

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication : **3 045 593**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **15 62623**

⑤1 Int Cl⁸ : **C 02 F 9/14 (2017.01), C 02 F 3/34, 1/32**

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 17.12.15.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 23.06.17 Bulletin 17/25.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : **HELIO PUR TECHNOLOGIES**
Société par actions simplifiée — FR.

⑦2 Inventeur(s) : **SOHIER LAURENT.**

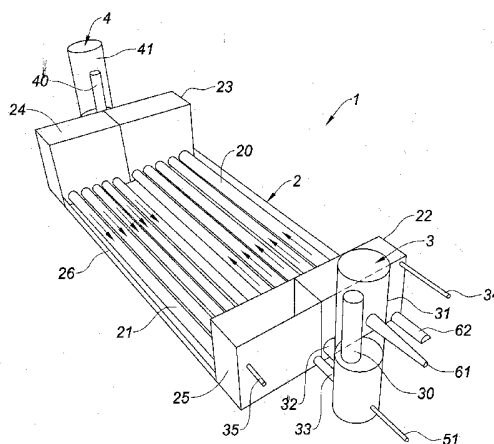
⑦3 Titulaire(s) : **HELIO PUR TECHNOLOGIES** Société par actions simplifiée.

⑦4 Mandataire(s) : **CABINET GERMAIN & MAUREAU.**

⑤4 **PROCEDE DE PURIFICATION BIO-SOLAIRE D'EAUX USEES EN VUE DU RECYCLAGE DES EAUX.**

⑤7 Procédé de purification bio-solaire d'eaux usées en vue d'en réduire la teneur en matières organiques particulières, en composés métalliques minéraux et organométalliques dissous, en contaminants microbiens et en composés organiques dissous à effet eutrophisant, pour le recyclage des eaux purifiés et des nutriments récupérés à l'issue du procédé sous la forme d'une biomasse réutilisable, avec les étapes suivantes :

- alimentation en eaux usées à l'entrée d'un réacteur (2) comportant une pluralité de tubes (20, 21) transparents;
- introduction dans le réacteur d'un mélange de culture multispécifiques;
- mise en circulation des eaux;
- en phase diurne, injection d'air enrichi en dioxyde de carbone gazeux, exposition à un rayonnement solaire pour un traitement par photosynthèse, biofixation, photodégradation et photodésinfection, et évacuation régulée de l'oxygène gazeux;
- en phase nocturne, traitement par dégradation hétérotrophe et minéralisation;
- évacuation en sortie du réacteur des eaux purifiés et de la biomasse produite.



FR 3 045 593 - A1



La présente invention se rapporte à un procédé de purification bio-solaire d'eaux usées pour le recyclage des eaux purifiées par le procédé et le recyclage des nutriments présents dans les eaux usées et récupérés à l'issue du procédé sous la forme d'une biomasse réutilisable.

5 Elle se rapporte plus particulièrement à un procédé de purification bio-solaire d'eaux usées en vue d'en réduire la teneur en matières organiques particulières et dissoutes (matières et composés organiques et micropolluants émergents tels que des pesticides et des substances médicamenteuses), en composés métalliques minéraux et organométalliques dissous, en
10 contaminants microbiens (coliformes, microflores fécales ou pathogènes) et en composés organiques dissous à effet eutrophisant (CO_2 , NH_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4 , SO_4 , K, ...).

L'invention se situe dans le domaine de la purification par voie solaire et biologique des eaux usées, notamment des eaux usées d'origine
15 agricole, industrielle ou domestique, en vue du recyclage ou de la réutilisation des eaux purifiées par l'abaissement de la teneur voire l'élimination des composés dissous, des contaminants microbiens et des matières organiques particulières, et également en vue d'une récupération des nutriments minéraux dissous issus des matières organiques (CO_2 , N_2O , NH_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4 , SO_4 ,
20 ...) présents dans les eaux usées et récupérés à l'issue de la purification sous la forme d'une biomasse en vue de leur valorisation.

De manière classique, les eaux usées font l'objet de traitements dits primaire et secondaire pour traiter, et donc éliminer, les matières - organiques ou minérales - solides, particulières ou en suspension présentes
25 dans les eaux usées, avant d'être rejetées dans les milieux naturels aquatiques superficiels.

De tels traitements primaire et secondaire sont classiquement réalisés dans des unités dites de traitement primaire et secondaire, notamment du type station d'épuration biologique d'effluents domestiques ou du type
30 station de traitement physico-chimique d'effluents domestiques, industriels ou agricoles intégrant une ou plusieurs précipitations et/ou décantations des matières en suspension.

Cependant, ces traitements primaire et secondaire ne permettent pas d'éliminer toutes les matières organiques particulières, les métaux et les
35 composés non-biodégradables, et surtout n'éliminent pas les contaminants microbiens de type microflore fécale ou pathogène. C'est la raison pour

laquelle les eaux issues de ces traitements primaire et secondaire sont ensuite rejetées dans les milieux aquatiques naturels et non réutilisées ou recyclées car impropres à des usages comme l'irrigation, l'arrosage d'espaces verts ou le rechargement de nappes phréatiques.

5 Le procédé de purification bio-solaire conforme à l'invention est quant à lui prévu pour le traitement, et donc l'élimination, des matières organiques particulières, des composés dissous et des contaminants microbiens contenus dans des eaux usées, après un pré-traitement destiné à éliminer les matières organiques en excès dans les eaux usées, dans le but
10 d'obtenir, à l'issue du procédé de purification bio-solaire, des eaux purifiés conformes aux normes et réglementations pour des usages comme l'irrigation, l'arrosage d'espaces agricoles ou d'espaces verts ou le rechargement de nappes phréatiques.

De manière connue, les activités humaines - domestiques,
15 industrielles et agricoles - génèrent et rejettent dans les milieux aquatiques superficiels et souterrains de grandes quantités de :

- substances organiques ou minérales, solides, particulières ou dissoutes, biodégradables ou non, qui s'accumulent dans les milieux aquatiques sous des formes de composés dissous, ou des formes solides et particulières ;
- 20 - contaminants microbiens du type microorganisme ou microflore issus des activités humaines domestiques, industrielles ou agricoles.

Ces composés dissous, ces substances solides et particulières et ces contaminants microbiens sont considérés, lorsque présents dans des eaux, comme dangereux pour l'homme et l'environnement. En effet :

- 25 - les matières organiques particulières, les composés organiques dissous et les composés minéraux dissous, tels les nutriments, sont notamment à l'origine de l'eutrophisation des milieux aquatiques, de marées vertes, de l'acidification des océans et de la disparition de coraux, de l'accumulation de pesticides, de métaux, et de substances médicamenteuses dans les milieux aquatiques
30 superficiels et souterrains, de tels phénomènes s'aggravant par l'évaporation en saison sèche ; et
- les contaminants microbiens peuvent contenir des espèces dangereuses pour l'homme, les animaux ou les plantes, et peuvent également modifier chimiquement et biologiquement la biodiversité naturelle des
35 écosystèmes aquatiques avec des conséquences sur les chaînes alimentaires naturelles.

Dans le domaine du traitement des eaux usées, les systèmes de traitement à grande échelle sont essentiellement des systèmes ouverts à l'air libre orientés vers le traitement des substances organiques et minérales, solides et particulaires, avec pour objectif d'obtenir des eaux claires débarrassées des matières en suspension.

Les matières organiques particulaires résiduelles, les composés dissous et les microorganismes issus des activités humaines sont éventuellement traités par des traitements dits tertiaires quand il s'agit de réutiliser l'eau ou de baisser la concentration de certaines substances considérées comme dangereuses pour l'homme ou pour l'environnement et soumises à des limites de rejet par les réglementations et normes environnementales.

Dans les milieux aquatiques naturels superficiels, l'élimination des matières organiques particulaires résiduelles, des composés dissous et des contaminants microbiens est régie essentiellement par cinq phénomènes solaires et biologiques, hormis le cycle évaporation / précipitation qui n'élimine pas les composés mais les concentre, à savoir :

- la photosynthèse, un phénomène d'incorporation dans une biomasse des éléments constitutifs de la matière vivante, présents dans l'eau sous une forme minérale dissoute (CO_2 , NO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4 , SO_4) tout en produisant de l'oxygène sous forme gazeuse O_2 peu soluble dans l'eau ;
- la biofixation, un phénomène de récupération des éléments métalliques dissous dans l'eau sous forme minérale ou organique par les microorganismes photosynthétiques ;
- la photodégradation oxydative, phénomène de dégradation des molécules organiques dissoutes, y compris les molécules peu ou pas biodégradables, par l'action conjuguée du rayonnement solaire, et en particulier du rayonnement UV, et de l'oxygène dissous ;
- la photodésinfection oxydative, phénomène d'élimination des microorganismes issus des microflore associées à l'homme, aux animaux ou aux plantes et vivant habituellement dans des biotopes peu oxygénés et à l'abri du soleil, par l'action conjuguée du rayonnement solaire, et en particulier du rayonnement UV, et de l'oxygène dissous ; et
- la dégradation hétérotrophe et la minéralisation qui transforme les matières organiques particulaires et les composés organiques dissous biodégradables en composés inorganiques dissous.

Pour procéder au traitement des matières organiques particulières, des composés dissous et des contaminants microbiens, il est connu de mettre en place un traitement mettant en œuvre des organismes photosynthétiques :

- soit selon une pratique extensive en milieu ouvert, avec un traitement réalisé dans un bassin ouvert (lagunage) ou sur un sol filtrant planté (phyto-rémediation) ;
- soit selon une pratique intensive en système clos (épuration photobiotique au sein d'un réacteur clos soumis à un rayonnement solaire ou artificiel).

Dans le traitement en bassin ouvert (lagune, bassin ou cuve), les eaux usées sont traitées par l'action du soleil et des organismes photosynthétiques qui dégradent les substances particulières et assimilent les composés dissous. Cependant, ce traitement permet une action limitée du soleil et des microorganismes photosynthétiques du fait de la profondeur, de la turbidité, de la faible pénétration du rayonnement solaire et de la faible dissolution de l'oxygène gazeux dans les eaux superficielles. Ce traitement nécessite de laisser les eaux exposées au soleil pendant plusieurs jours, avec des surfaces conséquentes pour traiter de grandes quantités d'eaux usées.

De plus, en période d'ensoleillement ou en saison sèche le traitement en bassin ouvert pendant plusieurs jours favorise l'évaporation et donc la perte d'eau, et diminue considérablement les rendements dans le cas d'une réutilisation ou d'un recyclage des eaux ainsi traitées.

Dans le traitement sur sol filtrant, les eaux usées sont envoyées sur des sols plantés de végétaux supérieurs, de sorte que le sol filtre les polluants solides et particuliers tandis que les racines des végétaux pompent les composés dissous. Ce traitement par phyto-rémediation présente de nombreux inconvénients, dont les principaux sont une efficacité limitée du sol naturel et une sensibilité aux conditions climatiques, une absence de récupération des polluants qui s'accumulent dans le sol ou les plantes, une absence de recyclage des eaux en saison sèche, et enfin un phénomène de lixiviation en saison humide.

De manière générale, les traitements en bassin ouvert ou sur sol filtrant sont sensibles aux recontaminations microbiennes par les animaux (poissons, oiseaux, mammifères) qui colonisent ces milieux comme des milieux naturels. Il s'ensuit la nécessité de retraiter ensuite les eaux ainsi traitées pour pouvoir les réutiliser sans risques sanitaires. De plus ces systèmes extensifs

ouverts ne permettent pas de récupérer et recycler une grande partie des nutriments qui sont éliminés sous forme de gaz à effet de serre.

Dans le traitement en système clos, et en particulier dans un photobioréacteur tubulaire, il est connu de recourir à des microorganismes photosynthétiques (en particulier des microalgues) sélectionnées pour traiter des polluants dissous tels les nutriments (NH_4 , NO_3 , PO_4 , ...) qui sont intégrés dans une biomasse séparée ensuite de l'eau.

A cet effet, il est connu du document US 8 101 080 B2, de recourir à un procédé de traitement des eaux usées, impliquant l'utilisation de cultures externes de microalgues ajoutées aux eaux usées au sein d'un photobioréacteur. Les microalgues font ainsi l'objet d'une culture préalable puis, quand une quantité suffisante de microalgues est produite, celles-ci sont introduites dans le photobioréacteur pour les mettre en contact des eaux polluées contenant des nutriments dissous. Ce mélange passe dans le photobioréacteur une seule fois, pour un contact assez court, avant de séparer l'eau des microalgues qui sont ensuite récupérées en aval du photobioréacteur pour être réintroduites en amont du photobioréacteur.

Un tel procédé présente le premier inconvénient d'exploiter uniquement les capacités photosynthétiques des microalgues sélectionnées, autrement dit leurs capacités à fixer certains polluants, sans exploiter les capacités de développement des microalgues et de production d'oxygène. Ainsi, ce système s'applique en priorité au traitement des nutriments du type CO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4 , SO_4 , avant rejet dans les milieux aquatiques naturels et ne permet en aucun cas de réutiliser ou recycler les eaux à l'issue du traitement.

Un second inconvénient tient aux temps très courts de résidence et d'exposition au soleil ou à une lumière artificielle, avec des concentrations cellulaires importantes, ce qui minimise les autres effets solaires. En effet, l'introduction de grandes quantités de biomasse (les microalgues) dans le photobioréacteur rend très difficile la pénétration des rayons lumineux, du fait d'une forte densité et d'une forte turbidité, avec pour impact négatif de diminuer les effets de traitement par le soleil et l'oxygène de certains composés non biodégradables ou de microorganismes pathogènes.

Un troisième inconvénient vient de l'utilisation de microalgues cultivées et sélectionnées, ce qui nécessite un travail laborieux de laboratoire

difficilement applicable et extrapolable pour des applications à grandes échelles.

Un quatrième inconvénient est que ce procédé nécessite d'employer un réacteur constitué de tubes de faible diamètre, en matériau rigide, limitant ainsi l'exploitation d'un tel procédé au traitement de faibles quantités d'eau, en particulier dans des conditions de laboratoire, avec l'impossibilité d'extrapoler le système pour des gros volumes d'eau compatibles avec les besoins des collectivités, industries, et exploitations agricoles.

Un cinquième inconvénient tient à l'extraction en continu et à la réinjection des microalgues en amont du photobioréacteur, ce qui détruit de nombreux individus et qui augmente les concentrations en composés dissous organiques, nécessitant ainsi des traitements supplémentaires sur l'eau avant rejet en particulier pour la désinfection des eaux.

Un sixième inconvénient tient à la présence de coudes dans les réacteurs en tubes rigides de faible diamètre. Ces coudes favorisent l'encrassement et le dépôt des microalgues sur la face interne des tubes. Cet encrassement rapide est très difficile à éliminer dans des tubes de faible diamètre et nécessite de mettre en œuvre des arrêts réguliers de l'exploitation pour un nettoyage complet de l'installation.

Un septième inconvénient tient au fait que la biomasse produite est systématiquement réutilisée pour réensemencer les eaux usées introduites dans le réacteur. Il s'ensuit que les nutriments captés par cette biomasse ne peuvent être recyclés et valorisés sous la forme de biomasse ou alors en faible part.

Le procédé du document US 8 101 080 B2 n'est donc pas applicable à grande échelle, tant techniquement qu'économiquement, sans compter qu'il est certes adapté au traitement avant rejet des nutriments dissous, mais pas adapté au traitement des métaux, des xénobiotiques et des microorganismes contaminants. De plus, le procédé divulgué dans ce document US 8 101 080 B2 n'est pas applicable à la réutilisation ou au recyclage des eaux usées et des nutriments, du fait qu'il n'élimine pas les contaminants microbiens de type microflore fécale ou coliformes.

La présente invention a pour but de résoudre en tout ou partie les inconvénients ci-dessus, en proposant un procédé de purification bio-solaire d'eaux usées, pour traiter à la fois les matières organiques particulières, les composés dissous (comme les nutriments, , les composés organiques dissous,

des composés métalliques minéraux et organométalliques et les xénobiotiques) et les contaminants microbiens (coliformes, microflore fécales ou pathogènes), et qui exploite de préférence un réacteur solaire qui est adapté techniquement et économiquement au traitement et au recyclage de gros volumes d'eaux usées.

Un autre but de l'invention est de fournir un procédé dans lequel le développement de microorganismes photosynthétiques nécessaires au traitement des eaux usées est favorisé par l'exposition au rayonnement solaire, et en particulier du rayonnement UV, entraînant :

- 10 - la production d'une biomasse microalgale entièrement récupérable et valorisable ;
- la consommation des nutriments dissous présents dans les eaux usées pendant la purification ;
- la biofixation des composés métalliques dans la biomasse ;
- 15 - la production d'oxygène qui, associée au rayonnement solaire, favorise, en phase diurne, la dégradation photoxydative des composés non biodégradables (pesticides, médicaments) et la photodésinfection ou photodestruction des contaminants microbiens tels que les microorganismes d'origine fécale et pathogènes ;
- 20 - la dégradation et la minéralisation des matières organiques particulières et des composés organiques biodégradables par des bactéries organotrophes aérobies.

A cet effet, la présente invention propose un procédé de purification bio-solaire d'eaux usées en vue d'en réduire la teneur en matières organiques particulières, en composés métalliques minéraux et organométalliques dissous, en contaminants microbiens et en composés organiques dissous à effet eutrophisant, ledit procédé étant mis en œuvre pour le recyclage des eaux purifiés par le procédé et le recyclage des nutriments présents dans les eaux usés et récupérés à l'issue du procédé sous la forme d'une biomasse réutilisable, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- alimentation en eaux usées à l'entrée d'un réacteur fermé comportant une pluralité de tubes transparents ;
- introduction dans le réacteur d'un mélange de culture multispécifiques comprenant une multiplicité d'espèces parmi lesquelles différentes espèces de microorganismes photosynthétiques incluant des algues microscopiques et des

bactéries photosynthétiques, et différentes espèces de bactéries organotrophes aérobies ;

- mise en circulation des eaux usées dans le réacteur ;

- en phase diurne :

5 - injection d'air enrichi en dioxyde de carbone gazeux dans les eaux usées ;

- exposition à un rayonnement solaire des eaux usées dans le réacteur, et traitement des matières organiques particulaires, des composés métalliques minéraux et organométalliques dissous, des
10 composés organiques dissous et des contaminants microbiens par l'action combinée du rayonnement solaire, des microorganismes photosynthétiques et de l'oxygène produit par photosynthèse ; et

- évacuation de l'oxygène gazeux produit par photosynthèse dans le réacteur pour un maintien du taux d'oxygène à l'intérieur du réacteur
15 dans une plage prédéfinie ;

- en phase nocturne, dégradation et minéralisation des matières organiques particulaires et des composés organiques dissous par l'action des bactéries organotrophes aérobies ;

- évacuation en sortie du réacteur des eaux purifiés et de la biomasse
20 produite à partir de nutriments issus de la photodégradation de la matière organique présente dans le réacteur.

Ainsi, ce procédé permet de réaliser un traitement à la fois des matières organiques particulaires, des composés dissous (comme les nutriments, les composés organiques dissous, des composés métalliques
25 minéraux et organométalliques et les xénobiotiques) et des contaminants microbiens (coliformes, microflore fécales ou pathogènes), en mettant en œuvre de manière intensive les phénomènes naturels observés dans les milieux aquatiques superficiels (photosynthèse, biofixation, photodégradation oxydative et photodésinfection oxydative en phase diurne, et dégradation
30 hétérotrophe et minéralisation en phase diurne et nocturne), tout en évitant les pertes d'eau par évaporation, grâce à :

- une exposition au soleil des eaux usées dans le réacteur tubulaire transparent (autrement appelé récepteur solaire), pour la mise en œuvre des cinq phénomènes naturels susmentionnés avec le développement d'une
35 microflore photosynthétique maintenue en développement optimal dans les eaux usées circulant dans le réacteur (sans apport répété de microorganismes

- ou de microalgues externes), ces microorganismes photosynthétiques étant apportés une seule fois, dans le mélange de culture multispécifiques, au démarrage initial du réacteur, puis ces microorganismes photosynthétiques se développant ensuite de façon optimale par l'apport en continu de nutriments
- 5 avec les eaux usées et l'air enrichi en CO_2 ;
- une alimentation permettant de remplir le réacteur et de maintenir ensuite un apport continu ou séquentiel en phase diurne des eaux usées, avec éventuellement une interruption de l'alimentation en phase nocturne, le débit d'entrée en phase diurne déterminant le taux de dilution des eaux ainsi que le
 - 10 temps de résidence des eaux usées dans le réacteur ;
 - une circulation contrôlée des eaux usées dans le réacteur optimisant l'exposition des eaux à traiter au soleil et aux effets du rayonnement solaire en phase diurne et favorisant une aération des eaux en phase nocturne ;
 - une injection d'air enrichi en CO_2 favorisant le développement préférentiel de
 - 15 microflore photosynthétiques dans les eaux usées, tout en limitant le développement des microflore hétérotrophes en phase diurne ;
 - une évacuation des gaz riches en O_2 produits par la photosynthèse s'accumulant dans le réacteur tubulaire en phase diurne ;
 - une évacuation des eaux purifiés, cette évacuation se faisant en continue ou
 - 20 en séquentielle en phase diurne, et éventuellement au même débit que l'alimentation en entrée du réacteur, avec éventuellement une interruption de l'évacuation en phase nocturne ; et
 - une évacuation de la biomasse microalgale, de préférence en phase diurne, qui renferme les composés dissous dégradés et/ou métabolisés ainsi que les
 - 25 contaminants microbiens tués par l'action combinée du soleil et de l'oxygène dissous.

Ainsi, ce procédé se situe dans le domaine technique du traitement avancé, rapide et intensif des eaux usées, et en particulier de l'élimination des composés dissous et contaminants microbiens non traités par les techniques

30 conventionnelles d'épuration.

Ce procédé s'applique à la réutilisation ou au recyclage des eaux usées car, une fois retirés les composés dissous et les microorganismes dangereux, l'eau obtenue est d'une qualité chimique et sanitaire compatible avec une utilisation en irrigation agricole, en arrosage d'espaces agricoles et

35 espaces verts, en rechargement de nappes phréatiques, en nettoyage urbain,

en réseau incendie ainsi qu'en eau pour les sanitaires et les nettoyages de sols domestiques.

L'objet du présent procédé est de purifier les eaux usées afin que celles-ci soit recyclées ou réutilisées de manière multiple, et notamment dans l'agriculture. L'agriculture est, de loin, l'activité humaine ayant la plus grande consommation d'eau, l'irrigation des régions agricoles représentant environ 70% de l'eau utilisée dans le monde entier. Un recyclage des eaux usées, d'origine agricole, industrielle ou domestique, devient aujourd'hui incontournable face aux pénuries d'eaux largement observées. Le procédé conforme à l'invention se propose comme une solution peu coûteuse, applicable en particulier mais pas uniquement dans des régions du monde confrontées à une raréfaction des sources d'eaux, qui permet de réutiliser l'eau, non pas à des fins de distribution sur un réseau d'eau potable, mais à des fins essentiellement agricoles, voire pour des arrosage d'espaces verts, en rechargement de nappes phréatiques, etc.

En France, la réglementation définit quatre catégories d'usage des eaux usées traitées (Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts), Les quatre catégories de qualité sanitaire des eaux usées traitées (A, B, C et D) sont définis dans le tableau comme suit :

PARAMÈTRES	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Matières en suspension (mg/L)	< 15	Conforme à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'irrigation		
Demande chimique en oxygène (mg/L)	< 60			
Escherichia coli (UFC/100mL)	≤ 250	≤ 10 000	≤ 100 000	-
Entérocoques fécaux (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Phages ARN F-spécifiques (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2

Dans ce tableau, les eaux usées traitées sont classées dans le niveau de qualité qui correspond au classement du paramètre le plus défavorable, et les abattements sont mesurés entre les eaux brutes (ou usées), en entrée de la station de traitement des eaux usées, et les eaux usées traitées

(ou eaux purifiées), en sortie de la station de traitement des eaux usées ou de la filière de traitement complémentaire, le cas échéant.

La catégorie dont les normes associées sont les plus exigeantes (catégorie A) vise l'irrigation de cultures maraîchères non transformées et l'arrosage d'espaces verts ouverts au grand public (tels que les golfs). La
5 catégorie dont les normes associées sont les moins exigeantes (catégorie D) vise l'irrigation de forêts d'exploitation avec un accès contrôlé du public.

L'objectif du procédé conforme à l'invention est d'obtenir, en sortie du réacteur (autrement dit à la fin du procédé), des eaux purifiés entrant dans
10 les catégories A, B ou C précitées.

Dans ce procédé, le traitement des composés dissous et des contaminants microbiens est réalisé par le rayonnement solaire, et en particulier le rayonnement UV, l'oxygène produit par les microorganismes photosynthétiques en phase diurne et par tous les microorganismes présents
15 dans le réacteur, grâce à l'introduction initial du mélange de culture multispécifiques. Les microorganismes sont amenés, lors du démarrage du procédé, par un ensemencement unique à l'aide d'un mélange de culture multispécifiques ; cet ensemencement initial n'ayant pas besoin d'être renouvelé tant que le réacteur fonctionne et n'est pas arrêté.

Selon une possibilité, entre l'alimentation en eaux usées et l'évacuation des eaux purifiés, le temps de résidence des eaux à l'intérieur du réacteur est compris entre 1 et 12 heures, et notamment entre 2 et 10 heures.
20

Selon une autre possibilité, durant la phase diurne, l'alimentation en eaux usées est réalisée de manière continue ou séquentielle et selon un débit d'entrée prédéfini, et l'évacuation des eaux purifiés est réalisée de manière continue ou séquentielle et selon un débit de sortie prédéfini, lesdits débits d'entrée et de sortie étant établis pour assurer un temps de résidence des eaux à l'intérieur du réacteur compris entre 1 et 12 heures.
25

Dans une réalisation particulière, durant la phase nocturne, l'alimentation en eaux usées et l'évacuation des eaux sont interrompues, afin de favoriser la dégradation hétérotrophe.
30

De manière avantageuse, durant la phase nocturne, l'injection d'air enrichi en dioxyde de carbone gazeux est interrompue, et est prévue une injection d'air non enrichi en dioxyde de carbone gazeux dans le réacteur ; une telle injection d'air non enrichi en CO₂ favorisant l'activité hétérotrophe des
35 microorganismes en phase nocturne.

Avantageusement, durant la phase nocturne, la mise en circulation des eaux usées est maintenue dans le réacteur, afin de favoriser l'aération des eaux et ainsi augmenter l'activité hétérotrophe.

5 Dans une réalisation particulière, le mélange de culture multispécifiques comprend également l'un au moins des groupes de microorganismes suivants : champignons microscopiques, levures, bactériophages et protozoaires.

La Demanderesse a observé que ces microorganismes favorisent également l'activité hétérotrophe en phase diurne et nocturne.

10 Selon une possibilité, le procédé comprend une étape de séparation de la biomasse et des eaux purifiées évacuées en sortie du réacteur, afin notamment de récupérer une telle biomasse microalgale pour valorisation.

15 Selon une possibilité, le procédé comprend au moins une étape de pré-traitement des matières organiques contenues dans les eaux usées, consistant à séparer tout ou partie des matières organiques solides, particulaires ou en suspension en excès présentes dans les eaux usées, avant passage dans le réacteur, cette étape de pré-traitement étant réalisée dans unité de pré-traitement disposée en amont du réacteur.

20 Ainsi, cette étape de pré-traitement des matières organiques solides, particulaires ou en suspension est réalisée avant la purification mise en œuvre dans le réacteur et est destinée à amener la concentration en matières organiques particulaires en dessous d'une valeur favorisant la pénétration des rayons solaires dans l'eau traitée au sein du réacteur.

25 Dans une réalisation particulière, le procédé comprend une étape de récupération des gaz riches en dioxyde de carbone produits par l'unité de pré-traitement, et une étape d'acheminement de ces gaz vers le réacteur ; permettant ainsi de valoriser les gaz riches en CO₂ produits lors du pré-traitement, en les injectant dans le réacteur pour favoriser le traitement des
30 composés dissous et des contaminants microbiens dans le réacteur.

De manière avantageuse, l'étape d'évacuation de l'oxygène gazeux consiste en une évacuation régulée (autrement dit à un débit d'évacuation contrôlé) pour réguler la concentration en oxygène dissous dans les eaux traités, pour maîtriser le traitement des eaux usées.

Dans une réalisation particulière, l'étape d'évacuation de l'oxygène gazeux est suivie d'une étape de récupération de l'oxygène gazeux évacué, pour valoriser cet oxygène gazeux.

De manière avantageuse, le procédé comprend une étape
5 d'acheminement de l'oxygène gazeux évacué du réacteur (et récupéré dans le réacteur) à destination de l'unité de pré-traitement ; ce gaz riche en oxygène récupéré dans le réacteur étant ainsi valorisé en étant injecté dans l'unité de pré-traitement dans laquelle les matières organiques sont oxydées et transformées en CO₂.

10 Dans le cadre de l'invention, le procédé de purification bio-solaire est mis en œuvre au moyen d'un système de purification bio-solaire, du type comprenant :

- un réacteur fermé comportant une pluralité de tubes transparents et présentant au moins une entrée des eaux usées et au moins une sortie des
15 eaux purifiées ;
- un dispositif d'apport en eaux usées pour le réacteur, en continue ou en séquentiel ;
- au moins un dispositif de mise en circulation des eaux usées à l'intérieur du réacteur tubulaire ;
- 20 - au moins un dispositif d'injection d'air (enrichi ou pas en dioxyde de carbone gazeux selon les phases diurne et nocturne) dans les eaux usées ;
- au moins un dispositif d'évacuation de l'oxygène gazeux produit par photosynthèse dans le réacteur tubulaire ;
- au moins un dispositif d'évacuation des eaux traitées en sortie du réacteur.

25 Ainsi, ce système de purification bio-solaire comprend :

- un réacteur (autrement appelé récepteur solaire) fermé constitué d'une pluralité de tubes transparents permettant l'exposition des eaux contenant des microorganismes photosynthétiques au soleil en phase diurne ;
- un dispositif d'apport en eaux usées qui assure la dilution et la mise en
30 contact des composés particuliers ou dissous et des contaminants microbiens avec, d'une part, les espèces multiples du mélange de culture multispécifiques qui se développent en continu par l'apport des nutriments présents dans les eaux à traiter (sans adjonction d'un nouveau mélange) et avec, d'autre part, l'oxygène dissous produit par les microorganismes photosynthétiques en phase
35 diurne ;

- au moins un dispositif d'injection d'air dans les eaux usées, cet air étant enrichi en dioxyde de carbone gazeux en phase diurne afin d'augmenter la concentration en CO₂ dissous dans les eaux en phase diurne (le CO₂ étant la source de carbone indispensable au développement des microorganismes photosynthétiques présents dans le réacteur) et cet air n'étant pas enrichi en dioxyde de carbone gazeux en phase nocturne, afin d'aérer et oxygéner les eaux dans le réacteur ;
- au moins un dispositif de mise en circulation des eaux usées dans les tubes du réacteur ;
- 10 - au moins un dispositif d'évacuation de l'oxygène gazeux responsable des réactions de photodégradation associant le rayonnement solaire à la concentration d'oxygène dans le réacteur en phase diurne ;
- au moins un dispositif d'évacuation des eaux purifiées en sortie du réacteur qui permet de récupérer les eaux après traitement dans le réacteur avec de préférence un débit de sortie équivalent au débit d'entrée des eaux dans le réacteur en phase diurne.

Ce système de purification bio-solaire ne comporte donc aucun dispositif d'inoculation ou de réinoculation des eaux usées avec des microorganismes photosynthétiques cultivés en externe ou récupérés en sortie du système; seuls les microorganismes apportés, dans le mélange de culture multispécifiques, au démarrage du système étant utilisés pour purifier les eaux.

Avantageusement, le dispositif d'évacuation de l'oxygène gazeux consiste en un dispositif d'évacuation régulée pour réguler la concentration en oxygène dissous dans les eaux traités.

25 Dans une réalisation particulière, le dispositif d'évacuation de l'oxygène gazeux est complété d'un dispositif de récupération de l'oxygène gazeux évacué.

Ainsi, l'oxygène gazeux O₂ en excès, produit par les microflore photosynthétiques, est récupéré pour être notamment utilisé dans un pré-traitement (ou dans un traitement secondaire de type aérobie) en amont du système de purification bio-solaire.

Selon une possibilité, le dispositif de mise en circulation comprend un dispositif dit aval comprenant :

- une cuve d'alimentation avale raccordée à l'entrée du réacteur tubulaire ;
- 35 - une cuve de réception avale raccordée à la sortie du réacteur tubulaire ;

- un dispositif de mise en circulation aval du type dispositif de relevage des eaux et comprenant une colonne de relevage avale des eaux présentant une partie haute débouchant dans un réservoir, et une entrée en partie basse connectée à la cuve de réception avale, où le réservoir est raccordé à la cuve d'alimentation avale.

L'intérêt de procéder avec de telles cuves de réception et d'alimentation avales est d'assurer un contrôle de l'écoulement dans les tubes constitutifs du réacteur. La hauteur des cuves de réception et d'alimentation avales est de préférence supérieure aux pertes de charges dans les tubes du réacteur, afin de permettre un écoulement gravitaire des eaux dans le réacteur, et les volumes des cuves avales sont avantageusement calculées en fonction du débit et de la vitesse d'écoulement à assurer dans les tubes constitutifs du réacteur.

De manière avantageuse, un dispositif d'injection d'air et de dioxyde de carbone gazeux est disposé dans la colonne de relevage avale, de préférence dans la partie basse de la colonne de relevage avale, pour assurer une dissolution optimale du dioxyde de carbone dans l'eau circulant dans le dispositif aval.

Avantageusement, un dispositif d'évacuation de l'oxygène gazeux (de préférence un dispositif d'évacuation régulée) est disposé dans la partie haute de la colonne de relevage avale. Ainsi, l'oxygène gazeux O_2 en excès est évacué, et de préférence récupéré, dans la partie haute de la colonne de relevage avale avant le passage dans la cuve d'alimentation avale.

Le dispositif aval comporte de préférence au moins un appareil de mise en circulation des eaux (eg. dispositif air-lift ou pompe) entre la cuve de réception avale et l'entrée de la colonne de relevage avale.

Dans un mode de réalisation particulier, le réacteur tubulaire comporte des tubes s'étendant de manière linéaire (sans coude ni jonction) comme suit :

- plusieurs tubes dits allers présentant chacun une première extrémité reliée à la sortie de la cuve d'alimentation et une seconde extrémité opposée débouchant dans une cuve de réception amont; et
- plusieurs tubes dits retours présentant chacun une première extrémité disposée à la sortie d'une cuve d'alimentation amont et une seconde extrémité débouchant dans la cuve de réception avale ;

et le dispositif de mise en circulation comprend en outre un dispositif dit amont comprenant :

- la cuve de réception amont raccordée aux secondes extrémités des tubes allers ;
- 5 - la cuve d'alimentation amont raccordée aux premières extrémités des tubes retours ;
- un dispositif de mise en circulation amont du type dispositif de relevage des eaux et comprenant une colonne de relevage amont des eaux présentant une partie haute débouchant dans un réservoir, et une entrée en partie basse
- 10 connectée à la cuve de réception amont, où le réservoir est raccordé à la cuve d'alimentation amont.

Ainsi, le système présente deux parties (respectivement amont et aval) chacune constituée d'une cuve d'alimentation reliée à une cuve de réception par un ensemble de tubes dans lesquels l'eau circule ; la cuve de

15 réception et la cuve d'alimentation étant placées côte à côte et une colonne de relevage étant intercalée entre les deux cuves concernées.

Un appareil de circulation pompe l'eau à la base de la cuve de réception et rejete l'eau dans la cuve d'alimentation, via la colonne de relevage des eaux. Ce transfert de l'eau de la cuve de réception vers la cuve

20 d'alimentation crée une différence de niveau d'eau dans les cuves et entraîne la circulation des eaux dans les tubes du réacteur.

Dans ce mode de réalisation, il est avantageux qu'un dispositif d'injection d'air et de dioxyde de carbone gazeux soit également disposé dans la colonne de relevage amont, de préférence dans la partie basse de la

25 colonne de relevage amont, pour assurer un gazage et un dégazage optimal de l'eau circulant dans le dispositif amont.

Dans une réalisation particulière, un dispositif d'évacuation de l'oxygène gazeux est disposé dans la cuve de réception amont et/ou dans la partie haute de la colonne de relevage amont.

30 Le dispositif amont comporte de préférence au moins un appareil de mise en circulation des eaux (eg. dispositif air-lift ou pompe) entre la cuve de réception amont et l'entrée de la colonne de relevage amont.

De manière avantageuse, les tubes sont réalisés dans un matériau plastique transparent, souple ou flexible.

35 Dans le cadre de l'invention, il est envisageable de prévoir une installation de traitement et de recyclage des eaux usées, du type comprenant :

- un système de purification bio-solaire tel que décrit ci-dessus ; et
- un dispositif de séparation de la biomasse et des eaux purifiées par ledit système de purification bio-solaire, ce dispositif de séparation étant disposé en aval dudit système de purification bio-solaire (et donc en aval du réacteur) en étant raccordé au dispositif d'évacuation dudit système de purification bio-solaire.

Ainsi, le dispositif de séparation assure la séparation de l'eau et de la biomasse qui renferme les éléments dissous dégradés et/ou métabolisés ainsi que les contaminants microbiens tués par l'action combinée du soleil et de l'oxygène dissous. Après séparation de la biomasse, l'eau obtenue, débarrassée des éléments polluants dangereux pour l'homme ou l'environnement, peut être réutilisée pour d'autres usages ou recyclée pour un usage identique.

Cette installation permet ainsi d'obtenir une eau contenant moins de composés dissous et de contaminants microbiens que celle obtenue par des traitements conventionnels de type primaire, secondaire et tertiaire et rejetée habituellement dans les milieux aquatiques naturels. Cette eau obtenue à partir d'eaux usées industrielles, agricoles ou domestiques, sans perte par évaporation, peut donc être réutiliser ou recycler intégralement pour des usages industriels, agricoles ou domestiques.

En outre, selon sa richesse en composés métalliques toxiques ou valorisables, la biomasse séparée de l'eau peut être valorisée pour son contenu organique et sa richesse en carbone, azote et phosphore.

Dans une réalisation particulière, l'installation comprend en outre une unité de pré-traitement des eaux usées, pour traiter les matières solides, particulaires ou en suspension présentes dans les eaux usées, où ladite unité de pré-traitement est disposée en amont du système de purification bio-solaire (et donc en amont du réacteur) en étant raccordée au dispositif d'apport en eaux usées dudit système de purification bio-solaire.

Ainsi, le système de purification bio-solaire est employé pour traiter des eaux usées dans lesquelles les matières organiques ou minérales, solides, particulaires ou en suspension, ont été préalablement et au moins partiellement éliminées par une unité de pré-traitement, selon des techniques conventionnelles de traitement, comme par exemple un système de clarification primaire, un bassin aéré de type boues activées avec décantation,

un bassin ou une cuve de décantation, une unité de méthanisation en flux continu primaire ou un filtre planté de roseaux.

Selon une caractéristique, l'installation comprend en outre un bassin intermédiaire, notamment du type bassin de clarification, bassin de
5 décantation ou bassin de lagunage, disposé entre l'unité de pré-traitement et le système de purification bio-solaire (et donc entre l'unité de pré-traitement et le réacteur).

Le réacteur du système de purification bio-solaire étant placé en aval de l'unité de pré-traitement, le bassin intermédiaire sert de réservoir pour
10 l'alimentation du réacteur du système de purification bio-solaire.

Selon une caractéristique, l'installation comprend en outre un dispositif de récupération des gaz riches en dioxyde de carbone produits par l'unité de pré-traitement, et une canalisation assurant la liaison entre ce
15 dispositif de récupération et le dispositif d'injection d'air, pour permettre d'acheminer le dioxyde de carbone produit dans l'unité de pré-traitement vers le réacteur.

Selon une autre caractéristique, l'installation comprend en outre un dispositif d'acheminement de l'oxygène gazeux évacué du réacteur (par le dispositif d'évacuation de l'oxygène gazeux) à destination de l'unité de pré-
20 traitement.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée ci-après, d'exemples de mise en œuvre non limitatifs, faite en référence aux figures annexées dans
lesquelles :

- 25 - la figure 1A est une vue schématique d'une première installation de traitement et de recyclage comprenant un système de purification bio-solaire adapté pour la mise en œuvre du procédé conforme à l'invention ;
- la figure 1B est une vue schématique d'une seconde installation de
30 traitement et de recyclage comprenant un système de purification bio-solaire adapté pour la mise en œuvre du procédé conforme à l'invention ;
- la figure 2 est une vue schématique d'un système de purification bio-solaire adapté pour la mise en œuvre du procédé conforme à l'invention.

35 Les installations IN de la figure 1A et de la figure 1B et le système 1 de purification bio-solaire de la figure 2, ont pour objet le traitement d'eaux

usées par l'élimination des composés dissous et des contaminants microbiens, et la récupération d'éléments valorisables dans une biomasse phytoplanktonique et des gaz riches en oxygène.

Plus précisément, le traitement mis en œuvre par un système 1
5 adapté pour le procédé de purification bio-solaire selon l'invention, concerne l'abaissement de la teneur (voire l'élimination) d'une large gamme de substances et microorganismes dangereux pour l'homme et l'environnement, à savoir :

- 10 - les matières organiques particulières responsables de l'eutrophisation des milieux aquatiques qui, avec le procédé de purification, sont dégradées en matière organique dissoute et nutriments avant d'être réintégrés dans une biomasse constituée de microorganismes photosynthétiques et hétérotrophes ;
- 15 - les composés dissous du type nutriment inorganique (CO_2 , N_2O , NO_3 , NH_4 , PO_4 , SO_4) qui sont soit des gaz à effet de serre participant au réchauffement climatique, soit des substances dissoutes responsables d'eutrophisation des milieux aquatiques, où le procédé de purification permettra de métaboliser ces composés par la photosynthèse, ce qui participera au renouvellement des éléments constitutifs de la matière vivante (C, O, N, P, S) sous forme de biomasse et d'oxygène gazeux récupérables et valorisables ;
- 20 - les composés dissous de type xénobiotique (PCB, pesticides, substances médicamenteuses) peu biodégradables qui sont, avec le procédé de purification, dégradés dans le système 1 sous l'effet du rayonnement solaire et de l'oxygène produit par la photosynthèse puis métabolisés par les microorganismes hétérotrophes ;
- 25 - les composés dissous de type métallique minéral ou organométallique, qu'ils soient rares, toxiques, lourds ou radioactifs, qui sont, avec le procédé de purification, fixés et incorporés dans la biomasse dans le système 1 par les microorganismes photosynthétiques, et éventuellement récupérés, éliminés ou valorisés par la biomasse après séparation ;
- 30 - les contaminants microbiens du type microorganisme terrestre (microflore fécales ou pathogènes) associé à l'homme, aux animaux et aux plantes, potentiellement dangereux pour l'homme ou les activités d'agriculture et d'élevage, issus de biotopes pauvres en oxygène et non exposés à la lumière solaire, qui sont dégradés dans le système 1 sous l'effet du rayonnement
35 solaire et des fortes concentrations d'oxygène dissous produit par la photosynthèse.

En référence aux figures 1A et 1B, l'installation IN comprend un système 1 de purification bio-solaire en vue du recyclage d'eaux usées, pour traiter essentiellement les composés dissous et les contaminants microbiens présents dans les eaux usées.

5 Il est bien entendu envisageable de multiplier le nombre de système 1, avec une installation qui comporte plusieurs systèmes 1 mis en série (avec un passage des eaux successivement dans les différents systèmes) ou en parallèle (avec une répartition des eaux entre les différents systèmes) pour traiter de grandes quantités d'eaux usées.

10 L'installation IN peut comprendre, en aval du système 1, un dispositif de séparation DS de la biomasse microalgale « BIOM » des eaux « EAU » traitées par le système 1. Ainsi, après le traitement des composés dissous et des contaminants microbiens dans le système 1, les eaux traitées font l'objet d'une séparation eau/biomasse dans le dispositif de séparation DS.

15 Il est également envisageable de récupérer directement le mélange eau et biomasse microalgale « EAU + BIOM », sans procéder à une quelconque séparation, ce mélange pouvant ensuite être valorisé directement en irrigation de surfaces agricoles ou végétalisées (jardins, golfs, espaces naturels), la biomasse microalgale étant alors valorisée en engrais organique.

20 Le dispositif de séparation DS peut mettre en œuvre différentes techniques de séparation de la biomasse, selon la qualité de l'eau requise en fin de traitement ; ces techniques de séparation pouvant être envisagées seules ou en combinaison, comme par exemple : aéro-flottation, décantation, filtration sur sables, zéolithes, pouzzolanes, charbons actifs, techniques
25 membranaires, centrifugation, hydrocyclone.

Ainsi, le dispositif de séparation DS délivre en sortie une eau « EAU » ne contenant plus de composés dissous et de contaminants microbiens dangereux pour l'homme ou l'environnement, et une biomasse microalgale « BIOM ». L'eau produite en sortie du dispositif de séparation DS
30 peut être réutilisée pour un usage différent ou identique à l'usage d'origine.

L'installation IN peut comprendre une unité de traitement final UTB de la biomasse « BIOM » en sortie du dispositif de séparation DS. Cette unité de traitement final UTB met en œuvre la destruction, la valorisation et/ou le recyclage de cette biomasse ; cette biomasse pouvant en effet être stockée,
35 valorisée ou éliminée selon les polluants qu'elle contient.

Cette biomasse, une fois sèche, est essentiellement constituée de protéines (40 à 50%), lipides (20 à 30%) et glucides (20 à 30%), et elle renferme également des métaux selon les quantités dissoutes dans les eaux traitées. Ainsi, selon la quantité de métaux présents, cette biomasse peut
5 trouver de nombreux modes de valorisation, comme par exemple : alimentation animale, engrais organique, méthanisation associée à la méthanisation des boues de station d'épuration biologique conventionnelles, extraction de métaux rares issu de lixiviats d'eau de traitement de mines.

L'installation IN peut comprendre une unité de finition UFI du
10 traitement de l'eau « EAU » en sortie du dispositif de séparation DS. Après séparation de la biomasse et selon les usages de l'eau, cette unité de finition UFI met en œuvre une étape de finition pour éliminer des composés organiques dissous résiduels et/ou pour éliminer des microorganismes qui pourraient être réintroduits dans l'eau lors de la séparation. Cette unité de
15 finition UFI peut mettre en œuvre diverses techniques, prises seules ou en combinaison, comme par exemple : ozonation, chloration, filtration sur supports du type charbon actif, zéolithes, pouzzolanes.

L'installation IN comprend, en amont du système 1, une unité UPR de pré-traitement des eaux usées, pour traiter les matières solides,
20 particulaires ou en suspension présentes dans les eaux usées. Ainsi, cette unité UPR met en œuvre des traitements préalables de type primaire et/ou secondaire (comme par exemple une unité de pré-traitement aérobie en lit fixé clos), pour retirer au moins en partie les matières solides, particulaires ou en suspension, avant de réaliser le traitement des composés dissous et des
25 contaminants microbiens dans le système 1. En effet, les eaux à traiter dans le système 1 doivent de préférence être claires et contenir de faibles concentrations de matières en suspension. A titre d'exemple, les eaux à traiter entrant dans le système 1 peuvent présenter une concentration maximale de l'ordre de 100 à 200 mg/litre de matières en suspension, sans nuire au
30 fonctionnement du système 1.

Dans le mode de réalisation de la figure 1B, l'installation IN peut comprendre une conduite d'acheminement du dioxyde de carbone « CO₂ » entre l'unité de pré-traitement UPR qui produit du CO₂ et le système 1 consommateur de dioxyde de carbone.

35 L'installation peut également comprendre une conduite d'acheminement de l'oxygène gazeux « O₂ » (ou air enrichi en O₂) entre le

système 1 producteur d'oxygène gazeux et l'unité de pré-traitement UPR consommatrice en oxygène.

L'installation IN comprend en outre un bassin intermédiaire BIN, notamment du type bassin de clarification ou bassin de lagunage, disposé
5 entre l'unité UPR et le système 1.

Ainsi, le système 1 est approvisionné en eaux usées par le bassin intermédiaire BIN, lui-même placé en aval de l'unité UPR, par exemple du type station d'épuration conventionnelle.

Le volume du bassin intermédiaire BIN est au moins égal à 1,5 à 2
10 fois la contenance totale du système 1 pour tenir compte de l'exploitation différente en phases diurne et nocturne.

L'alimentation du système 1 en eaux usées, en provenance du bassin intermédiaire BIN se fait de façon continue ou séquentielle, le temps de résidence dans le système 1 des eaux usées dépendant du taux de renouvellement horaire, étant noté qu'un taux de renouvellement horaire de
15 20% correspond par exemple à un temps de résidence de 5 heures, ce qui correspond au temps pour renouveler entièrement l'eau dans le système 1.

Les eaux usées sont ainsi stockées dans le bassin intermédiaire BIN, avant d'être introduites dans le système 1 durant la phase diurne, en
20 continue ou en séquentiel, qui contient déjà une eau riche en microorganismes photosynthétiques. Le débit d'apport et/ou le taux de dilution sont calculés pour renouveler l'ensemble du volume contenu dans le système 1 en 1 à 10 heures selon la quantité de composés dissous à traiter ; le taux de dilution optimale étant réglé par la densité de microorganismes photosynthétiques et les
25 concentrations en composés dissous atteints dans le système.

Comme décrit ultérieurement, le système 1 comporte un réacteur pourvu de tubes transparents disposés sur une surface plane horizontale, inclinée ou verticale, exposée au soleil pendant la journée et à l'intérieur desquels les eaux à traiter circulent pendant plusieurs heures, de préférence
30 entre 1 à 10 heures, et à faible vitesse, de préférence à des vitesses de l'ordre de 0,1 à 1 m/s.

En phase diurne et dès le lever du soleil, l'eau circule de manière permanente dans les tubes du réacteur et est exposée au rayonnement solaire pendant 1 à 10 heures. Ainsi, dans les tubes transparents, la photosynthèse
35 réalisée par des microorganismes photosynthétiques présents dans les eaux du réacteur 2 incorpore tous les composés dissous de type nutriments et fixe

les composés métalliques dissous dans une biomasse phytoplanctonique tout en rejetant de l'oxygène gazeux qui s'accumule dans l'eau. En parallèle, les composés organiques dissous peu biodégradables et les microorganismes contaminants (contaminants microbiens) sont exposés aux effets du rayonnement solaire, et en particulier du rayonnement UV, et de l'oxygène produit par les microorganismes photosynthétiques.

Les microorganismes photosynthétiques présents dans le réacteur du système 1 se développent en continu par l'apport de nutriments dissous et du CO₂ gazeux à partir d'un mélange de culture multispécifiques introduit au démarrage du système 1. Ce mélange de culture multispécifiques comprend une multiplicité d'espèces parmi lesquelles :

- différentes espèces de microorganismes photosynthétiques incluant des algues microscopiques et des bactéries photosynthétiques ;
- différentes espèces de bactéries organotrophes aérobies ;
- des champignons microscopiques ;
- des levures ;
- des bactériophages (ou phages) ; et
- des protozoaires.

L'excédent de biomasse produite dans le réacteur étant évacué en continu avec l'eau traitée en sortie du réacteur, sans inoculation des eaux avec des microorganismes photosynthétiques externes par la suite. Autrement dit, le système 1 n'utilise en fonctionnement aucune culture de souche pure sélectionnée qui serait rajoutée en continu ou discontinu et ne nécessite ni laboratoire, ni système de culture stérile d'inoculum pour ensemercer ou réensemencer l'eau pendant le traitement.

Le principal avantage de ce système 1 est de fonctionner avec des microflore reconstituées et multispécifiques locales (le mélange de culture multispécifiques) offrant une biodiversité fonctionnelle, nutritionnelle et trophique. Ces microflore reconstituées locales diversifiées s'adaptent très rapidement aux variations de composition des eaux usées ainsi qu'aux variations climatiques saisonnières. Les conditions d'exposition au soleil et d'apport en CO₂, en phase diurne, favorisent les microorganismes photosynthétiques parmi lesquels on trouve essentiellement des procaryotes (bactéries photosynthétiques, cyanobactéries) et des eucaryotes (algues microscopiques) qui sont capables de récupérer l'énergie solaire et d'effectuer la photosynthèse à partir du CO₂.

Un autre avantage de travailler avec des microflores reconstituées locales est la simplicité de conception et d'exploitation du procédé au sein du système 1. Aucune contrainte de stérilité, de prétraitement anti-microbien des eaux usées, de nettoyage préventif des systèmes, de réensemencement en
5 continu ou discontinu des eaux n'est nécessaire, les tubes peuvent être en matière souple, l'injection d'air enrichi en CO₂ peut se faire directement dans l'eau à traiter sans système de traitement et de stérilisation du gaz, et enfin l'évacuation régulée de l'oxygène gazeux et donc la régulation des concentrations en oxygène dissous peuvent être réalisées simplement par une
10 aspiration au niveau d'une colonne d'expansion située en haut d'un dispositif de relevage et de circulation d'eau ou bien directement dans les cuves du système 1 décrites ci-après.

Après circulation et exposition au soleil pendant 1 à 10 heures, l'eau traitée contenant des microorganismes photosynthétiques est prélevée en
15 continu ou en séquentiel dans le système 1, pour être envoyée vers le dispositif de séparation DS. Selon l'origine de l'eau à traiter et l'utilisation de l'eau traitée, le dispositif de séparation DS de la biomasse n'est pas toujours nécessaire.

Le système 1 peut fonctionner en continu ou en séquentiel pendant la phase diurne. En phase nocturne, la circulation de l'eau est arrêtée dans le
20 système 1. En phase nocturne, l'injection d'air est maintenue mais sans enrichissement en CO₂ pour favoriser la dégradation des matières organiques particulaires et la minéralisation des composés organiques dissous.

Dans une installation IN de grande taille intégrant plusieurs systèmes 1 fonctionnant en parallèle ou en série avec leur propre circulation,
25 chaque système 1 peut être isolé et vidangé au moins une fois par mois, de préférence en phase nocturne, pour maintenance ou nettoyage.

Comme visible sur la figure 1, l'installation IN se positionne par rapport à un site consommateur SC d'eau (collectivité, industrie, exploitation agricole) comme suit : le site consommateur SC récupère pour ses usages
30 l'eau traitée et filtrée en sortie de l'unité de finition UFI, et rejette ses eaux usées pour traitement à destination de l'unité de pré-traitement UPR.

La description qui suit porte sur le système 1, en référence à la figure 2. Ce système 1 comporte un réacteur tubulaire 2 (ou réseau tubulaire ou récepteur solaire) comportant une pluralité de tubes 20, 21 transparents,
35 parallèles et juxtaposés, et plus précisément :

- une série de plusieurs tubes dits allers 20 présentant chacun une première extrémité (en entrée) raccordée à une cuve d'alimentation avale 22 formant l'entrée du réacteur tubulaire 2 et une seconde extrémité opposée (en sortie) raccordée à une cuve de réception amont 23 ; et

- 5 - une série de plusieurs tubes dits retours 21 présentant chacun une première extrémité (en entrée) raccordée à une cuve d'alimentation amont 24 et une seconde extrémité opposée raccordée à une cuve de réception avale 25 formant la sortie du réacteur tubulaire 2.

Les cuves d'alimentation 22 et 24 sont éventuellement ouvertes et
10 ont pour fonction d'alimenter en eau les tubes correspondants, et les cuves de réception 23 et 25 sont éventuellement ouvertes et ont pour fonction de recevoir et collecter les eaux provenant des tubes correspondants.

Les tubes 20, 21 sont réalisés dans un matériau souple ou flexible transparent, et notamment dans un matériau plastique ou polymérique,
15 présentent des longueurs comprises entre 5 m et 500 mètres linéaires et des diamètres compris entre 5 et 20 centimètres, sans raccord intermédiaire, et ils s'étendent linéairement sans présence de coude ou de jonction ; l'absence de coude permettant avantageusement une fabrication, un transport et un montage aisés et économiques, sans augmentation des pertes de charges et
20 de la consommation d'énergie pour la circulation de l'eau et l'injection de gaz.

Les tubes 20, 21 sont positionnées sur une surface plane et horizontale ; l'absence de coudes et de rayons de courbure permettant en outre de juxtaposer les tubes sans perte de surface utile. L'absence de coudes et la disposition parallèle des tubes 20, 21 entre les cuves 22, 23, 24, 25
25 permettent également l'obturation de chaque tube à ses deux extrémités, autorisant ainsi la vidange, le remplacement ou le nettoyage de chaque tube individuellement sans arrêter la circulation dans les autres tubes. Le nettoyage interne des tubes peut s'effectuer régulièrement en phase diurne.

Les tubes 20, 21 peuvent être placés sur le fond plat d'un bac 26
30 étanche, dont les bords sont relevés de façon à constituer un bassin de profondeur égale ou supérieure au diamètre des tubes 20, 21. Ce bac 26 étanche permet de remplir plusieurs fonctions :

- récupération de l'eau en cas de fuite nécessitant le changement d'un tube 20, 21 ;
- 35 - refroidissement des tubes 20, 21 avec de l'eau versée, pulvérisée ou brumisée dans le bac 26 ;

- récupérations des eaux de pluie en saison humide peu ensoleillée, pour notamment reconstituer des réserves d'eau douce pour différents usages en saison sèche.

Le système 1 comprend un dispositif de circulation aval 3 assurant
5 la circulation des eaux entre la cuve de réception avale 25 et la cuve d'alimentation avale 22, autrement dit la circulation des tubes retour 21 vers les tubes aller 20.

Un tel dispositif de mise en circulation aval 3 est du type dispositif de relevage des eaux et comprend :

- 10 - une colonne de relevage des eaux avale 30 qui, d'une part, est connectée en partie basse au niveau du fond de la cuve de réception avale 25 au moyen d'une canalisation d'arrivée 33 et, d'autre part, est débouchante en partie haute à l'intérieur d'un réservoir 31 ;
- le réservoir 31 à l'intérieur duquel est disposée verticalement la colonne de
15 relevage des eaux avale 30 ;
- la canalisation d'arrivée 33 des eaux venant de la cuve de réception avale 25 et connectée à la partie basse de la colonne de relevage 30 ;
- une canalisation de sortie 32 des eaux contenues dans le réservoir 31, cette
20 canalisation de sortie 32 étant d'une part raccordée au réservoir 31, en étant surélevée par rapport à la canalisation d'arrivée 33, et d'autre part raccordée à la cuve d'alimentation avale 22.

Le système 1 comporte un dispositif d'apport en eaux usées qui est constitué d'une canalisation de remplissage 34 du réacteur 2, de manière continue ou discontinue, cette canalisation de remplissage 34 étant connectée
25 en sortie à la cuve d'alimentation avale 22 et en entrée à l'unité UPR via le bassin intermédiaire BIN décrits ci-dessus

La colonne de relevage des eaux 30 peut prendre différentes formes même si le volume et la hauteur sont calculés en fonction du débit et de la vitesse d'eau requis dans les tubes du réacteur 2 en aval. La hauteur de la
30 cuve d'alimentation avale 22 dépend des pertes de charge dans les tubes, et elle peut être réalisée en matière plastique, bois, métal, résine ou toile plastifiée.

Le système 1 comprend en outre la cuve de réception avale 23 pour le drainage des eaux sortant des tubes allers 20, cette cuve de réception
35 avale 23 étant raccordée à la sortie des tubes allers 20.

Le système 1 comprend en outre un dispositif de circulation amont 4 assurant la circulation des eaux entre la cuve de réception amont 23 et la cuve d'alimentation amont 24, autrement dit des tubes aller 20 vers les tubes retours 21.

5 Un tel dispositif de mise en circulation amont 4 est du type dispositif de relevage des eaux et comprend :

- une colonne de relevage des eaux amont 40 qui, d'une part, est connectée en partie basse au niveau du fond de la cuve de réception amont 23 au moyen d'une canalisation d'arrivée (non visible) et, d'autre part, est débouchante en
- 10 partie haute à l'intérieur d'un réservoir 41 ;
- le réservoir 41 à l'intérieur duquel est disposée verticalement la colonne de relevage des eaux amont 40 ;
- la canalisation d'arrivée des eaux venant de la cuve de réception amont 23 et connectée à la partie basse de la colonne de relevage amont 40 ;
- 15 - une canalisation de sortie (non visible) des eaux contenues dans le réservoir 41, cette canalisation de sortie étant d'une part raccordée au réservoir 41, en étant surélevée par rapport à la canalisation d'arrivée, et d'autre part raccordée à la cuve d'alimentation amont 24.

Le système 1 comprend également :

- 20 - un premier dispositif d'injection 51 d'air et de dioxyde de carbone gazeux dans la partie basse du réservoir 31 ; et
- un second dispositif d'injection (non visible) d'air et de dioxyde de carbone gazeux dans la partie basse du réservoir 41.

Ces dispositifs d'injection 51 apportent de l'air naturel (autrement dit non enrichi en CO₂) ou de l'air enrichi en CO₂, le CO₂ d'enrichissement étant issu notamment de l'unité de pré-traitement UPR ou de gaz de combustion, mélangé à de l'air ambiant, un air enrichi en CO₂ étant nécessaire aux microorganismes photosynthétiques. Les besoins en CO₂ sont proportionnels à la longueur des tubes entre deux injections d'air enrichi en

25 CO₂. De plus, l'air est enrichi en CO₂ par le mélange d'air frais et de gaz de combustion ou de fermentation (issu d'un traitement primaire et secondaire d'eaux usées domestiques, industrielles ou agricoles) contenant un

30 pourcentage de CO₂ supérieur à celui de l'atmosphère.

Ces dispositifs d'injection 51 peuvent fonctionner en pression ou en

35 dépression. L'air enrichi en CO₂ peut par exemple être introduit sous pression

dans l'eau à l'aide d'un diffuseur, pour limiter la taille des bulles et favoriser les échanges gazeux entre l'air entrant et l'eau traitée.

Les dispositifs de mise en circulation aval 3 et amont 4 comprennent respectivement un premier et un second appareils de mise en circulation des eaux usées dans le système 1, et en particulier dans le réacteur
5 2 ; ces appareils de mise en circulation font passer l'eau respectivement de la cuve de réception avale 25 à la cuve d'alimentation avale 22 via la colonne de relevage avale 30 et le réservoir 31, et de la cuve de réception amont 23 à la cuve d'alimentation amont 24 via la colonne de relevage amont 40 et le
10 réservoir 40.

La circulation de l'eau à faible vitesse (vitesse de circulation entre 0,1 et 1 m/s) dans les tubes transparents nécessite la remontée de l'eau dans la colonne de relevage avale 30 vers le réservoir 31 du dispositif de mise en circulation aval 3 qui vient remplir ensuite la cuve d'alimentation avale 22 par
15 gravité via la conduite 32. La remontée du niveau de l'eau dans la cuve d'alimentation avale 22 entraîne une circulation de l'eau de la cuve d'alimentation avale 22 vers la cuve de réception amont 23 via les tubes aller 20. Il en va de même pour la remontée de l'eau l'eau dans la colonne de relevage amont 40 vers le réservoir 41 du dispositif de mise en circulation
20 amont 4.

Ces remontées d'eaux sont assurées par les appareils de mise en circulation qui sont par exemple chacun du type :

- pompe, de préférence du type pompe à membrane ou péristaltique pour minimiser la destruction des cellules de microorganismes photosynthétiques ;
25 ou
- dispositif d'ascenseur à gaz, autrement appelé « gas-lift » ou gazosiphon, qui consiste en une injection de gaz en partie basse de la colonne de relevage 30 ou 40 servant à mettre en circulation ou déplacer les eaux.

L'énergie nécessaire à la mise en circulation de l'eau dépend du
30 type d'appareil de mise en circulation, de la perte de charge dans le réacteur tubulaire et du débit d'eau à fournir pour assurer la circulation de l'eau à la vitesse désirée.

Dans le cas d'un appareil du type dispositif d'ascenseur à gaz, la circulation de l'eau peut être couplée avec l'injection de l'air enrichi en CO₂. En
35 effet, l'eau est remontée du bas de la cuve de réception 25 ou 23 vers le réservoir 31 ou 41 par l'injection d'air enrichi en CO₂.

Le système 1 comprend également au moins un dispositif d'évacuation ou de dégazage de l'oxygène gazeux (non illustré) produit par photosynthèse dans le réacteur 2 ; ce dispositif d'évacuation formant un dispositif d'évacuation régulée (ou contrôlée) pour la régulation des concentrations en oxygène dissous.

Dans le système 1, l'oxygène gazeux O_2 , produit par les microflores photosynthétiques, est éliminé au niveau des réservoirs 31, 41 en partie haute des colonnes de relevage 30, 40 par la canalisation 62 dans laquelle une dépression permet d'aspirer les gaz riches en oxygène.

Ce ou ces dispositifs d'évacuation ont pour fonction l'élimination régulière de l'oxygène dissous et gazeux à chaque passage, permettant ainsi de maintenir la concentration dans le réacteur 2 à une valeur optimale pour la dégradation oxydative et pour la photosynthèse qui serait inhibée par de trop fortes concentrations. L'air enrichi en oxygène est récupéré et peut être valorisé dans une unité de pré-traitement UPR biologique conventionnelle hétérotrophe (par exemple lits fixés, boues activées ou bassins d'aération).

En outre, l'air enrichi en CO_2 est de préférence injecté (par le ou les dispositifs d'injection) dans le dispositif de mise en circulation et en aval du dispositif d'évacuation de l'oxygène gazeux dans les cuves de réception.

Le système 1 comprend au moins un dispositif d'évacuation des eaux traitées en sortie du réacteur 2, avec :

- soit une évacuation par surverse lorsque le système 1 est exploité en continu, autrement dit on récupère le trop plein au niveau de la cuve de réception 25 par une canalisation de surverse 35 ;
- soit une évacuation par vidange du système 1 et de son réacteur 2, par une canalisation basse 62 (située par exemple en partie basse de la cuve d'alimentation avale 22), lorsque le système 1 est vidangé pour arrêt.

Le système 1 peut également comprendre plusieurs séries de tubes allers 20 en alternance avec des séries de tubes retour 21, comme illustré sur la figure 3.

Dans l'exemple de la figure 3, le système 1 comprend :

- une première série de plusieurs tubes allers 20a présentant chacun une première extrémité raccordée à une première cuve d'alimentation avale 22a formant l'entrée du réacteur tubulaire 2 (comme schématisé par la flèche EN) et une seconde extrémité opposée raccordée à une première cuve de réception amont 23a ;

- une première série de plusieurs tubes retours 21a présentant chacun une première extrémité raccordée à une première cuve d'alimentation amont 24a et une seconde extrémité opposée raccordée à une première cuve de réception avale 25a ;
- 5 - une seconde série de plusieurs tubes allers 20b présentant chacun une première extrémité raccordée à une seconde cuve d'alimentation avale 22b (placée à côté de la première cuve de réception avale 25a) et une seconde extrémité opposée raccordée à une seconde cuve de réception amont 23b (placée à côté de la première cuve d'alimentation amont 24a) ;
- 10 - une seconde série de plusieurs tubes retours 21b présentant chacun une première extrémité raccordée à une seconde cuve d'alimentation amont 24b et une seconde extrémité opposée raccordée à une seconde cuve de réception avale 25b formant la sortie du réacteur tubulaire 2 (comme schématisé par la flèche SO) ;
- 15 - un premier dispositif de circulation amont 4a assurant la circulation des eaux entre la première cuve de réception amont 23a et la première cuve d'alimentation amont 24a, autrement dit des tubes aller 20a de la première série vers les tubes retours 21a de la première série ;
- un premier dispositif de circulation aval 3a assurant la circulation des eaux
- 20 entre la première cuve de réception avale 25a et la seconde cuve d'alimentation avale 22b, autrement dit des tubes retours 21a de la première série vers les tubes aller 20b de la seconde série ;
- un second dispositif de circulation amont 4b assurant la circulation des eaux entre la seconde cuve de réception amont 23b et la seconde cuve
- 25 d'alimentation amont 24b, autrement dit des tubes aller 20b de la seconde série vers les tubes retours 21b de la seconde série ; et
- un second dispositif de circulation aval 3b assurant la circulation des eaux entre la seconde cuve de réception avale 25b et la première cuve
- 30 d'alimentation avale 22a, autrement dit des tubes retours 21b de la seconde série vers les tubes aller 20a de la première série.

L'injection d'air (enrichi ou non en CO₂) est réalisée au niveau du second dispositif de circulation aval 3b (comme schématisé par la flèche AIR) et l'évacuation régulée d'O₂ est également réalisée au niveau du second dispositif de circulation aval 3b (comme schématisé par la flèche O2).

- 35 Une campagne d'essais menée avec un système 1 conforme à la figure 3, sur des eaux usées domestiques déshuilées, dessablées et

décantées, sur une période de trois jours, avec des variations d'ensoleillement entre les jours 1, 2 et 3, comme résumé dans le tableau ci-dessous.

Jour	Jour 1	Jour 2	Jour 3
Flux de photons PAR (mmol/m ² /s)	1332 ± 446	1028 ± 392	1527 ± 150

- 5 Les résultats sont rassemblés dans les tableaux suivants. Dans ces tableaux, la colonne « Entrée » correspond aux mesures des paramètres pour les eaux en entrée du système 1 (avant la mise en œuvre du procédé) et la colonne « Sortie » correspond aux mesures des paramètres pour les eaux en sortie du système 1 (suite à la mise en œuvre du procédé). La colonne
- 10 « Abattement » indique la réduction (en log ou en pourcentage) des paramètres entre la colonne « Entrée » et la colonne « Sortie ».

Le premier tableau de résultat donne une moyenne de chaque paramètre sur les jours 1 et 3 les plus ensoleillés :

Paramètres	Entrée	Sortie	Abattement
Escherichia Coli (Nombre le Plus Probable NPP/100ml) - <i>NF EN ISO 9308-3</i>	2,2E+07	< 330	5,7 log(99,998 %)
Entérocoques fécaux (Nombre le Plus Probable NPP/100ml) - <i>NF EN ISO 7899-1</i>	4,3E+06	< 235	4,7 log
Carbone Organique Total (mg/L) - <i>NF EN 1484</i>	163	10	93 %
Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours (mg/L) - <i>NF EN 1899-1</i>	268	< 3	> 99 %
Demande Chimique en Oxygène (mg/L) - <i>ISO 15705</i>	903	45	95 %
Matières en suspension (mg/L) - <i>NF EN 872</i>	390	23	94 %
Phosphore Total (mg P/L) - <i>NF EN ISO 6878</i>	10,65	1,75	83 %
Orthophosphates (PO ₄) - <i>NF EN ISO 6878</i>	19	< 1,8	> 90 %
Ammonium (mgNH ₄ /L) - <i>NF T 90-015-2</i>	53	< 0,9	> 98 %
Azote Global (mg N/L) - <i>NF EN 25663</i>	67	22	66 %

Le second tableau de résultat donne une moyenne de chaque paramètre sur les jours 1, 2 et 3 :

Paramètres	Entrée	Sortie	Abattement
Escherichia Coli (Nombre le Plus Probable NPP/100ml) - <i>NF EN ISO 9308-3</i>	2,43E+07	< 6,89E+03	5,06 log (99,997%)
Entérocoques fécaux (Nombre le Plus Probable NPP/100ml) - <i>NF EN ISO 7899-1</i>	4,90E+06	< 1,89E+03	4,4 log
Carbone Organique Total (mg/L) - <i>NF EN 1484</i>	143	10	93%
Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours (mg/L) - <i>NF EN 1899-1</i>	252	< 4	> 99 %
Demande Chimique en Oxygène (mg/L) - <i>ISO 15705</i>	758	49	93 %
Matières en suspension (mg/L) - <i>NF EN 872</i>	293	23	92 %
Phosphore Total (mg P/L) - <i>NF EN ISO 6878</i>	10,7	1,6	85 %
Orthophosphates (PO4) - <i>NF EN ISO 6878</i>	19	< 1,8	> 90 %
Ammonium (mgNH4/L) - <i>NF T 90-015-2</i>	66	< 1,9	> 97 %
Azote Global (mg N/L) - <i>NF EN 25663</i>	77	22	72 %

- 5 Dans les deux tableaux, sont observés des abattements (ou abaissements) élevés des teneurs des différents paramètres, traduisant une purification telle que les eaux en sortie sont catégorisables dans la catégorie C définie précédemment par la réglementation française ; des eaux en catégorie C étant autorisées pour une utilisation en irrigation pour pépinières et
- 10 arbustes et autres cultures florales, pour des cultures céréalières et fourragères, et pour l'arboriculture fruitière.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de purification bio-solaire d'eaux usées en vue d'en réduire la teneur en matières organiques particulaires, en composés métalliques minéraux et organométalliques dissous, en contaminants microbiens et en composés organiques dissous à effet eutrophisant, ledit procédé étant mis en œuvre pour le recyclage des eaux purifiés par le procédé et le recyclage des nutriments présents dans les eaux usés et récupérés à l'issue du procédé sous la forme d'une biomasse réutilisable, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :
- alimentation en eaux usées à l'entrée d'un réacteur (2) fermé comportant une pluralité de tubes (20, 21) transparents ;
 - introduction dans le réacteur (2) d'un mélange de culture multispécifiques comprenant une multiplicité d'espèces parmi lesquelles différentes espèces de microorganismes photosynthétiques incluant des algues microscopiques et des bactéries photosynthétiques, et différentes espèces de bactéries organotrophes aérobies ;
 - mise en circulation des eaux usées dans le réacteur (2) ;
 - en phase diurne :
 - injection d'air enrichi en dioxyde de carbone gazeux dans les eaux usées ;
 - exposition à un rayonnement solaire des eaux usées dans le réacteur (2), et traitement des matières organiques particulaires, des composés métalliques minéraux et organométalliques dissous, des composés organiques dissous et des contaminants microbiens par l'action combinée du rayonnement solaire, des microorganismes photosynthétiques et de l'oxygène produit par photosynthèse ; et
 - évacuation de l'oxygène gazeux produit par photosynthèse dans le réacteur (2) pour un maintien du taux d'oxygène à l'intérieur du réacteur (2) dans une plage prédéfinie ;
 - en phase nocturne, dégradation et minéralisation des matières organiques particulaires et des composés organiques dissous par l'action des bactéries organotrophes aérobies ;
 - évacuation en sortie du réacteur (2) des eaux purifiés et de la biomasse produite à partir de nutriments issus de la photodégradation de la matière organique présente dans le réacteur (2).

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel, entre l'alimentation en eaux usées et l'évacuation des eaux purifiés, le temps de résidence des eaux à l'intérieur du réacteur (2) est compris entre 1 et 12 heures, et notamment entre 2 et 10 heures.

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel, durant la phase diurne, l'alimentation en eaux usées est réalisée de manière continue ou séquentielle et selon un débit d'entrée prédéfini, et l'évacuation des eaux purifiés est réalisée de manière continue ou séquentielle et selon un débit de sortie prédéfini, lesdits débits d'entrée et de sortie étant établis pour assurer un temps de résidence des eaux à l'intérieur du réacteur (2) compris entre 1 et 12 heures.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, durant la phase nocturne, l'alimentation en eaux usées et l'évacuation des eaux sont interrompues.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, durant la phase nocturne, l'injection d'air enrichi en dioxyde de carbone gazeux est interrompue, et est prévue une injection d'air non enrichi en dioxyde de carbone gazeux dans le réacteur (2).

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, durant la phase nocturne, la mise en circulation des eaux usées est maintenue dans le réacteur (2).

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le mélange de culture multispécifiques comprend également l'un au moins des groupes de microorganismes suivants : champignons microscopiques, levures, bactériophages et protozoaires.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant une étape de séparation de la biomasse et des eaux purifiées évacués en sortie du réacteur (2).

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant au moins une étape de pré-traitement des matière organiques contenues dans les eaux usées, consistant à séparer tout ou partie des matières organiques solides, particulaires ou en suspension en excès
5 présentes dans les eaux usées, avant passage dans le réacteur (2), cette étape de pré-traitement étant réalisée dans unité de pré-traitement disposée en amont du réacteur (2).

10. Procédé selon la revendication 9, comprenant une étape de récupération des gaz riches en dioxyde de carbone produits par l'unité de pré-traitement (UPR), et une étape d'acheminement de ces gaz vers le réacteur (2).

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,
15 dans lequel l'étape d'évacuation de l'oxygène gazeux consiste en une évacuation régulée pour réguler la concentration en oxygène dissous dans les eaux traités.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,
20 dans lequel l'étape d'évacuation de l'oxygène gazeux est suivie d'une étape de récupération de l'oxygène gazeux évacué.

13. Procédé selon les revendications 9 et 12, comprenant une étape d'acheminement de l'oxygène gazeux évacué et récupéré dans le réacteur
25 (2) à destination de l'unité de pré-traitement.

1 / 3

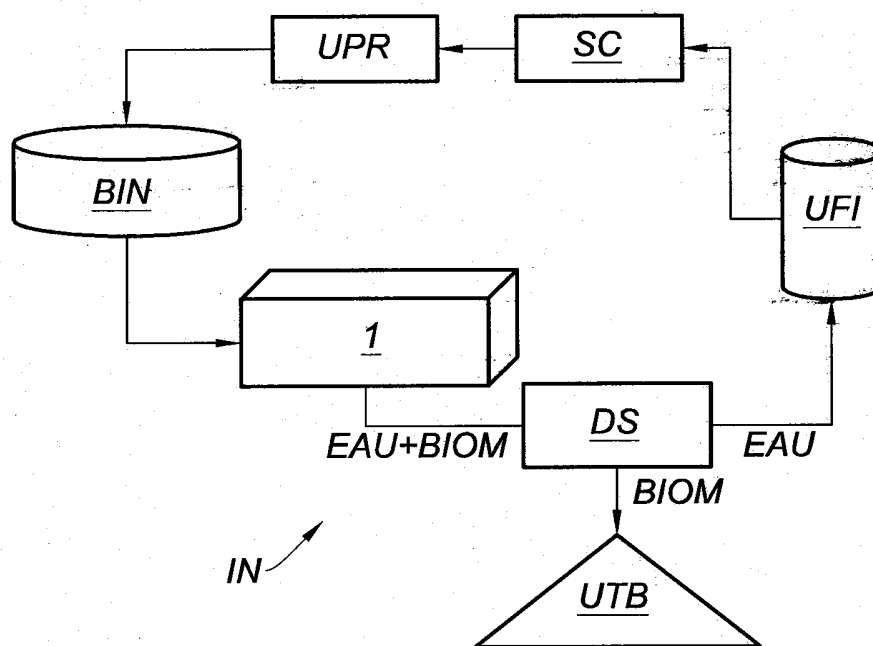


Fig. 1A

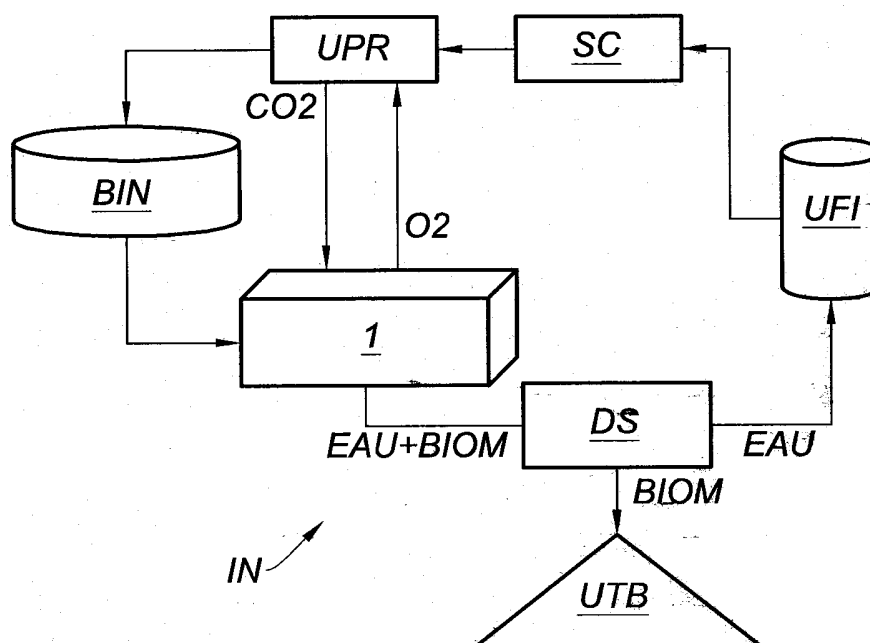


Fig. 1B

2 / 3

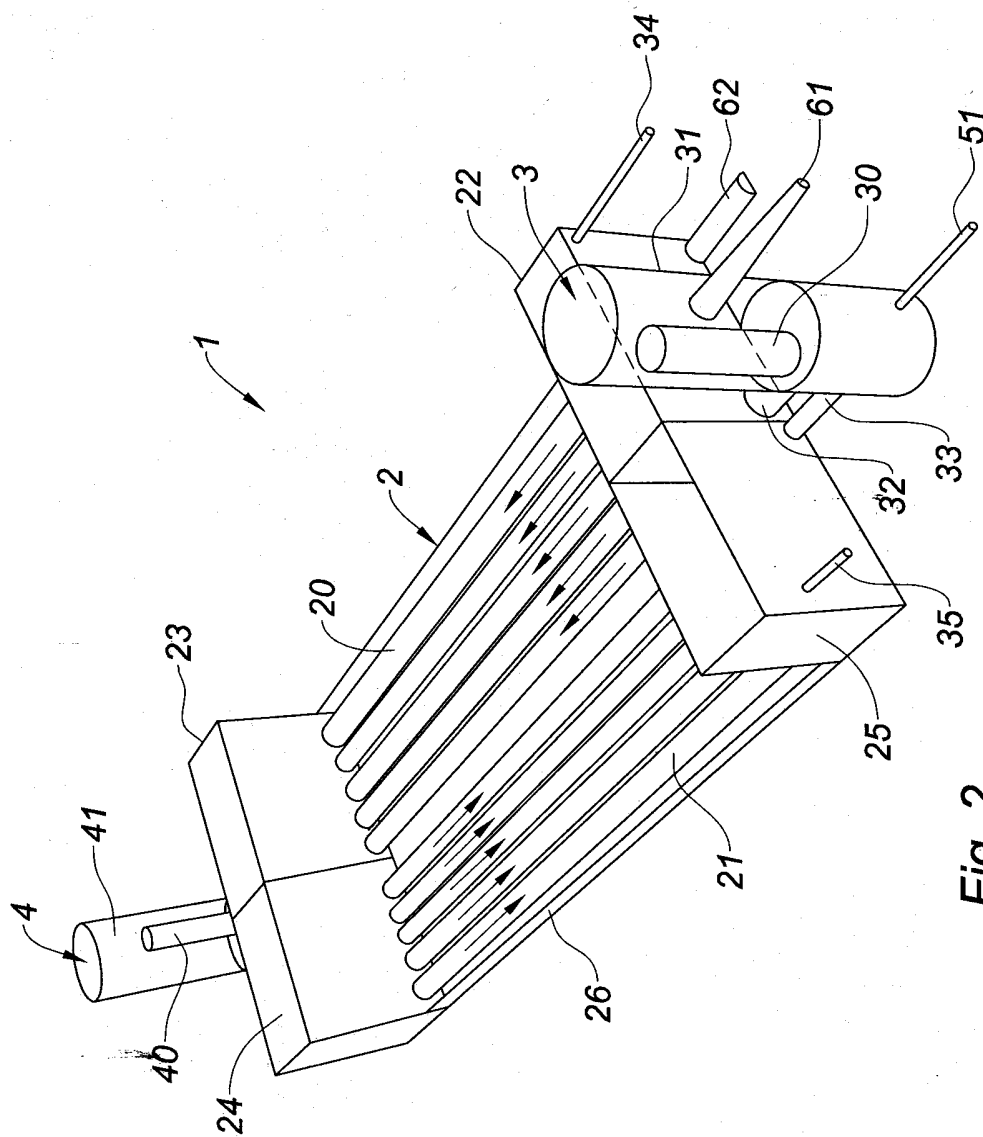


Fig. 2

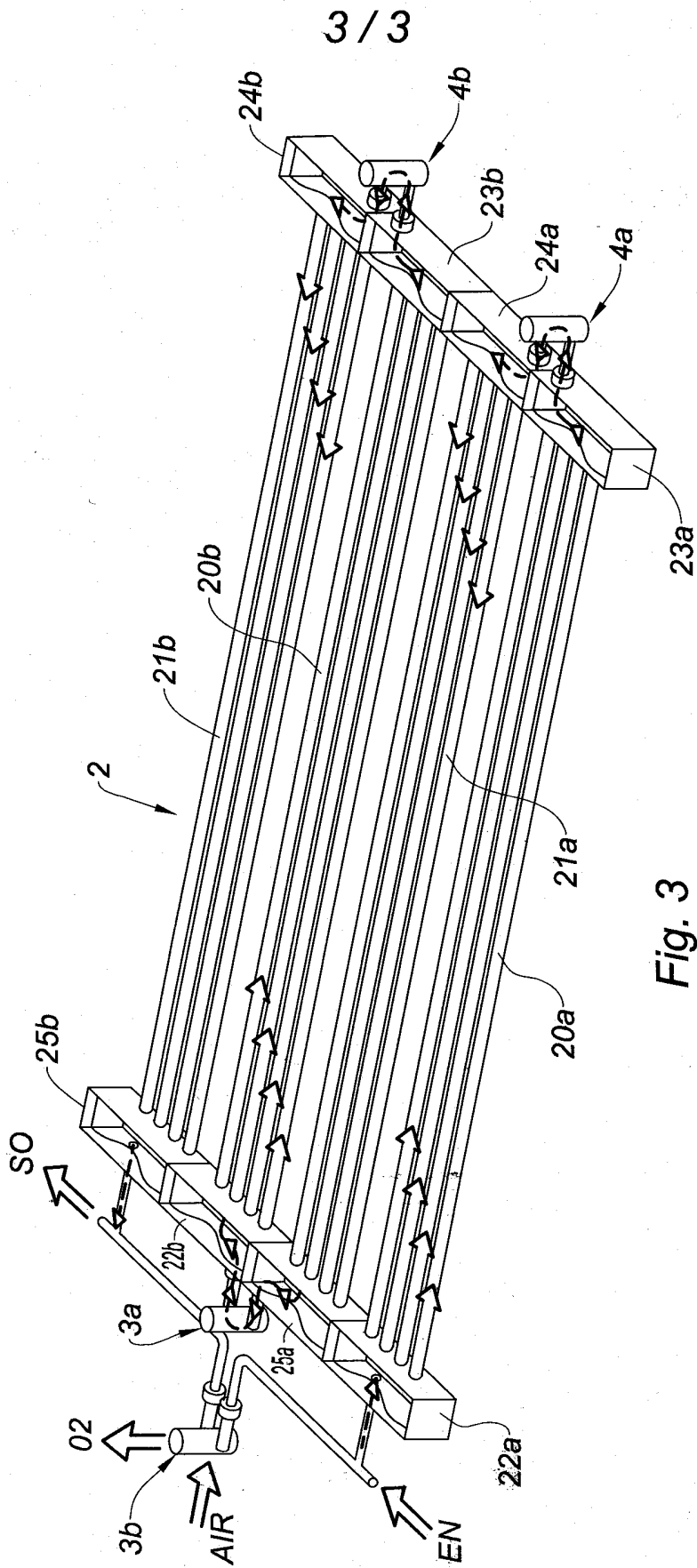


Fig. 3



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 818440
FR 1562623

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2 867 945 A (GOTAAS HAROLD B ET AL) 13 janvier 1959 (1959-01-13) * colonne 1, ligne 16 - ligne 20 * * colonne 2, ligne 18 - colonne 7, ligne 36 *	1-13	C02F9/14 C02F3/34 C02F1/32
A	WO 2011/022754 A1 (KELLOGG BROWN & ROOT LLC [US]; HENDERSON GARRY MARK [AU]; CONNOR THOMA) 3 mars 2011 (2011-03-03) * figures 1A-C *	1-13	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			C02F
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		23 août 2016	Janssens, Christophe
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

1

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1562623 FA 818440**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **23-08-2016**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2867945	A	13-01-1959	AUCUN

WO 2011022754	A1	03-03-2011	AU 2010286315 A1 15-03-2012
			BR 112012003956 A2 29-03-2016
			EP 2470480 A1 04-07-2012
			US 2012152829 A1 21-06-2012
			WO 2011022754 A1 03-03-2011
