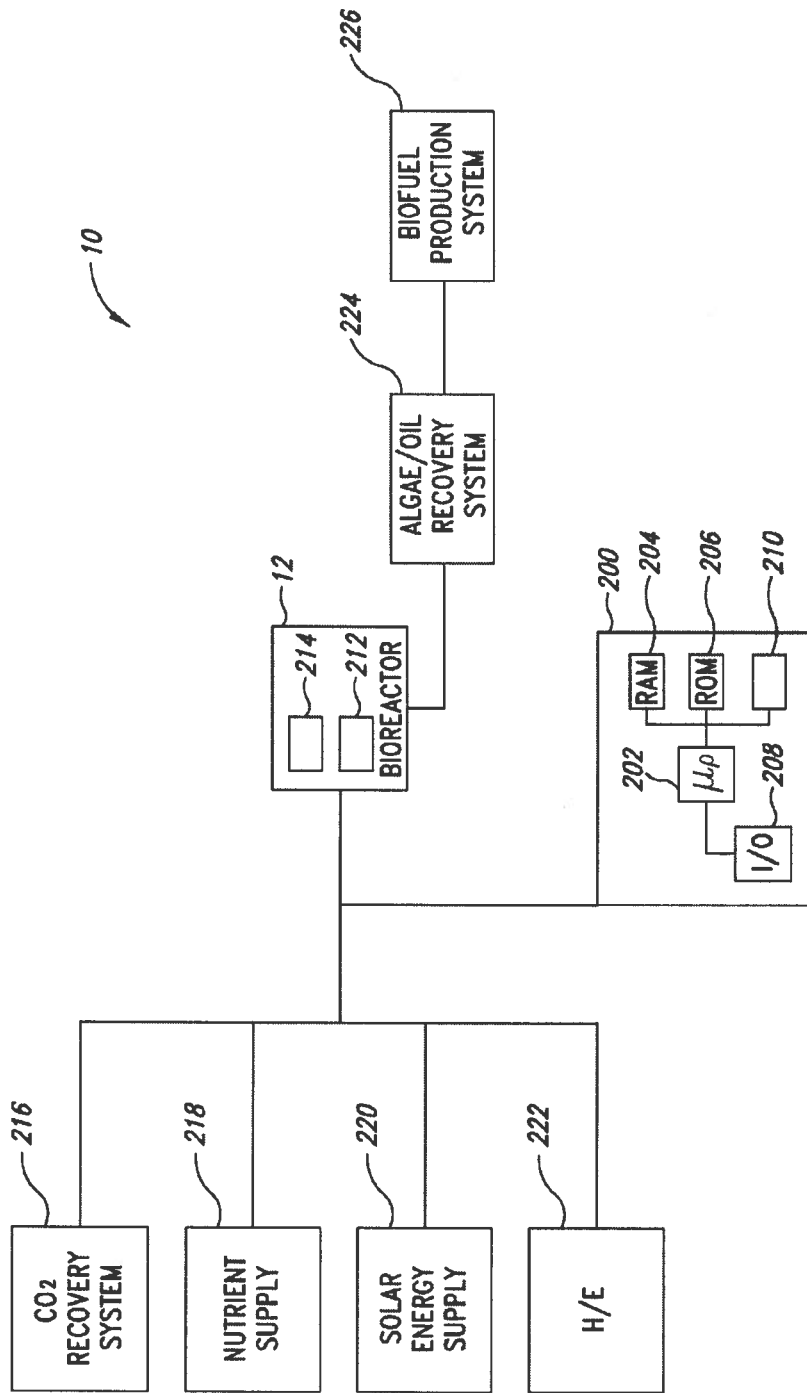


FIG. 1

PARTIE B – QUESTIONS À RÉPONSE COURTE

QUESTION 8 : [3 points]

a) Un brevet peut-il être jugé non valide sur le motif de l'absence d'unité de l'invention?

Citez la jurisprudence pertinente ou encore un ou plusieurs articles de la *Loi sur les brevets* ou des *Règles sur les brevets*. [1 point]

b) Quels sont le(s) critère(s) à satisfaire concernant l'unité de l'invention? Aucune jurisprudence ni aucun fondement juridique ne sont requis. [1 point]

c) Nommez deux catégories d'invention qui satisfont aux exigences relatives à l'unité de l'invention lorsqu'elles figurent toutes deux dans une même demande de brevet. Aucune jurisprudence ni aucun fondement juridique ne sont requis. [1 point]

QUESTION 9 : [3 points]

On vous a demandé de préparer une opinion concernant la validité du brevet canadien n° '123 (CA '123), lequel a été déposé le 1^{er} décembre 2012 et revendique la priorité d'une demande américaine déposée le 2 décembre 2011. Votre recherchiste en brevets n'a relevé qu'une demande PCT qui décrit le même objet que celui revendiqué dans le brevet CA '123. Vous remarquez que la demande PCT a été déposée le 1^{er} octobre 2012, qu'elle revendique la priorité d'une demande américaine déposée le 2 octobre 2011 et publiée le 4 avril 2013. De quels renseignements supplémentaires relatifs à la demande PCT auriez-vous besoin pour évaluer la validité du brevet CA '123 à l'égard de l'anticipation? Justifiez votre réponse. Citez le ou les articles pertinents de la *Loi sur les brevets* ou des *Règles sur les brevets*. [3 points]

QUESTION 10 : [3 points]

Votre client a composé une chanson qui guérit l'insomnie lorsqu'elle est jouée sur un nouveau type de guitare pliante. Il aimerait protéger la chanson, la guitare et la méthode utilisée pour jouer la chanson.

a) Quelle pourrait être la matière brevetable et la matière non brevetable? Justifiez votre réponse. Aucune jurisprudence ni aucun fondement juridique ne sont requis. [1,5 point]

b) Le client vous informe qu'il a produit une demande de brevet provisoire aux États-Unis le 9 avril 2013. Vous déposez des demandes de brevet pour le client au Canada, aux États-Unis et en Europe (OEB) le 9 avril 2014, chacune revendiquant la priorité de la demande de brevet provisoire aux États-Unis. Le client vous informe ensuite qu'il a, par inadvertance, mis l'invention revendiquée en vente le 7 avril 2013. En supposant que l'offre de vente constitue une divulgation au public, est-ce que des brevets valides peuvent être octroyés pour les demandes produites au Canada, aux États-Unis ou en Europe? Justifiez votre réponse. Aucune jurisprudence ni aucun fondement juridique ne sont requis. [1,5 point]

QUESTION 11 : [1,0 point]

Au Canada, à quel(s) moment(s) l'invention d'un client peut-elle être rendue publique sans en détruire la nouveauté? N'inscrivez que la ou les lettres dans votre réponse. Aucune jurisprudence ni aucun fondement juridique ne sont requis. La note totale ne sera accordée que si la réponse est exacte et complète.

- A) 18 mois avant le dépôt d'une demande de brevet canadien pour l'invention
- B) Après la publication d'une demande de brevet canadien pour l'invention
- C) Après l'octroi d'un brevet canadien pour l'invention
- D) Après le dépôt d'une demande de brevet canadien pour l'invention
- E) Entre la date de priorité et la date de dépôt d'une demande de brevet canadien pour l'invention, en supposant que la demande de priorité décrit correctement l'invention.

QUESTION 12 : [4 points]

Vous avez payé la taxe finale relativement à une demande de brevet canadien le jour exact où elle était due. Le jour suivant, votre client a communiqué avec vous pour vous demander d'ajouter des revendications plus générales à la demande. Comment devez-

vous procéder pour modifier cette demande? Citez le ou les articles pertinents de la *Loi sur les brevets* ou des *Règles sur les brevets*.

QUESTION 13 : [2 points]

Une demande PCT a été déposée le 1^{er} juin 2013, revendiquant la priorité d'une demande de brevet américain déposée le 6 juin 2012. En supposant que nous sommes le 4 janvier 2015 aujourd'hui, seriez-vous en mesure d'entrer dans la phase nationale a) aux États-Unis, b) au Canada, c) à l'Office européen des brevets ou d) à Taiwan? Présentez des raisons appuyant votre réponse. Aucune jurisprudence ni aucun fondement juridique ne sont requis.

QUESTION 14 : [2 points]

Est-il possible de limiter l'accès au dépôt de matières biologiques dont il est question dans le mémoire descriptif d'une demande de brevet canadien? Dans l'affirmative, comment et pour qui l'accès sera-t-il être limité? Citez le ou les articles pertinents de la *Loi sur les brevets* ou des *Règles sur les brevets*.

QUESTION 15 : [2 points]

Pour laquelle(lesquelles) des actions suivantes la taxe pour petites entités ne peut pas être appliquée à l'Office de la propriété intellectuelle du Canada? N'inscrivez que la ou les lettres dans votre réponse. Aucune jurisprudence ni aucun fondement juridique ne sont requis.

- A) dépôt d'une demande de brevet
- B) requête de devancement d'examen d'une demande
- C) réponse à une exigence visant une demande incomplète
- D) versement de la taxe finale
- E) demande de rétablissement d'une demande abandonnée
- F) demande de prolongation de délai
- G) versement des taxes périodiques

FIN DES QUESTIONS DE LA PARTIE B

FIN DE L'ÉPREUVE B