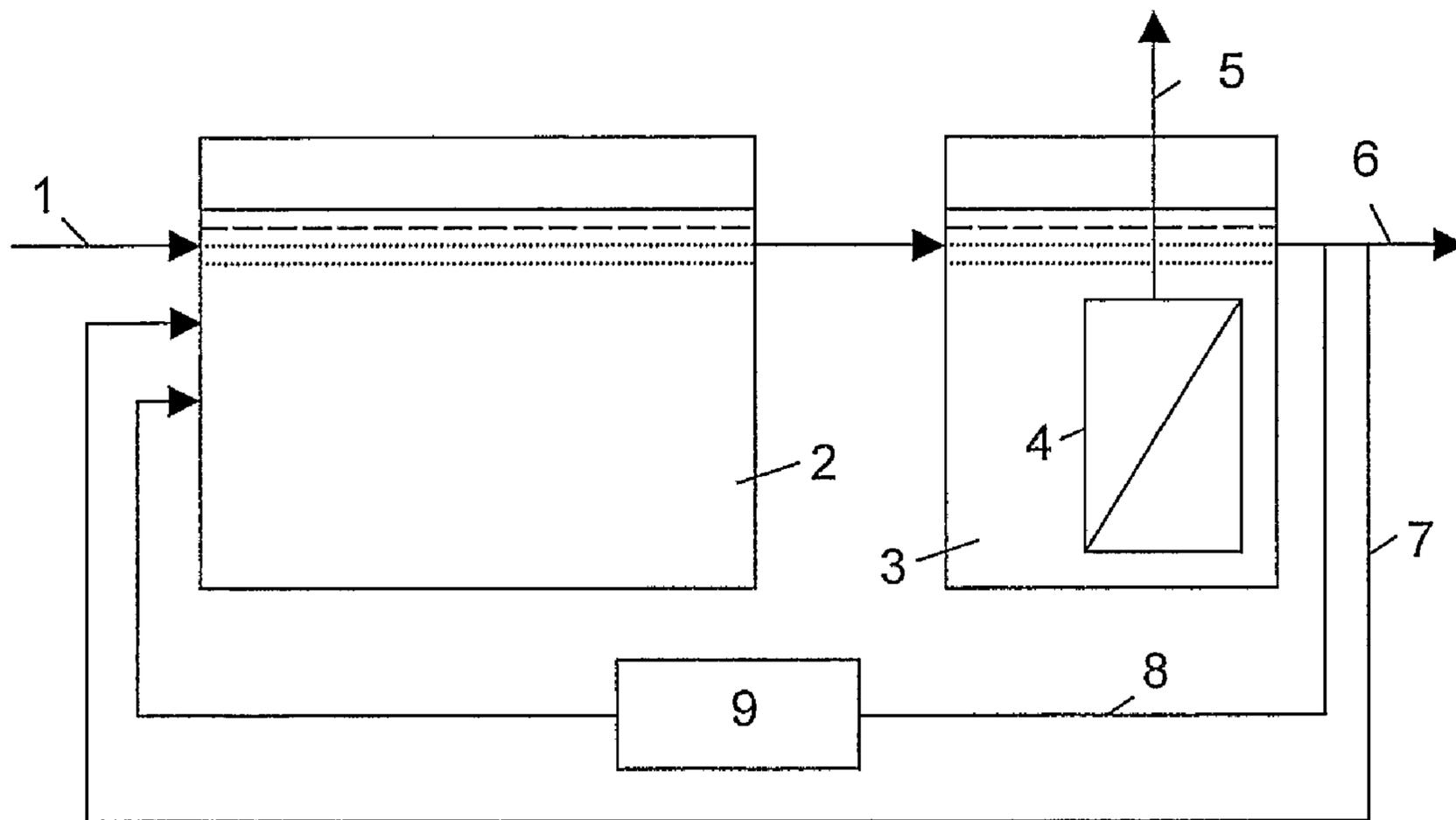




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2006/09/01
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2007/03/15
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2008/02/22
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2006/002020
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2007/028879
 (30) Priorité/Priority: 2005/09/08 (FR0509180)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *C02F 3/12* (2006.01),
C02F 1/78 (2006.01)
 (71) Demandeur/Applicant:
DEGREMONT, FR
 (72) Inventeurs/Inventors:
LEBRUN, THIERRY, FR;
LEBOSSE, XAVIER, FR;
LANGLAIS, CHRYSTELLE, FR
 (74) Agent: ROBIC

(54) Titre : PROCÉDE D'EPURATION D'EAUX USEES AVEC AJOUT D'AGENT OXYDANT
 (54) Title: METHOD FOR PURIFYING WASTE WATER WITH ADDED OXIDIZING AGENT



(57) **Abrégé/Abstract:**

La présente invention concerne un procédé d'épuration d'eaux usées chargées en matières organiques, ledit procédé comprenant une étape de mise en contact des eaux usées avec une culture biologique contenant une biomasse épuratrice et une étape de séparation effectuée par filtration au travers de membranes organiques ou inorganiques, caractérisé en ce qu'au moins une partie de ladite culture biologique est soumise à une étape de stress oxydatif conduisant à l'obtention d'une liqueur par action d'au moins un agent oxydatif conduisant à l'obtention d'une liqueur par action d'au moins un agent oxydant mis en oeuvre en faible quantité de manière à préserver l'activité biologique de la biomasse épuratrice tout en modifiant la structure du floc microbien pour le rendre plus dense.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété

Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
15 mars 2007 (15.03.2007)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2007/028879 A1(51) Classification internationale des brevets :
C02F 3/12 (2006.01) C02F 1/78 (2006.01)(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2006/002020(22) Date de dépôt international :
1 septembre 2006 (01.09.2006)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0509180 8 septembre 2005 (08.09.2005) FR(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : DE-
GREMONT [FR/FR]; 183, Avenue Du 18 Juin 1940,
F-92500 Rueil Malmaison (FR).

(72) Inventeurs; et

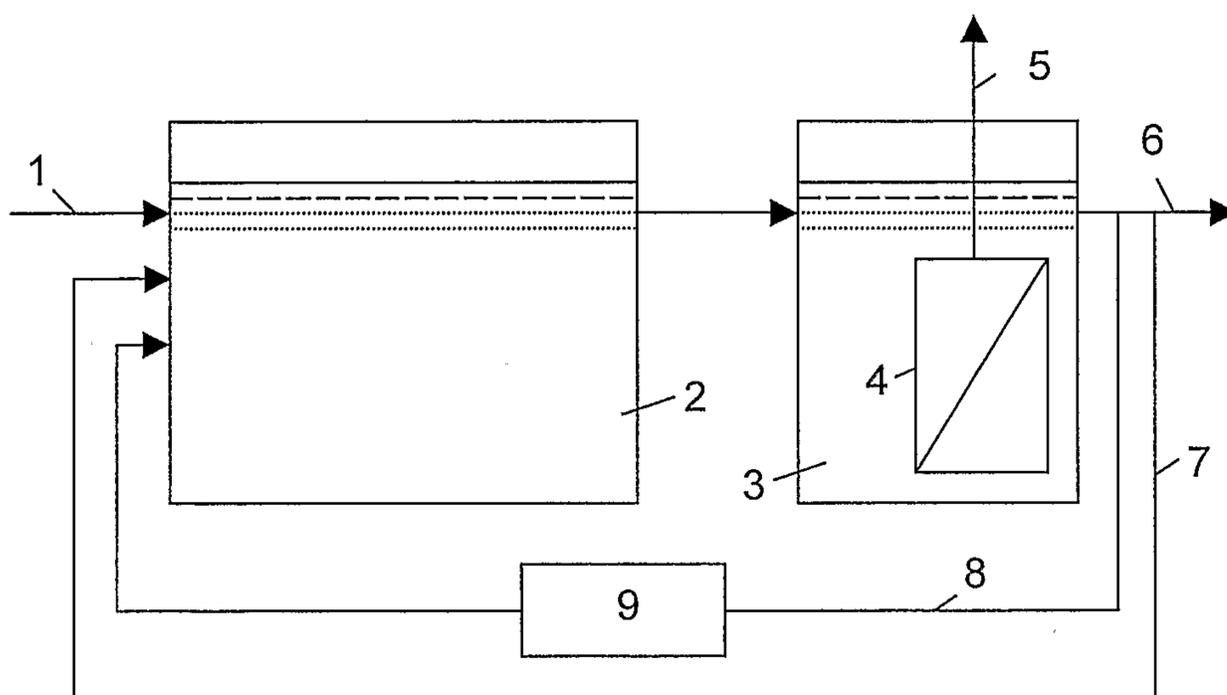
(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : LEBRUN,

Thierry [FR/FR]; 8 Allée De La Justice, F-94440 Ville-
cresne (FR). LEBOSSÉ, Xavier [FR/FR]; 13 Rue Edmond
Blanc, F-92500 Rueil Malmaison (FR). LANGLAIS,
Chrystelle [FR/FR]; 4 Rue Du 11 Novembre, F-78230 Le
Pecq (FR).(74) Mandataires : MICHARDIERE, Bernard etc.; Cabinet
Armengaud Aine, 3, Avenue Bugeaud, F-75116 Paris (FR).(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU,
LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR PURIFYING WASTE WATER WITH ADDED OXIDIZING AGENT

(54) Titre : PROCEDE D'EPURATION D'EAUX USEES AVEC AJOUT D'AGENT OXYDANT



(57) Abstract: The invention concerns a method for purifying wastewater loaded with organic matter, said method including: a step of contacting wastewater with a biological culture containing a purifying biomass and a step of separating performed by filtration through organic or inorganic membranes. The invention is characterized in that at least part of the biological culture is subjected to an oxidative stress step enabling a liquor to be obtained by the action of at least one oxidizing agent used in small amount so as to preserve the biological activity of the purifying biomass while modifying the microbial floc to make it denser.

[Suite sur la page suivante]

WO 2007/028879 A1

WO 2007/028879 A1

GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) Abrégé : La présente invention concerne un procédé d'épuration d'eaux usées chargées en matières organiques, ledit procédé comprenant une étape de mise en contact des eaux usées avec une culture biologique contenant une biomasse épuratrice et une étape de séparation effectuée par filtration au travers de membranes organiques ou inorganiques, caractérisé en ce qu'au moins une partie de ladite culture biologique est soumise à une étape de stress oxydatif conduisant à l'obtention d'une liqueur par action d'au moins un agent oxydatif conduisant à l'obtention d'une liqueur par action d'au moins un agent oxydant mis en oeuvre en faible quantité de manière à préserver l'activité biologique de la biomasse épuratrice tout en modifiant la structure du floc microbien pour le rendre plus dense.

PROCEDE D'EPURATION D'EAUX USEES AVEC AJOUT D'AGENT OXYDANT.

La présente invention est relative à des procédés et dispositifs pour améliorer le traitement des eaux usées comprenant un ou plusieurs traitement(s) biologique(s) associé(s) à un organe de séparation liquide / solide membranaire de façon à réduire les coûts d'investissement en augmentant la filtrabilité de la culture biologique et en réduisant la surface des membranes.

Plus précisément, l'invention concerne un procédé d'épuration des eaux usées, d'origine municipale ou industrielle, chargées en matières organiques, procédé comprenant une étape au cours de laquelle les eaux usées séjournent dans un dispositif de traitement mettant en œuvre une culture biologique contenant la biomasse épuratrice et dont la séparation effectuée par filtration au travers de membranes organique ou inorganique (micro-, ultra-, nano- ou hyperfiltration).

Il est connu de l'homme de métier que les membranes de filtration (micro-, ultra-, nano ou hyperfiltration) sont sensibles au colmatage ce qui conduit à un surdimensionnement initial de la surface de membrane et à long terme à l'augmentation des coûts d'exploitation correspondants aux réactifs utilisés pour le nettoyage de celles-ci. Le colmatage des membranes par différents types de substances, notamment des substances dissoutes comme les matières organiques, les colloïdes ou les substances en suspension (en abrégé MeS, Matières en Suspension), est fortement affecté par les conditions hydrauliques au voisinage de la membrane de filtration, mais également par les propriétés du floc microbien. Le colmatage conduit à une réduction très importante de la capacité de filtration de la membrane, la baisse n'étant pas toujours réversible.

Il est en outre connu (« Mémento technique de l'Eau » Tome 1, chapitre 3 et chapitre 4.1 – Edité par DEGREMONT 2005) que l'ajout de certains réactifs permet de réduire le colmatage des membranes. En particulier l'homme de l'art sait que la coagulation par des sels métalliques permet de stabiliser les colloïdes, de précipiter certaines matières organiques après adsorption et de ce fait d'améliorer la filtration de la membrane. Il est courant de trouver dans la littérature de nombreuses publications évoquant l'utilisation de charbon actif en poudre, de polymères ou d'autres structurants tels que les billes de verre permettant de réduire la quantité de particules à faibles poids moléculaires dans la phase soluble et de limiter ainsi le phénomène de colmatage.

Ces phénomènes peuvent être caractérisés selon plusieurs approches :

- Par essai de coagulation-floculation en bécher de laboratoire avec différentes doses de réactif et estimation, par exemple, des vitesses de décantation,
- Par mesure du potentiel Zêta (pZ) et surtout de l'évolution dudit pZ, en fonction des doses de réactifs ajoutées, jusqu'à déterminer la dose qui annule le pZ et qui correspond donc au taux de traitement requis pour obtenir une coagulation optimale.

Ces deux approches conduisent à définir une dose de coagulant ou de structurant, dite « dose optimale de coagulation », qui selon l'expérience acquise par l'homme de l'art est la dose qui permet le meilleur traitement de clarification de l'eau en cours de traitement et qui par conséquent va assurer les meilleures conditions de travail pour la membrane, c'est à dire les conditions les moins encrassantes.

Néanmoins, outre son coût, l'ajout d'un réactif présente plusieurs inconvénients qui se répercutent sur le coût d'exploitation, notamment ce qui a trait à sa gestion, à la production de boues physico-chimiques. D'autre part, selon l'importance de la fraction minérale dans les boues en excès, certaines filières de valorisation, telles l'incinération et la valorisation agricole, peuvent être interdites.

La présente invention vise à fournir un procédé permettant de minimiser ou à tout le moins de réduire le colmatage des membranes et d'en améliorer la capacité de filtration tout en renforçant l'économie du procédé. Pour parvenir à ce résultat les problèmes techniques à résoudre sont les suivants :

- Eviter d'introduire dans le dispositif de traitement des sels métalliques, charbon actif ou tout autre composé structurant,
- augmenter notablement le flux spécifique de production ($l.h^{-1}.m^{-2}$ de membrane),
- produire un minimum de boues,
- réduire la surface de membranes à installer pour traiter un même volume d'eau.

Les inventeurs ont constaté que, dans des conditions particulières et de façon surprenante pour l'homme de l'art, l'action de l'ozone sur la boue activée contenant la biomasse épuratrice permettait d'améliorer significativement la capacité de filtration de la membrane sans pour autant annuler le potentiel Zêta de l'eau à traiter.

L'homme de métier sait que l'oxydation par l'ozone est utilisée dans le domaine du traitement des eaux usées pour réduire la quantité de boues produites par un traitement biologique. Pour cette application, les doses d'ozone appliquées doivent être suffisamment importantes pour entraîner la déstructuration du floc microbien, l'éclatement des bactéries

et la solubilisation des matières organiques particulières de manière à les rendre biodégradables.

La demande de brevet WO 03078335 décrit un tel procédé, où les boues activées subissent un pré-traitement à l'ozone (dose de 0,02 g O₃/g matières sèches) en combinaison avec un traitement alcalin et thermique de manière à augmenter la « biodégradabilité de micro-organismes » en hydrolysant leur paroi cellulaire. Le principal inconvénient de ces procédés est de libérer dans la phase liquide, une fraction organique non biodégradable dite « DCO dure » qui s'accumule dans le bioréacteur à membrane et dont la structure fortement colloïdale peut contribuer à l'encrassement des membranes de filtration.

A cet effet, l'invention propose un procédé d'épuration d'eaux usées chargées en matières organiques, ledit procédé comprenant une étape de mise en contact des eaux usées avec une culture biologique contenant une biomasse épuratrice et une étape de séparation effectuée par filtration au travers de membranes organiques ou inorganiques, caractérisé en ce qu'au moins une partie de ladite culture biologique est soumise à une étape de stress oxydatif conduisant à l'obtention d'une liqueur par action d'ozone mis en œuvre en faible quantité, à raison de 0,1 mg à 8 mg d'ozone par gramme de matières sèches de l'effluent à traiter, de manière à préserver l'activité biologique de la biomasse épuratrice tout en modifiant la structure du floc microbien pour le rendre plus dense.

On entend par stress oxydatif au sens de l'invention, une oxydation ménagée et réduite de l'effluent à traiter de manière à provoquer l'oxydation partielle des composés oxydable. Cette oxydation incomplète provoque une modification et une structuration des boues de telle sorte qu'elles deviennent moins encrassantes pour les membranes de filtration. En particulier, ce stress oxydatif permet de générer des flocs plus denses et plus durs tout en préservant l'activité biologique de la biomasse épuratrice.

Avantageusement, la liqueur est renvoyée dans le dispositif principal par recirculation.

Du fait de la préservation de l'activité biologique de la biomasse épuratrice, il devient dès lors tout à fait possible de réintroduire en tête de ligne la liqueur et ainsi limiter l'ajout de biomasse pour les traitements biologiques en amont de la filtration par ce réensemencement.

Avantageusement, le pH est toujours compris entre 6 et 9, bornes incluses.

Cette caractéristique permet, elle aussi, de préserver l'activité biologique de la biomasse épuratrice et permet de ne pas avoir à corriger le pH des effluents et/ou de la liqueur avant un éventuel soutirage.

Selon un mode préférentiel de mise en œuvre du procédé selon l'invention, l'étape de stress oxydatif est combinée avec une agitation mécanique avant que la liqueur soit renvoyée dans le dispositif principal.

Dans ce cadre, l'agitation mécanique peut avoir lieu avant l'étape de stress oxydatif, après l'étape de stress oxydatif ou encore l'étape de stress oxydatif et l'agitation mécanique ont lieu dans la même enceinte réactionnelle.

Avantageusement, l'étape de stress oxydatif est mise en œuvre dans un réacteur d'oxydation qui comporte au moins un évent d'où sort un effluent gazeux comprenant au moins de l'oxygène, le procédé comprenant en outre une étape consistant à collecter cet effluent gazeux, et à réutiliser ledit effluent gazeux pour traiter les eaux usées ou un autre liquide résultant du traitement de ces eaux usées.

L'intérêt d'utiliser un agent oxydant gazeux tel que l'ozone est typiquement de générer à partir de l'étape de stress oxydatif, un effluent gazeux riche en oxygène qui pourra être réintroduit en tête de procédé pour favoriser la phase aérobie des traitements biologiques.

Enfin, l'étape de stress oxydatif peut être réalisée dans un réacteur travaillant sous pression, par exemple de 0,1 à 5 bars.

Grâce à ces dispositions, le floc devient plus gros et large avec une structure dense et granuleuse qui peut être observée au microscope. L'amélioration des propriétés des floes contribue à augmenter la filtrabilité de la culture biologique.

L'invention présente aussi l'avantage de réduire les éventuels désordres biologiques (notamment « bulking ») dus aux bactéries filamenteuses et d'augmenter de manière importante la décantabilité des boues.

Quelle que soit la dose d'agent oxydant et en particulier d'ozone, les bactéries filamenteuses, qui nuisent à la bonne décantation des boues du fait de leur morphologie, seront détruites ce qui augmentera d'autant la qualité du paramètre de décantation. Cela provoquera une amélioration de la qualité et de la structuration des boues.

Par ailleurs, l'invention contribue à produire des boues biologiques dont la déshydratabilité est fortement améliorée tant au niveau de la consommation de polymère que sur la siccité finale.

Le procédé selon l'invention donne d'excellents résultats lorsqu'il est appliqué à des membranes de différentes formes (capillaires, tubulaires, planes, en spirales) à peau interne et externe, présentant des configurations variées (en carter, sans carter et immergées dans un bassin). L'invention convient également aux applications relevant de l'arrosage de zones récréatives et de la réutilisation d'eaux usées dans les usines.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description faite ci-après en référence aux dessins sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique d'une installation de traitement des eaux équipée de membrane et mettant en œuvre un procédé selon différentes formes de réalisation de l'invention,

- les figures 2 à 4 sont des vues schématiques montrant plus en détail le contenu du dispositif 9 de la figure 1, dans lequel est mis en œuvre le traitement combiné d'oxydation et d'agitation mécanique de l'effluent à traiter,

- les figures 5 et 6 sont des vues similaires à la figure 1, pour une autre forme de réalisation et d'invention, et

- la figure 7 montre l'évolution de la perméabilité membranaire en fonction du temps pour un procédé conventionnel et un procédé selon l'invention.

La figure 1 représente très schématiquement une station d'épuration d'eaux usées comprenant :

- une arrivée 1 d'eaux usées chargées en matières organiques,
- un ou plusieurs réacteurs de traitement biologique, par exemple un bassin 2 dans lequel les dites matières organiques sont dégradées par la biomasse épuratrice en produisant des boues,
- un bac de filtration 3 héberge des membranes de filtration 4 qui permettent de séparer la phase liquide de la phase solide,
- une sortie de l'eau traitée 5, qui recueille l'eau filtrée en sortie de la filtration sur les membranes 4,
- une évacuation des boues produites en 6,
- une première boucle de recyclage 7 qui recueille une partie des boues au niveau de l'évacuation 6 et qui recycle ces boues en tête du bassin d'aération 2, cette première boucle de recyclage pouvant le cas échéant être supprimée (cette boucle de recyclage peut par exemple assurer un débit représentant de 50 à 400 % du débit nominal d'effluent urbain ou industriel traité par la station d'épuration), et

- une deuxième boucle 8 de transformation des boues activées, qui recueille également une partie des boues au niveau de l'évacuation 6 et qui renvoie ces boues en tête de bassin d'aération 2 après passage dans un ensemble de traitement de boues où lesdites boues subissent un traitement combiné d'oxydation par l'ozone et/ou par l'oxygène et d'agitation mécanique.

Comme représenté sur la figure 2, le dispositif 9 d'oxydation et le d'agitation mécanique, pour mettre en œuvre l'étape de stress oxydatif conformément au procédé selon l'invention, comprend un agitateur mécanique 10 consistant généralement en une enceinte 11 comprenant une ou plusieurs turbines 12 ou éventuellement des mixers dynamiques ou des hydroéjecteurs... ou tout autre système d'agitation mécanique. La puissance du système d'agitation mécanique est choisie de façon que l'ensemble 9 de traitement de boues dissipe une énergie mécanique d'agitation.

De plus, le dispositif 9 d'oxydation et d'agitation mécanique comprend un réacteur d'oxydation 13 qui consiste généralement en une enceinte fermée 16 qui reçoit la boue à traiter et dans laquelle on injecte de l'ozone provenant d'un ozoneur 17, au moyen de buses d'injection 14 (éventuellement remplacées par des diffuseurs poreux, des hydroéjecteurs ou autres), ces buses étant couplées le cas échéant à des mélangeurs statiques ou dynamiques.

L'ozonation consomme globalement de 0,1 mg à 10 mg d'ozone par g de matières sèches contenues dans les boues traitées qui traversent le dispositif 9 de transformation des boues activées.

L'enceinte 16 peut être pressurisée, et fait dans ce cas l'objet de calculs de structure appropriés. De plus cette enceinte 16 présente un évent 15 d'où sort un effluent gazeux comprenant au moins de l'oxygène qui peut être réutilisé en un point quelconque de la station d'épuration, par exemple en tête de bassin d'aération.

Par ailleurs, l'agitateur mécanique 10 et le réacteur d'oxydation 13 ne sont pas obligatoirement disposés comme sur la figure 2 ; comme représenté sur les figures 3 et 4, il est possible :

- de disposer le réacteur d'oxydation en amont de l'agitateur mécanique (voir plus particulièrement la figure 4)
- de disposer la turbine 12 ou autre système d'agitation dans le réacteur d'oxydation 18 lui-même (figure 3), ce réacteur ayant par ailleurs des caractéristiques similaires au réacteur d'oxydation 13 décrit précédemment

Enfin, comme représenté sur les figures 5 et 6, l'ensemble 9 de traitement des boues avec toutes ses variantes décrites précédemment peut éventuellement prélever les boues dans le bassin d'aération 2 et renvoyer les boues traitées dans le même bassin d'aération.

Plus généralement, l'ensemble 9 de traitement des boues peut prélever les boues à traiter en un emplacement quelconque de la station d'épuration après au moins un traitement biologique des eaux usées, et renvoyer au moins une partie des boues traitées vers ce traitement biologique.

Un exemple de mise en œuvre chiffré est décrit ci-après de façon à faire ressortir les effets techniques et avantages apportés par la présente invention.

Exemple :

Un essai a été réalisé sur deux filières de traitement identiques mettant en œuvre un bioréacteur contenant une boue activée concentrée à 10 g/l en MeS, dans lequel étaient immergées des membranes en fluorure de polyvinylidène (PVDF) dotées de pores de 0,035 microns et d'une surface totale de 0,93 m², alimentées avec la même eau brute, une eau résiduaire urbaine, l'une des filières de traitement fonctionnant conformément à l'invention. Le dispositif d'oxydation dans lequel a lieu l'étape de stress oxydatif était composé d'un réacteur équipé d'un système d'agitation mécanique dans lequel étaient introduits l'effluent à traiter provenant du bioréacteur et l'ozone produit à partir d'oxygène pur. La dose d'ozone utilisée pour cet essai était de 3 mg d'ozone par g de matières sèches contenues dans l'effluent à traiter.

Les conditions de fonctionnement de la membrane étaient :

- Flux : 40 l/h.m² à 20°C
- Durée de cycle : 15 minutes
- Durée du rétrolavage : 30 secondes
- Flux de rétrolavage : 1,35 x flux de filtration

La figure 7 montre l'évolution de la perméabilité membranaire en fonction du temps pour les deux systèmes.

Dans cet exemple, la perméabilité de la membrane de la ligne contrôle est de 71 l/h.m².bar après 100 jours de fonctionnement contre 154 l/h.m².bar pour la ligne équipée de l'invention.

L'amélioration de la filtrabilité des boues activées est également mise en évidence avec les mesures du temps de succion capillaire ou CST (Capillary Suction Time). La

valeur obtenue sur les boues activées de la filière de traitement équipée de l'invention est plus de deux fois plus faible.

	Contrôle	Essai
CST	47 s	28 s

Par ailleurs, la production de boue a été réduite de 10% et l'indice de boue amélioré de manière significative : 140 ml/g pour la ligne de contrôle contre 76 ml/g pour la ligne équipée de l'invention.

Il est clair que l'expérience rapportée ci-dessus et les résultats qu'elle permet d'obtenir vont à l'encontre de l'expérience de l'enseignement de l'art antérieur. En effet :

- l'amélioration de la filtrabilité de la culture biologique sans ajout de sels métalliques ou de réactifs structurants tels que charbon actif en poudre, polymères ou billes de verre, par modification de la structure du floc microbien soumis à un stress oxydatif, et
- l'utilisation d'un oxydant puissant tel que l'ozone à une dose suffisamment faible pour ne pas éclater les bactéries qui composent la biomasse épuratrice, sont en parfaite contradiction avec les routines d'utilisation de membranes communément admises.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'épuration d'eaux usées chargées en matières organiques, ledit procédé comprenant une étape de mise en contact des eaux usées avec une culture biologique contenant une biomasse épuratrice et une étape de séparation effectuée par filtration au travers de membranes organiques ou inorganiques, caractérisé en ce qu'au moins une partie de ladite culture biologique est soumise à une étape de stress oxydatif conduisant à l'obtention d'une liqueur par action d'ozone mis en œuvre en faible quantité, à raison de 0,1 mg à 8 mg d'ozone par gramme de matières sèches de l'effluent à traiter, de manière à préserver l'activité biologique de la biomasse épuratrice tout en modifiant la structure du floc microbien pour le rendre plus dense.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la liqueur est renvoyée dans le dispositif principal par recirculation.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le pH est toujours compris entre 6 et 9, bornes incluses.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'étape de stress oxydatif est combinée avec une agitation mécanique avant que la liqueur soit renvoyée dans le dispositif principal.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'agitation mécanique a lieu avant l'étape de stress oxydatif.

6. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'agitation mécanique a lieu après l'étape de stress oxydatif.

7. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'étape de stress oxydatif et l'agitation mécanique ont lieu dans la même enceinte réactionnelle.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de stress oxydatif est mise en œuvre dans un réacteur d'oxydation qui comporte

au moins un évent d'où sort un effluent gazeux comprenant au moins de l'oxygène, le procédé comprenant en outre une étape consistant à collecter cet effluent gazeux, et à réutiliser ledit effluent gazeux pour traiter les eaux usées ou un autre liquide résultant du traitement de ces eaux usées.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de stress oxydatif est réalisée dans un réacteur travaillant sous une pression de 0,1 à 5 bars.

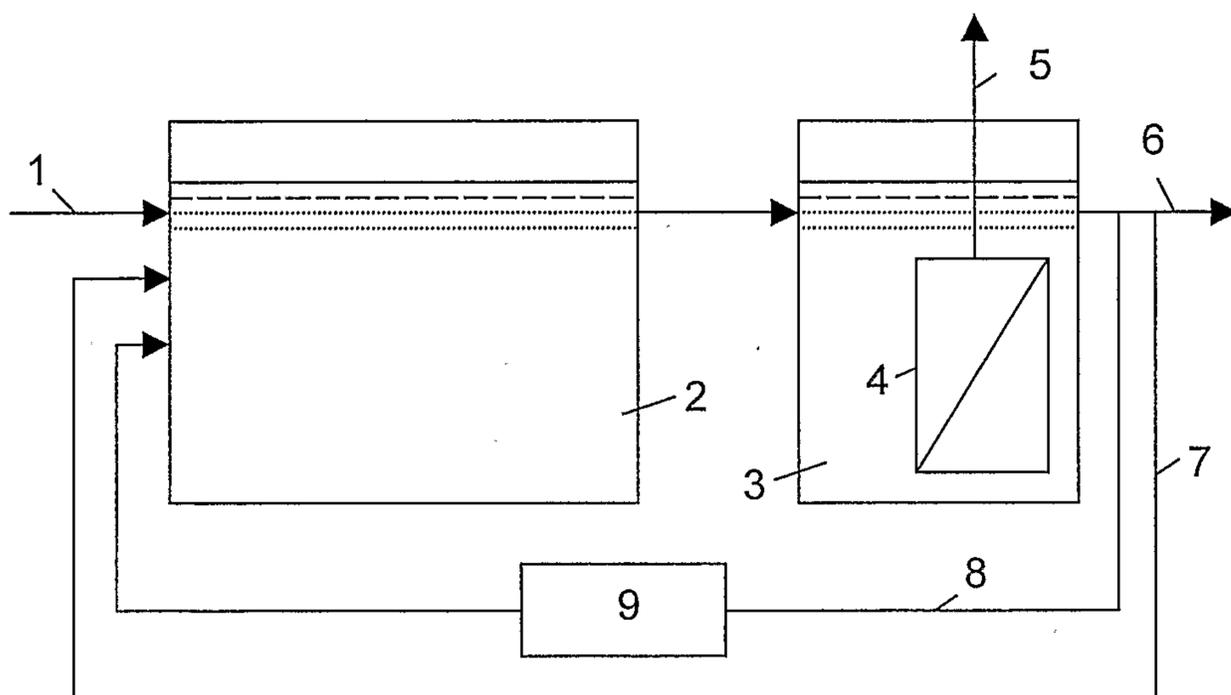


Figure 1

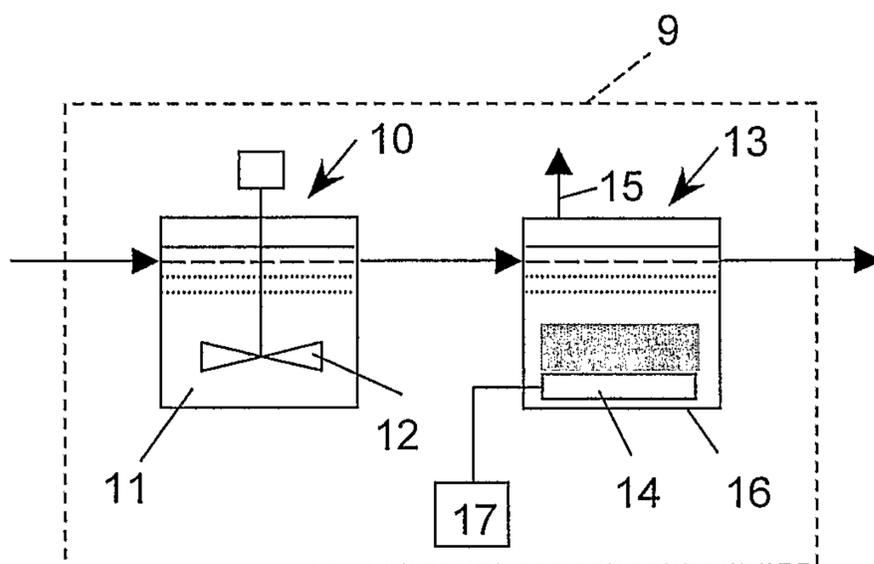


Figure 2

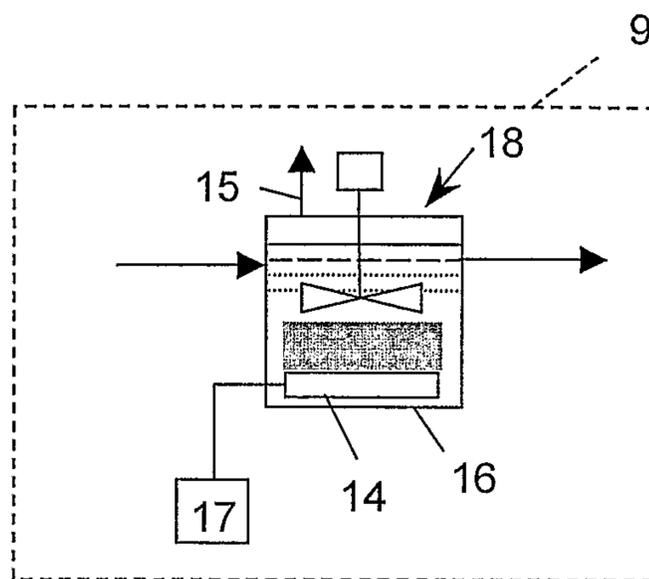


Figure 3

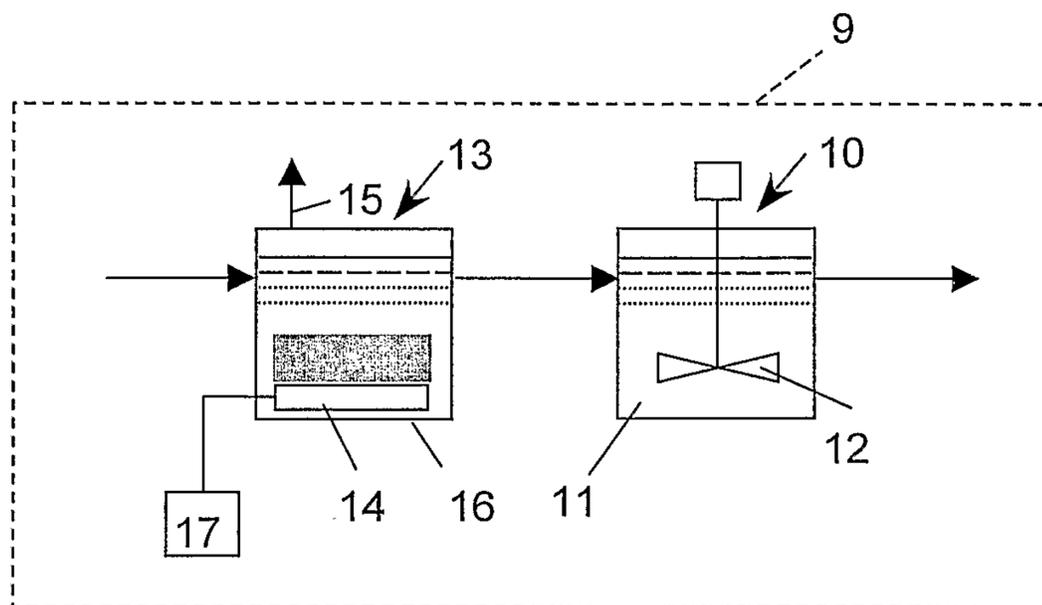


Figure 4

3/4

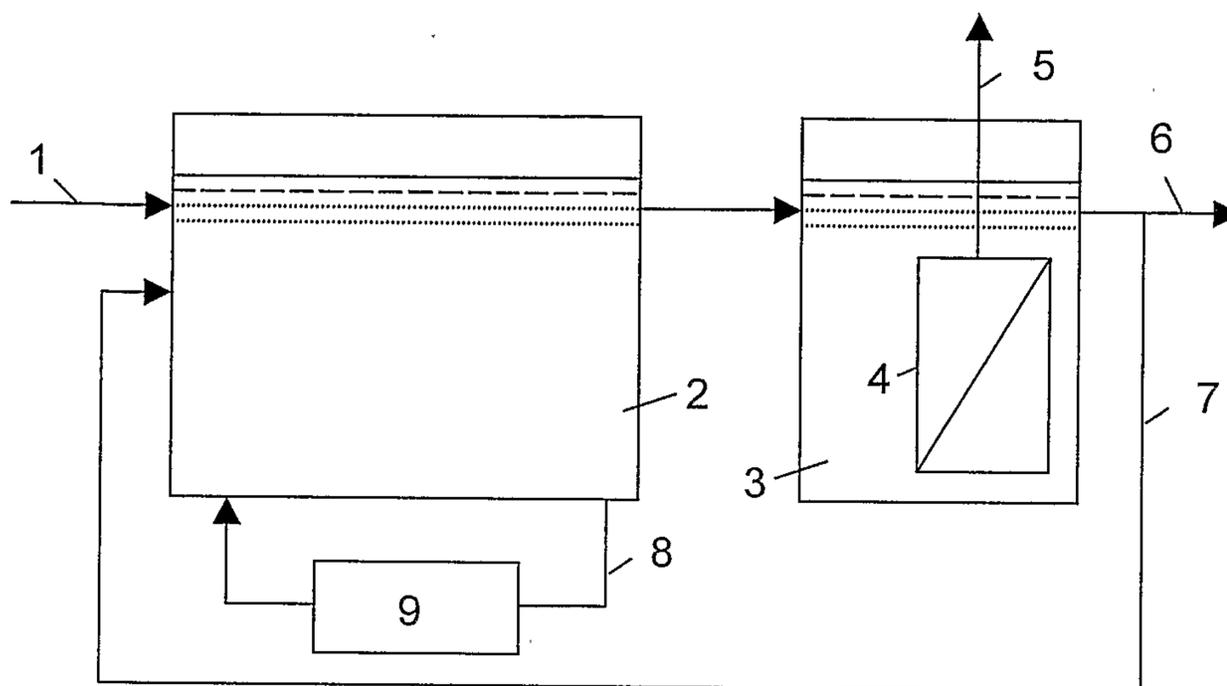


Figure 5

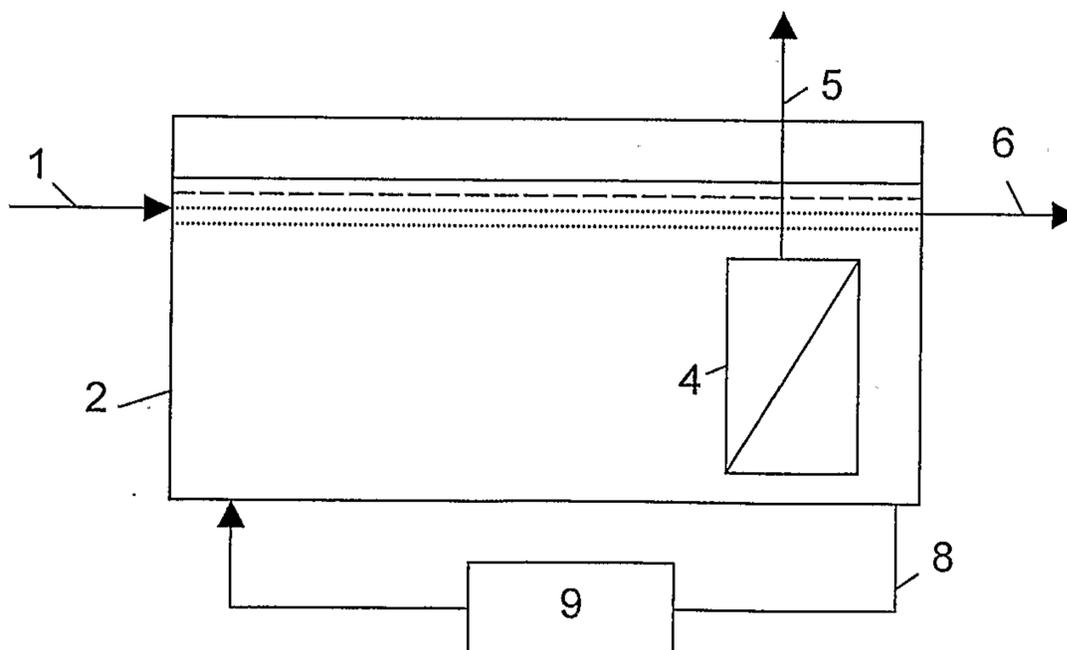


Figure 6

4/4

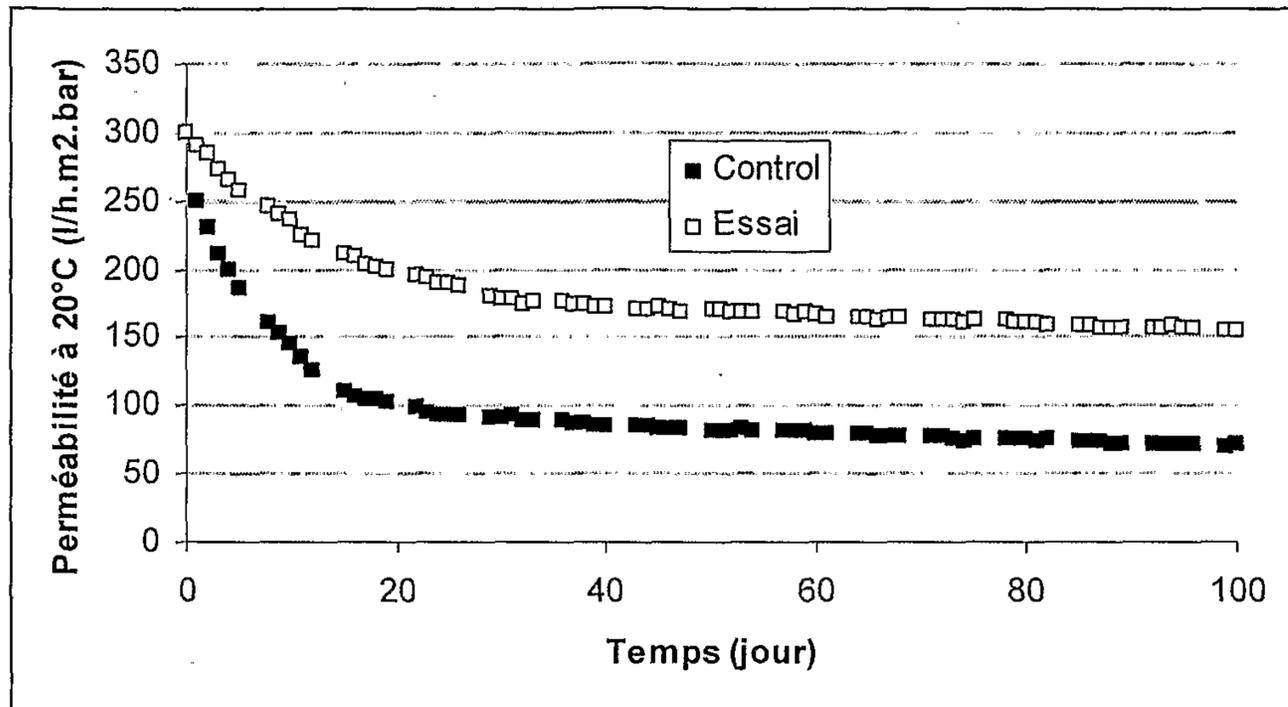


Figure 7

