

ROYAUME DU MAROC

OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIETE (19)
INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE



المملكة المغربية

المكتب المغربي
للملكية الصناعية والتجارية

(12) FASCICULE DE BREVET

(11) N° de publication : **MA 32813 B1**
(51) Cl. internationale : **C12P 7/64; C11B 1/14;
C12M 1/04**
(43) Date de publication : **01.11.2011**

(21) N° Dépôt : **33868**
(22) Date de Dépôt : **20.05.2011**
(30) Données de Priorité : **23.10.2008 IT MI2008A 001873**
(86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT : **PCT/EP2009/007582 16.10.2009**
(71) Demandeur(s) : **ENI S.P.A., Piazzale E. Mattei 11-00144 Roma (IT)**
(72) Inventeur(s) : **BELLUSSI, Giuseppe ; RISPOLI, Giacomo ; BOSETTI, Aldo ; BIANCHI, Daniele**
(74) Mandataire : **CABINET AKSIMAN**

(54) Titre : **PROCEDE INTEGRE POUR LA PRODUCTION DE BIOCOMBUSTIBLE A PARTIR DE MICRO-ORGANISMES**
(57) Abrégé : La présente invention concerne la culture de micro-organismes hétérotrophes et phototrophes qui est intégrée pour la production de biocombustible pour des biocarburants, où la suspension algacée totale produite est dans un premier temps épaissie, avec recirculation de l'eau en excès dans les récipients de culture, et ensuite thermiquement traitée à température élevée. Après refroidissement, une phase de biocombustible est récupérée conjointement avec une suspension riche en glucides et protéines solubles qui forme une source nutritionnelle/énergétique pour des micro-organismes hétérotrophes.

Procédé intégré pour la production de biopétrole à partir de micro-organismes

Résumé

La culture de microorganismes phototrophes et hétérotrophes est intégrée pour la
5 production de biopétrole pour les biocombustibles, où la suspension algale entière
produite est d'abord épaissie, avec recirculation de l'eau d'excès dans les récipients
de culture, puis traitée thermiquement à une température élevée. Après
refroidissement, une phase de biopétrole est récupérée avec une suspension, riche
10 en glucides solubles et en protéines, qui forme une source énergétique/nutritionnelle
pour les microorganismes hétérotrophes.



Procédé intégré pour la production de biocombustible à partir de micro-organismes

32813 01 NOV 2011

La présente invention se rapporte à un procédé intégré pour la production de biopétrole à partir de micro-organismes, seuls ou en combinaison avec d'autres.

5 Plus particulièrement, la présente invention a trait à un procédé pour la production de biopétrole qui pourrait servir de biocarburant, à partir de biomasses d'origine microbienne obtenues par l'intégration d'une culture de micro-algues phototrophes avec celle de microorganismes hétérotrophes. Les biomasses peuvent également être obtenues suivant des schémas de culture où se combine l'utilisation

10 de diverses formes microbiennes de type autotrophe ou phototrophe, pour synthétiser la biomasse à l'aide du CO₂ et de la lumière solaire, et de type hétérotrophe, qui poussent en l'absence de la lumière, en utilisant les glucides en tant que source énergétique/nutritionnelle pour la production de biomasses.

Plus particulièrement encore, la présente invention concerne un procédé

15 intégré basé sur une méthode pour la culture de micro-algues, tant phototrophes qu'hétérotrophes, qui peuvent produire des biomasses, notamment en combinaison avec des micro-organismes, qui utilisent le CO₂ provenant des usines de combustion de manière générale et/ou des installations de décarbonisation des flux gazeux et l'eau générique tant douce que salée, en plus des nutriments basés sur le

20 phosphore, l'azote et les oligoéléments.

Des études ayant pour objet la culture de micro-algues sont connues. Voir par exemple W.J. Oswald, "Journal of applied phycology" (Journal de phycologie appliquée), n° 15, pp. 99-106, 2003. L'existence de différentes espèces de micro-algues capables de croître dans des environnements caractérisés par une forte

25 salinité, par exemple dans des environnements plus salés encore que la mer, est également connue. Généralement, on utilise pour la culture des micro-algues de l'eau douce ou salée à laquelle sont ajoutés des nutriments, des sels minéraux et, le cas échéant, des vitamines. Ces cultures sont alors réalisées dans des bioréacteurs et/ou des bassins de grande taille, qui mesurent par exemple 5 à 100 m de longueur

30 et 1 à 100 m de largeur, avec une profondeur qui varie entre 0,2 à 2m, éventuellement sous rayonnement solaire. Le dioxyde de carbone, stocké sous

forme liquide ou gazeuse, dans des bassins spécifiques ou récupéré des gaz d'échappement émanant du traitement industriel, par exemple des centrales électriques fonctionnant au méthane /charbon, des usines de décarbonisation de gaz naturel ou d'autres gaz combustibles (par exemple l'hydrogène), peut être dilué avec l'air et peut également alimenter les bassins conjointement avec l'eau. Pour que les micro-algues puissent disposer d'un maximum de CO_2 , la phase gazeuse bouillonne à travers la masse liquide au moyen des conduits perforés immergés dans le bassin de culture.

La culture des micro-algues nécessite quelques composants essentiels qui comprennent, outre une source énergétique/nutritionnelle, de la lumière et du CO_2 et/ou des glucides et des protéines, ainsi que, tel que déjà mentionné, des sels et des substances basées sur l'azote, le phosphore et des oligoéléments.

La biomasse obtenue à partir des micro-algues, cultivée de manière à maximiser leur teneur en lipide, convenablement extraite, peut être utilisée comme matière première de biopétrole destiné aux usines industrielles pour la production de biocarburants. Le biopétrole produit à partir des micro-algues présente ainsi l'avantage de ne pas entrer en compétition avec les cultures vivrières.

Les micro-algues autant phototrophes qu'hétérotrophes, seules ou combinées avec d'autres microorganismes, sont capables de se développer aussi bien dans l'eau douce que dans une eau caractérisée par une forte salinité, par exemple l'eau saumâtre ayant une concentration de sels supérieure à 5 g/litre. Dans les écosystèmes naturels, les micro-algues coexistent souvent avec d'autres microorganismes (d'autres algues et bactéries par exemple) avec lesquels elles développent des interactions qui augmentent la stabilité et la survie de l'ensemble.

Le terme "micro-algue", tel qu'il est employé dans la description et les revendications de la présente invention, réfère, même lorsque cela n'est pas spécifié, aux microorganismes végétaux et aux procaryotes phototrophes seuls ou combinés avec d'autres microorganismes naturels ou cultivés de manière spécifique, et qui contiennent les mêmes micro-algues.



La production de biopétrole à partir des micro-algues a des avantages par rapport aux cultures vivrières en ce sens qu'elle permet une plus grande production d'huile par hectare et par année. Les micro-algues destinées à la production de biocombustible peuvent être de type phototrophe qui utilisent la lumière solaire et le

5 CO_2 comme source d'énergie ou de type hétérotrophe qui utilisent une source de carbone tels que les glucides et/ou les protéines, en l'absence de lumière.

Un des inconvénients des micro-algues phototrophes est qu'elles se développent avec une faible densité. Vu que la suspension aqueuse devient plus opaque et par conséquent, moins transparente à la lumière et que la concentration

10 de la masse algale augmente, la croissance diminue au point d'arrêter, après un certain niveau de concentration. En plus, la nécessité de favoriser la pénétration de la lumière limite aussi la profondeur maximale des bassins à quelques dizaines de centimètres.

La faible concentration de la masse algale, par litre de suspension aqueuse et

15 le peu de profondeur des bassins impliquent l'utilisation de volumes considérables d'eau et de surfaces relativement importantes et, par conséquent, des coûts élevés et une importante consommation d'énergie pour la séparation et l'extraction du biopétrole ou, en d'autres termes, une productivité relativement faible en biopétrole.

Les micro-algues hétérotrophes, associés à d'autres micro-organismes

20 n'utilisent pas la lumière pour la production de la biomasse algale et, par conséquent, leur concentration dans le milieu aqueux n'est pas affectée par la pénétration limitée de la lumière dans le milieu de croissance. Puisqu'elles se développent dans l'obscurité, elles requièrent de ce fait une source d'énergie et de carbone pour compenser le manque de lumière et le CO_2 . Cette source est basée sur les glucides

25 et parfois sur les protéines, qui ne sont pas toujours faciles à acquérir à des prix compétitifs.

Le demandeur a mis au point un procédé pour la production de biopétrole à partir des masses algales, qui sera utilisé pour la production de biocarburants et qui peut combiner les avantages de la production de microorganisme autant

30 phototrophes qu'hétérotrophes et ainsi surmonter les inconvénients qui y sont associés. La présente invention est basée sur le principe selon lequel les micro-

algues phototrophes produisent une biomasse algale, au moyen de la lumière et du dioxyde de carbone, de cette biomasse, du biopétrole peut être séparé ainsi qu'une suspension aqueuse composée de polysaccharides et d'agrégats de protéines. Pour l'extraction du biopétrole, la biomasse subit généralement un traitement hydrothermique qui favorise la séparation de la phase huileuse et la transformation des polysaccharides et des agrégats de protéines en glucides et en protéines simples, qui peuvent être plus faciles à utiliser pour l'alimentation et la croissance de la biomasse extraite des micro-algues hétérotrophes, qui sont aussi producteurs de biopétrole.

10 Comme les micro-algues hétérotrophes peuvent atteindre des niveaux de concentration élevés dans l'eau de croissance, avec la présente invention, il est possible de produire du biopétrole à partir des micro-algues en utilisant une quantité d'eau beaucoup plus réduite que celle que l'on utiliserait pour la culture des micro-algues phototrophes seules. Un second avantage de la présente invention est qu'elle requiert une surface de culture moins importante par rapport à l'utilisation des micro-algues phototrophes seules, et avec la même production de biopétrole.

Un objet de la présente invention a trait par conséquent à un procédé intégré pour la production de biopétrole à partir de micro-organismes autant phototrophes qu'hétérotrophes, qui comprend:

20 a. La culture d'au moins une micro-algue phototrophe, éventuellement avec d'autres micro-organismes dans des bassins / récipients spécifiques contenant de l'eau et des nutriments ainsi qu'un dispositif adapté pour la distribution du dioxyde de carbone sous forme de microbulles dans la masse d'eau;

25 b. La culture d'au moins une micro-algue hétérotrophe, éventuellement avec d'autres micro-organismes dans des bassins/récipients spécifiques contenant de l'eau et des nutriments en présence de glucides et/ou de protéines transportés par une suspension issue du traitement hydrothermique d'une biomasse;

c. La récupération de la biomasse développée (au terme de la croissance), obtenue à partir des cultures phototrophes et hétérotrophes, avec son eau de

croissance, et l'épaississement de toute la suspension par la suite, jusqu'au moins 5% par poids, dans une section spécifique;

d. Le traitement thermique de la suspension épaissie, à une température comprise entre 80 et 350°C et à une pression comprise entre 0,1 et 25 MPa, pour une durée supérieure ou égale à 1 minute ;

e. La récupération, après refroidissement de la suspension épaissie par traitement thermique, d'une fraction du pétrole pour lui faire subir un traitement adapté pour la production de biocarburants, par exemple un traitement par hydrogénation et/ou transestérification; et

f. L'alimentation de la suspension aqueuse restante, riche en glucides solubles et en protéines assimilables par des micro-algues hétérotrophes, à l'étape (b).

Conformément à la présente invention, les microorganismes phototrophes et hétérotrophes sont cultivés dans des bassins/récipients de grande dimension, par exemple qui mesurent 5 à 100 m de longueur et 1 à 100 m de largeur, avec une profondeur supérieure à 0,2 m, préférablement comprise entre 0,5 et 10 m, qui sont maintenus sous rayonnement solaire, pour la croissance des micro-algues phototrophes, ou dans l'obscurité grâce à des couvertures appropriées pour la croissance des micro-algues hétérotrophes. Alternativement, les micro-algues hétérotrophes sont cultivées dans des récipients clos.

Dans le cas des micro-algues phototrophes, des photobioréacteurs peuvent aussi être employés. L'eau nécessaire à la croissance des deux types de micro-algues peut être douce ou salée, provenant de source naturelle ou artificielle, de traitements industriels par exemple.

Des exemples de micro-algues phototrophes peuvent être sélectionnés parmi ces espèces : tetraselmis, nannochloropsis, scenedesmus, ankistrodesmus, phaeodactylum, chlorella, amphipleura, amphora, chaetoceros, cyclotella, cymbella, fragilaria, navicula, nitzschia, achnantes, dunaliella, oscillatoria, porphiridium ou leur combinaison. Des exemples de micro-algues hétérotrophes peuvent être sélectionnés parmi ces espèces : chlorella, nannochloropsis, nitzschia, thraustochy-

trium ou leur combinaison, éventuellement avec des bactéries telles que des souches appartenant aux espèces des alpha-protéobactéries, des actinobactéries, des ac-tinobactéries, des firmicutes et des cytophage- flavobactéries.

L'eau salée peut être une eau de mer ou une eau saumâtre, naturelle ou
5 artificielle, avec une concentration saline comprise, par exemple, entre 5 et 350 g/litre. Un exemple d'eau saumâtre qui peut être utilisée dans le procédé, objet de la présente invention, est l'eau provenant des champs de production de pétrole.

Plus particulièrement, les champs de production de pétrole dans la région nord-africaine sont situés dans un contexte où le rayonnement solaire est très élevé,
10 dans des zones désertes qui ne se prêtent pas aux cultures vivrières, et qui ont une coproduction d'eau élevée dont le volume est maintes fois supérieur à celui de la production pétrolière en question.

Le cas échéant, il est possible de favoriser la croissance algale ou celle des algues avec d'autres microorganismes, en les alimentant de nutriments basés sur
15 des glucides, des protéines, de l'azote, du phosphore, des oligoéléments, etc., si ces nutriments ne se trouvent pas déjà dans l'eau. En général, des solutions de divers types de glucides servent à alimenter les algues tels que l'acétate, le glucose, la glycine, pour favoriser la croissance des algues hétérotrophes, auxquelles sont ajoutés des sels organiques et/inorganiques hydrosolubles tels que les sels
20 d'ammonium et les phosphates alcalins ou les sels des métaux alcalino-terreux tels que le sodium, le potassium, le calcium, le phosphate de magnésium. Finalement, dans le cas des micro-algues phototrophes, l'eau est alimenté d'un courant de dioxyde de carbone en tant que source de carbone, en plus des sels d'azote et de phosphore et des oligoéléments, à travers des distributeurs spécifiques qui sont
25 déposés au fond des bassins de culture ou qui sont insérés de façon adaptée dans les récipients de croissance (les photobioréacteurs).

Lorsque les microorganismes phototrophes ou hétérotrophes atteignent leur maturité, ils sont retirés des bassins /récipients de culture avec l'eau de croissance et envoyés à la phase d'épaississement. Pendant cette phase, la concentration de la
30 suspension algale est portée à des valeurs comprises entre 5 et 30% par poids, préférablement entre 18 et 25% par poids, au moyen de techniques telles la

sédimentation, la décantation, la floculation, la filtration, etc. L'excès d'eau est recyclé dans les bassins /récipients de croissance des micro-algues tant phototrophes qu'hétérotrophes, alors que la suspension concentrée subit un traitement hydrothermique pour la production du biopétrole et d'une solution aqueuse contenant les nutriments.

Le traitement thermique ou hydrothermique consiste à faire chauffer la suspension de la biomasse concentrée dans un récipient, sous pression, à une température comprise entre 80 et 350°C, préférablement entre 150 et 330°C. La pression est maintenue à de telles valeurs de façon à garder au moins une partie de l'eau dans un état liquide. La pression peut être maintenue, par exemple, entre 0,1 et 25 MPa, préférablement entre 0,5 et 18 MPa.

Etant donné que l'énergie thermique nécessaire au traitement thermique peut dériver de la combustion des vecteurs d'énergie traditionnels, par exemple le gaz méthane, le gaz de pétrole liquéfié, l'huile minérale, le charbon, etc., il n'est pas exclu que l'énergie thermique puisse dériver de l'énergie solaire et/ou du bassin solaire, surtout dans les zones désertes situées près des régions équatoriales.

Pendant la phase de traitement thermique ou hydrothermique, la rupture des membranes cellulaires et la séparation de la phase huileuse sont effectuées. De plus, les polysaccharides et la matière protéique sont partiellement converties en biopétrole alors que la partie restante est hydrolysée, ce qui donne lieu à du glucoside et à des fractions protéiques hydrosolubles qui sont facilement assimilables en tant que sources de nutrition par les micro-algues hétérotrophes et les microorganismes qui vivent avec elles. Par conséquent, au terme du traitement thermique, dont la durée est égale ou supérieure à 1 minute, par exemple de 0,5 à 2 heures, la biomasse résiduelle est refroidie à une température comprise entre 45 et 80°C et est conduite à une section de séparation/ récupération du biopétrole au moyen des techniques connues et des dispositifs de type séparateur statique.

La suspension aqueuse séparée est éventuellement refroidie à une température comprise entre la température ambiante et 50°C, puis elle est envoyée à la section de culture des microorganismes hétérotrophes.



Pendant le traitement thermique, une phase gazeuse est également formée et qui est égale à peu près à 10 à 25% par poids de la biomasse (selon la matière sèche) soumise au traitement thermique et qui consiste essentiellement en dioxyde de carbone, soit 80-90% par volume, et en des hydrocarbures C₁-C₃ pour les 10 à 5 20% restants. Cette phase gazeuse est préférablement séparée pendant la phase de récupération du biopétrole, et elle est utilisée en tant que source supplémentaire de dioxyde de carbone pour la croissance de micro-algues phototrophes, puis elle évolue grâce à son composant d'hydrocarbure vers un gaz combustible.

Au terme de la croissance des micro-algues hétérotrophes, éventuellement 10 avec d'autres microorganismes, ces derniers sont retirés des bassins /récipients de culture ainsi que l'eau de croissance, et tout le mélange est combiné à un flux issu de la culture des micro-algues phototrophes à épaissir.

Pour mieux comprendre la présente invention, il est fait référence au schéma de la figure ci-annexée et au tableau de quantification du procédé qui sont introduits 15 dans la description à titre illustratif et non pour restreindre les finalités de cette invention.

Selon le schéma annexé, A représente les bassins / récipients de culture des micro-algues phototrophes et B les bassins/récipients de culture des micro-algues hétérotrophes ; C représente une section d'épaississement de la suspension 20 comprenant la masse algale, produite aussi bien dans les récipients A et B, et la suspension aqueuse recyclée ;

D est un récipient pressurisé et E est un séparateur ; F1, F2 et F3 sont des sections d'échange de chaleur et G (en gras) est un générateur de chaleur.

Les bassins de culture A produisent une micro-algue phototrophe qui croît par 25 exemple dans l'eau de mer. L'eau d'appoint, le CO₂ et les nutriments, par exemple l'ammonium soluble et les sels de phosphore, atteignent ces bassins à travers les lignes (1), (2) et (3) respectivement.

De la même façon, les récipients B produisent une micro-algue hétérotrophe qui croît également dans l'eau de mer. Une suspension aqueuse, riche en glucides



et/ou en protéines hydrosolubles, un résidu du traitement hydrothermique dans le récipient D, parviennent aux récipients B à travers la ligne 4.

Lorsque les micro-algues autant phototrophes qu'hétérotrophes atteignent leur maturité, elles sont collectées en vidant complètement ou une partie des récipients de culture respectifs, puis elles sont envoyées, à travers les lignes (5) et (6), à une zone d'épaississement C où elles sont concentrées pour former une suspension, soit 5 de 20% par poids. L'excès d'eau est envoyé au recyclage dans les récipients A et B à travers les lignes (7) et (8) respectivement.

La suspension épaissie (9) est préchauffée dans F1, éventuellement portée à 10 température dans G, puis conduite dans le récipient pressurisé D à travers la ligne (10). Dans D, la suspension subit des conditions de température et de pression et un temps de séjour qui permet d'obtenir du biopétrole, ce qui permet de transformer ce dernier en biocarburant et de produire une phase aqueuse optimale qui sera utilisée par la suite comme source nutritionnelle/énergétique pour la croissance des 15 microorganismes hétérotrophes. Durant le traitement thermique, une phase gazeuse (14), consistant essentiellement en CO₂ et en hydrocarbures gazeux C₁-C₃, est produite et elle peut être recyclée au niveau du système ou envoyée aux sections de traitement.

Pour cette raison, la masse algale résiduelle dégradée est retirée du récipient 20 D à travers la ligne (11), et tout le mélange (la masse résiduelle + l'eau de la suspension) est refroidi dans F1, puis dans F2. Le biopétrole est alors récupéré dans le séparateur E et peut être envoyé au moyen de la ligne (12) pour subir les phases de traitement suivantes, soit l'hydrogénation et/ou l'estérification (non illustrée dans la figure), où la suspension aqueuse résiduelle, riche en glucides hydrosolubles et en 25 protéines, est nourrie, éventuellement après refroidissement dans F3 à travers la ligne (4), dans les récipients de culture B des micro-algues hétérotrophes.

Puisque le cycle de production est sujet à une accumulation possible de sels et de substances organiques, une purge (13) peut être envisagée qui permet de maintenir les niveaux de ces produits dans les limites imposées par le management 30 de l'usine chargé de la production.

Toujours à titre illustratif et non pour restreindre les finalités de cette invention, un exemple applicatif est présenté ci-dessous.

Exemple

Des bassins de culture contenant l'eau de mer sont utilisés, avec une surface
5 totale, pour les micro-algues phototrophes, avoisinant les 377 hectares et 30 cm de
profondeur.

La micro-algue phototrophe est de l'espèce *Nannochloropsis*.

Des bassins de culture contenant l'eau de mer sont utilisés, avec une surface
10 totale, pour les micro-algues hétérotrophes, d'environ 8 hectares et 1 m de
profondeur.

La micro-algue hétérotrophe est une souche hétérotrophe qui appartient à
l'espèce des *Nannochloropsis*.

Les produits suivants sont mis dans le au bassin A sous certaines conditions :

(1) eau d'appoint: 1,500 t/h (pour compenser l'eau perdue dans la purge et par
15 évaporation) ;

(2) CO₂: 8,5 t/h;

(3) nitrate de sodium et phosphate de sodium pour maintenir une concentration de
200 et 20 ppm, respectivement;

(7) eau recyclée.

20 Lorsque la micro-algue phototrophe a atteint sa maturité, 9,450 t/h (6)
approximativement de la suspension à 0,05% par poids de micro-algues dans l'eau,
alimentées à la zone d'épaississement (décantation) C, sont retirés des bassins A.
Le courant (5), provenant des récipients de culture B de la micro-algue hétérotrophe
et consistant en 500 t/h d'une suspension à 0,5% par poids de microorganismes
25 hétérotrophes, atteint la même zone d'épaississement.

Quelque 20% par poids sont épaissis dans C. 36 t/h de la suspension aqueuse à 20% à peu près par poids sont continuellement retirés (9) de cette zone, préchauffés dans F1 à 150°C, portés à 300°C et à 12 MPa dans G, alimentés à D et maintenus dans ces conditions pendant 1 heure.

5 L'eau retirée de l'épaississement est respectivement recyclée dans A, 9170 t/h au moyen de (7), après une purge égale à 260 t/h pour maintenir constante la salinité, et dans B, 470 t/h à travers (8).

10 La biomasse thermiquement traitée dans D est refroidie dans F1 et F2 et elle est transportée vers le séparateur E. 2,5 t/h du biopétrole (12) sont récupérés avec 1,5 t/h de gaz et 32 t/h d'une suspension aqueuse (4) alimentée dans les récipients clos B des micro-algues hétérotrophes, après sa dilution avec le courant (8).

15 L'utilisation du schéma, objet de la présente invention, permettra d'atteindre une productivité spécifique d'à peu près 20 000 tonnes par année de biopétrole, sur une superficie totale de 385 hectares et avec un volume d'eau d'appoint équivalent à environ 12.000.000 tonnes par an.

Pour la même production de biopétrole utilisant la technologie basée sur les microorganismes phototrophes seuls, des bassins de culture de 755 hectares et de 24.000.000 tonnes par an d'eau d'appoint seraient nécessaires.



Revendications

1. Un procédé intégré pour la production de biopétrole à partir de microorganismes tant phototrophes qu'hétérotrophes qui comprend ce qui suit:
 - 5 a. La croissance d'au moins une micro-algue phototrophe dans des bassins/ récipients appropriés contenant de l'eau et des nutriments ainsi qu'un dispositif adapté destiné à distribuer le dioxyde de carbone dans la masse d'eau;
 - b. La croissance d'au moins une micro-algue hétérotrophe, éventuellement avec d'autres microorganismes dans des bassins/ récipients appropriés contenant de l'eau et des nutriments avec des glucides et/ou des protéines transportés par une
10 suspension issue d'un traitement hydrothermique d'une biomasse;
 - c. La récupération de la biomasse développée tant phototrophe qu'hétérotrophe avec son eau de croissance et l'épaississement de la suspension entière ainsi obtenue, au moins jusqu'à 5% par poids dans la section appropriée;
 - d. Le traitement thermique de la suspension épaissie, à une température comprise
15 entre 80 et 350°C et à une pression comprise entre 0,1 et 25 MPa, pour une durée supérieure ou égale à 1 minute;
 - e. La récupération, après refroidissement de la suspension épaissie thermiquement, d'une fraction du biopétrole prête à être transformée en biocombustible; et
 - f. L'alimentation de la suspension aqueuse obtenue, riche en glucides et en
20 protéines, assimilable par les micro-algues hétérotrophes à la phase (b).
2. Un procédé selon la revendication 1, où l'eau de croissance des micro-algues phototrophe et hétérotrophe est l'eau douce ou salée, d'origine naturelle ou artificielle.
3. Un procédé selon la revendication 2, où l'eau de croissance est une eau saumâtre
25 avec une concentration de sels comprise entre 5 et 350 g/litre.
4. Un procédé selon la revendication 3, où l'eau de croissance est une eau de mer ou une eau saumâtre associée aux puits de production du gaz/ pétrole naturels.



5. Un procédé selon une quelconque des revendications précédentes, où la suspension algale est épaissie à des valeurs situées entre 5 et 30 % par poids, préférablement comprises entre 18 et 25% par poids.
6. Un procédé selon une quelconque des revendications précédentes, où l'excès d'eau issu de la section d'épaississement est recyclé dans les bassins/ récipients des micro-algues tant phototrophes qu'hétérotrophes.
7. Un procédé selon une quelconque des revendications précédentes, où le traitement thermique est réalisé à une température comprise entre 150 et 330°C, à une pression comprise entre 0,5 et 18 MPa et pendant 1 demi-heure à 2 heures.
- 10 8. Un procédé selon une quelconque des revendications précédentes, où l'énergie thermique requise pour le traitement thermique est dérivée de l'énergie solaire et/ou du « bassin solaire ».



Fig. 1

