

①2 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 06.07.93.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : 13.01.95 Bulletin 95/02.

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 :

⑦1 Demandeur(s) : LYONNAISE DES EAUX-DUMEZ (SA) — FR.

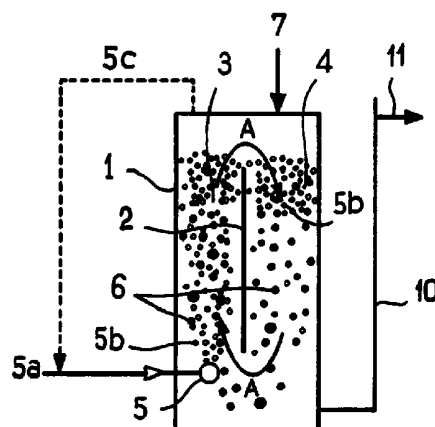
⑦2 Inventeur(s) : Manem Jacques et Lazarova Valentina.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire : Office Blétry.

⑤4 Procédé de mise en mouvement de particules supports de microorganismes dans un liquide à traiter par voie biologique, et installation de mise en œuvre du procédé.

⑤7 Procédé de mise en mouvement de particules supports de microorganismes dans un liquide à traiter par les microorganismes, caractérisé en ce qu'on introduit, dans un réacteur (1) à deux zones (3, 4) délimitées par une paroi verticale (2) laissant des passages libres en-dessous et en-dessus de ladite paroi, des particules (6) supports de microorganismes, de densité inférieure à la densité du liquide à traiter, on alimente le réacteur en liquide (7) à traiter, et on insuffle un gaz (5b) à la partie inférieure de l'une des zones (3) de réacteur, de manière à établir dans les deux zones une circulation à co-courant, permanente et ordonnée des phases liquide, solide et gazeuse.



L'invention concerne un procédé de mise en mouvement de particules supports de microorganismes dans un liquide à traiter par voie biologique par lesdits microorganismes, et notamment dans le domaine du traitement biologique des eaux résiduaires, et une installation de traitement biologique utilisant un tel procédé.

Les traitements d'épuration des eaux résiduaires mettent en oeuvre une réaction biologique entre les matières contenues ou en suspension dans les eaux résiduaires et une biomasse active. Cette biomasse peut être libre mais il s'est avéré que la fixation des microorganismes (constituant la biomasse) sur des supports minéraux ou organiques de faible granulométrie permet le maintien de concentrations élevées de biomasse dans les réacteurs biologiques, également appelés bioréacteurs. Ceci assure des charges volumiques plus élevées et des réacteurs plus compacts que dans les procédés classiques utilisant une biomasse libre.

Dans la technique antérieure des traitements biologiques utilisant des cultures fixées, on trouve essentiellement trois groupes de réacteurs: les réacteurs à lit fixe, les réacteurs à lits fluidisés di- ou triphasiques et les réacteurs à lit turbulent.

Des exemples de réacteurs à lit fixe sont les biofiltres immergés aérés à remplissage granulaire. Certains mettent en oeuvre des matériaux granulaires ayant une densité supérieure à celle de l'eau (sable) tandis que d'autres utilisent des supports flottants (cf. DE-A-25 49 415, GB-A-2 239 192, FR-A-2 498 589, FR-A-2 669 917, FR-A-2 670 682, FR-A-2 673 932). L'inconvénient majeur de ce type de bioréacteurs est la

présence d'une partie considérable de biomasse inactive en raison du colmatage rapide du lit et des limitations de diffusion. Il est donc indispensable d'effectuer des lavages fréquents du lit fixe, lavages qui interrompent le traitement et produisent des quantités importantes d'eaux de lavage à recycler ou traiter spécifiquement.

Les réacteurs à lit fluidisé se caractérisent par une expansion homogène du support granulaire, assurée par la vitesse superficielle du liquide et maîtrisée par une recirculation de l'effluent. De tels réacteurs assurent un bon transfert de masse entre la phase liquide et la biomasse fixée mais la répartition uniforme du flux hydraulique qui est d'une importance primordiale nécessite la mise au point de dispositifs techniques précis, sophistiqués et coûteux. On obtient toutefois des rendements élevés et la fréquence de lavage du lit est considérablement réduite. Toutefois, la biomasse fixée est distribuée de manière irrégulière sur la hauteur du lit fluidisé, avec accumulation de particules supports comportant un biofilm très épais dans les couches supérieures du lit. Ceci entraîne un changement des propriétés physiologiques de la biomasse (en particulier diminution de l'activité spécifique) et un changement des propriétés physiques des particules chargées de biomasse qui résulte en leur entraînement hors du réacteur. FR-A-2 189 328 et US-A-4 322 296, entre autres, décrivent des systèmes et dispositifs de maîtrise de l'expansion du lit et de régulation mécanique de l'épaisseur du biofilm mais la nature complexe de tous les systèmes et dispositifs décrits dans la technique antérieure nuit au développement industriel de ce type de réacteurs. Par ailleurs lors de l'arrêt d'un tel réacteur, la biomasse décante et s'agglomère autour des dispositifs de distribution d'eau ce qui impose une protection de ceux-ci ou la possibilité en démarrage d'utiliser des énergies

considérables qui peuvent représenter jusqu'à 10% de l'énergie d'aération.

Une variante des réacteurs à lit fluidisé consiste en "lits fluidisés triphasiques" dans lesquels la force motrice est obtenue par introduction simultanée du liquide et d'un gaz (EP-A-0 175 568; Trinet et coll. (1991) *Wat.Sci.Tech.*, 23, 1347-1354; Hosaka et coll. (1991) *Wat.Env.Tech.*, n°8, 48-51). Du fait des forces de cisaillement importantes qui règnent alors dans le réacteur, le problème relatif à la maîtrise mécanique de l'épaisseur du biofilm est supprimé. Toutefois, subsistent toujours les problèmes liés à la maîtrise de l'expansion du lit et à la distribution homogène des flux, qui sont d'ailleurs encore plus difficiles à maîtriser. Certains de ces problèmes peuvent être résolus en utilisant des dispositifs annexes complexes et variés, n'évitant pas par ailleurs les problèmes de redémarrage.

Alors que les réacteurs à lit fluidisé triphasique décrits ci-dessus utilisent des matériaux granulaires à forte densité exigeant un apport d'énergie élevé pour leur mise en expansion, d'autres réacteurs dits à "lits fluidisés inverses" ont été conçus en utilisant des supports granulaires flottants (DE-A-28 41 011; EP-A-0 025 309, US-A-4 256 573). Dans de tels réacteurs, le flux de liquide et le flux de gaz circulent à contre-courant, avec une expansion du lit de haut en bas, l'expansion étant maintenue par la force motrice du liquide. De tels lits possèdent tous les avantages des lits fluidisés classiques, et sont réalisés sans dispositifs techniques complexes. Ils sont toutefois limités du point de vue hydrodynamique par la vitesse du liquide qui ne doit pas être trop élevée afin de ne pas perturber le mouvement ascendant des bulles du gaz et par la vitesse du gaz qui, à partir d'un certain débit, annule la force motrice du liquide en induisant un

phénomène de pseudo-fluidisation suivie d'une décantation, pour des supports ayant une faible densité voisine de celle de l'eau.

Les procédés utilisant des réacteurs à lit fixe et à lit fluidisé de tous les types décrits précédemment ont pour but principal l'accumulation d'une concentration élevée de biomasse. Mais le développement de biofilms épais et la répartition non uniforme de la biomasse sur la hauteur du lit altèrent les performances biologiques et hydrodynamiques que pourraient permettre d'obtenir ces procédés.

Dans un troisième groupe de réacteurs, dits à lit turbulent, on utilise une seule force motrice, celle d'un gaz, ce qui permet d'éviter les systèmes complexes de distribution du liquide, avec souvent la nécessité d'un prétraitement du liquide brut pour éviter le colmatage du système de distribution (FR-A-2 342 785; EP-A-0 250 998). On obtient l'avantage important d'une distribution plus homogène dans l'intégralité du réacteur du support et de la biomasse fixée. Les forces de cisaillement importantes induisent alors un taux très élevé d'arrachement du biofilm mais ce phénomène n'est pas maîtrisable et peut empêcher une croissance équilibrée de celui-ci.

Il a été proposé tout récemment par Heijnen et al. (1992) Wat. Sci. Tech., v.26, 3-4, 647-654 d'utiliser des réacteurs à circulation ordonnée des phases solide et liquide, dit "réacteurs à boucle" ou "réacteurs du type air-lift". Les forces de cisaillement obtenues dans ce type de réacteurs sont modérées et favorisent un développement homogène de la biomasse fixée sur les particules supports. Cependant, ces particules supports ont des densités importantes, ce qui affecte le transfert de masse et impose une limitation du taux de remplissage des réacteurs inférieur à 10% volume/volume, d'où une limitation de la biomasse disponible. Se posent

toujours le problème de la rétention du support de biomasse dans le réacteur, impliquant l'utilisation d'un dispositif plus ou moins complexe de séparation de phases et le problème de redémarrage du réacteur après
5 arrêt de fonctionnement en utilisant de quantités considérables d'énergie pour une purge du lit tassé par insufflation d'air.

La présente invention résoud ces problèmes en fournissant un procédé de mise en mouvement de
10 particules supports de microorganismes dans un liquide à traiter par les microorganismes, dans lequel on introduit, dans un réacteur à deux zones délimitées par une paroi verticale laissant des passages libres en-dessous et en-dessus de ladite paroi, des particules
15 supports de microorganismes, de densité inférieure à la densité du liquide à traiter, on alimente le réacteur en liquide à traiter, et on insuffle un gaz à la partie inférieure de l'une des zones du réacteur, de manière à établir dans les deux zones une circulation à co-
20 courant, permanente et ordonnée des phases liquide, solide et gazeuse.

L'utilisation de particules supports ayant une densité inférieure à la densité du liquide à traiter permet de réaliser un lit flottant avec les avantages
25 que présente celui-ci : lors d'une baisse ou d'un arrêt de l'insufflation, le lit ne se tasse pas au fond du réacteur autour des dispositifs de distribution de l'air, mais reste à la surface du liquide et de cette façon la remise en route de la circulation n'exige pas
30 un apport considérable d'énergie; et on élimine le besoin d'un séparateur de phases utilisé pour réduire l'énergie cinétique et retenir le support dans le réacteur. La séparation en deux zones du réacteur et l'introduction d'un gaz à la partie inférieure de l'une
35 des zones fait qu'il existe une différence de densité entre le fluide total de la zone insufflée et celui de

la zone non insufflée. Cette différence induit une circulation à co-courant, permanente et ordonnée des trois phases liquide, gazeuse et solide. Une telle circulation présente des avantages importants pour les processus biologiques. Elle assure d'une part un meilleur transfert de masse en évitant des forces de cisaillement excessives, propres aux lits turbulents et aux lits fluidisés triphasiques. La biomasse se trouve en permanence en contact avec les bulles de gaz fournisseurs d'oxygène en subissant le mouvement ordonné du flux liquide. Par ailleurs, de faibles vitesses superficielles de gaz induisent de fortes vitesses de circulation du liquide et du support, et de là l'apport énergétique nécessaire au maintien de cette circulation permanente est inférieur à celui nécessaire pour les autres procédés à lits mobiles, notamment les lits turbulents et les lits fluidisés.

L'un des avantages que fournit le procédé selon l'invention est la maîtrise simple et efficace de l'épaisseur du biofilm. Ceci est obtenu du fait du mouvement ordonné et maîtrisé des particules porteuses de biomasse en co-courant : 1) en flux ascendant, avec les phases liquide et gazeuse dans la zone insufflée et 2) en flux descendant, avec la phase liquide et une partie de la phase gazeuse entraînée dans la zone non insufflée. De cette façon, la surface des particules supports subit uniquement des contraintes de cisaillement dues au frottement entre les phases, sans chocs entre les particules. Ces contraintes qui sont des forces de cisaillement modérées assurent un taux constant d'arrachement du biofilm et donc le maintien d'une épaisseur optimale. Le taux d'arrachement du biofilm et par suite l'épaisseur du biofilm peuvent être réglés en fonction de la vitesse de circulation du liquide a) par la vitesse du gaz dans le compartiment à flux ascendant qui est avantageusement maintenue entre

0,001 et 0,5 m/s, de préférence entre 0,01 et 0,05 m/s,
b) par le rapport entre la hauteur et la largeur du
réacteur compris de préférence entre 1 et 12, et mieux
encore entre 4 et 10, et c) par la hauteur statique de
5 liquide, par rapport au niveau supérieur de la paroi de
séparation, qui est de ± 0 à $\pm 25\%$ de la hauteur totale
du réacteur.

Par ailleurs, la mise en circulation permanente du
support flottant entraîne une amélioration du transfert
10 de matière. Ceci assure une diminution importante des
limitations diffusionnelles et une augmentation de la
surface de transfert entre la biomasse et le liquide.
D'autre part, vu les résultats des essais expérimentaux,
la présence d'une phase solide de faible densité (masse
15 volumique réelle comprise entre 0,65 et 0,97 g/cm³) a un
effet positif sur le transfert jusqu'à des taux de
remplissage qui sont beaucoup plus importants que ceux
utilisés dans les procédés avec des supports ayant une
masse volumique supérieure à 1,0 g/cm³, taux de
20 remplissage qui peuvent aller de 5 à 50% volume/volume
et de préférence de 20 à 40% volume/volume permettant
d'augmenter considérablement la quantité de la biomasse
active dans le réacteur.

Il est ainsi assuré une activité maximale de la
25 biomasse fixée sur les particules supports et l'on
obtient ainsi des rendements plus élevés du réacteur.

La mise en mouvement des particules supports selon le
procédé de l'invention a également comme avantage une
réduction de la consommation d'énergie. Ceci est dû au
30 fait que la force motrice est assurée par une injection
gazeuse, dont il est reconnu qu'elle est très
économique. La vitesse minimale de gaz, et de là,
l'apport énergétique, pour le maintien de la circulation
des particules supports est bien inférieure à la vitesse
35 minimale de fluidisation ou de la mise en turbulence
propre aux autres procédés à lits mobiles décrits dans

l'art antérieur. Pour améliorer encore cet avantage, l'insufflation se fait sous forme de fines bulles avec une répartition uniforme sur la surface de la zone insufflée. On peut en outre jouer sur les caractéristiques du support flottant pour réduire encore davantage l'apport d'énergie nécessaire pour le maintien de la circulation. A cet égard, la différence entre la masse volumique du produit choisi et celle du liquide est de préférence inférieure à $0,35 \text{ g/cm}^3$ et mieux encore est comprise entre $0,03$ et $0,20 \text{ g/cm}^3$.

De manière avantageuse, on utilise un support n'absorbant pas l'eau et dont l'état de surface est de préférence rugueux et/ou à pores ouverts, afin de promouvoir non seulement l'accrochage des micro-organismes mais également de faciliter le renouvellement continu de la biomasse fixée. Divers matériaux minéraux naturels ou organiques synthétiques (matières plastiques) peuvent être utilisés. On citera à titre d'exemple des supports granulaires de polyéthylène ou de polypropylène expansés ayant une granulométrie de $0,2$ à 10 mm , de préférence de 1 à 2 mm .

Comme indiqué précédemment, l'un des avantages du procédé de mise en mouvement du lit flottant de particules supports est que, lors d'une baisse ou d'un arrêt de l'insufflation, que ceux-ci soient volontaires ou accidentels, l'apport d'énergie pour la remise en circulation normale est faible et cette remise en circulation normale se fait sans aucune difficulté, au contraire de ce que l'on rencontre dans les lits fluidisés et turbulents qui imposent un fonctionnement discontinu, des mesures de protection des dispositifs de distribution d'eau et un démarrage à consommation élevée d'énergie. On peut en particulier avec le procédé de mise en mouvement selon l'invention, envisager une baisse périodique du taux d'aération (cas particulier de l'insufflation), lorsque les eaux à traiter ont une

meilleure qualité, ce qui est généralement le cas pour les eaux usées collectées et traitées pendant les périodes nocturnes. On peut ainsi réaliser de substantielles économies d'énergie sans pour autant
5 nuire à la remise en fonctionnement plus intense nécessitée pour les eaux usées recueillies et traitées dans la journée.

Par ailleurs, le confinement d'un matériau flottant dans un réacteur ne pose pas de problèmes particuliers et ne nécessite pas d'installations particulières. De ce
10 fait il est très facile de faire passer l'effluent d'un réacteur mettant en oeuvre le procédé de mise en mouvement selon l'invention dans des réacteurs ultérieurs, disposés en série ou en parallèle, dans
15 lesquels on met en oeuvre des traitements biologiques identiques ou différents et/ou dans lesquels la mise en mouvement des particules supports est effectuée par d'autres techniques, par exemple lits fluidisés descendants, lits flottants, ...

Il est en outre fourni selon la présente invention un mode de réalisation d'un réacteur de mise en oeuvre du
20 procédé selon l'invention en vue du traitement biologique de liquides et notamment d'eaux usées, comprenant au moins deux compartiments communiquant entre eux, chacun de ces compartiments constituant un
25 réacteur à deux zones délimitées par une paroi verticale laissant des passages libres en-dessus et en dessous de ladite paroi, l'un au moins des compartiments mettant en oeuvre le procédé de mise en mouvement en circulation
30 co-courant, permanente et ordonnée des phases liquide, solide et gazeuse selon l'invention. La mise en oeuvre dans le ou les autres compartiments de l'installation de traitement de procédés de fluidisation ou de flottation de lits permet d'effectuer dans le même réacteur à
35 compartiments des traitements biologiques différents successifs.

On peut par exemple envisager d'utiliser un premier compartiment mettant en oeuvre une technique de lit fluidisé, puis un ou plusieurs compartiments dans lesquels on met en oeuvre un lit flottant à circulation permanente et ordonnée, et un compartiment dans lequel on met en oeuvre un lit flottant.

Dans un tel dispositif, on peut réaliser successivement un traitement biologique aérobie à faible charge en lit fluidisé, qui convient particulièrement bien pour le traitement des matières carbonées ou une dénitrification en anoxie dans la zone non aérée; dans le ou les compartiments mettant en oeuvre le lit flottant à circulation permanente et ordonnée, on peut mettre en oeuvre des conditions de traitement aérobie, à forte charge de matières organiques ou pour des traitements de nitrification et enfin dans un compartiment à lit flottant, sans aération, on peut réaliser un traitement anaérobie, par exemple pour la déphosphatation des eaux ou un traitement anoxie convenable pour la dénitrification, prévue en aval de l'installation. Une recirculation entre les différents compartiments de l'eau traitée est prévue afin d'assurer l'apport de nutriments nécessaires au métabolisme bactérien en évitant une consommation importante de réactifs chimiques (méthanol ou éthanol par exemple dans les schémas classiques).

D'autre part, le gaz dégagé dans les compartiments peut être récupéré et réutilisé dans le même ou dans un autre compartiment, en recirculation, pour maintenir la circulation permanente du liquide et des particules supports en limitation et/ou en absence d'oxygène.

Les différents modes de fonctionnement des compartiments en lit fluidisé, circulant ou flottant et l'apport en oxygène pour assurer des conditions aérobie, anoxie ou anaérobie peuvent être inversés et variés au cours du traitement permettant, ainsi, de réaliser des

économies de réactifs et une meilleure qualité de l'eau épurée.

L'eau traitée dans un compartiment passe dans le suivant par un dispositif de communication qui permet
5 d'éviter les courts-circuits d'eau non traitée, d'assurer le temps de séjour hydraulique nécessaire aux procédés biologiques et de retenir les particules supports.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention
10 apparaîtront à la lecture détaillée de la description qui suit, faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

les figures 1a, 1b et 1c sont des exemples de réacteurs permettant la mise en oeuvre du procédé de
15 l'invention, et

la figure 2 est un exemple d'une installation de traitement biologique mettant en oeuvre le procédé représenté schématiquement sur les figures 1a à 1c.

Les figures 1a à 1c représentent trois modes de
20 réalisation de réacteurs dans lesquels les éléments identiques ou similaires portent les mêmes numéros de référence (de même qu'à la figure 2).

Dans un réacteur 1, une paroi verticale 2 délimite deux zones 3 et 4, communiquant entre elles par des
25 passages au-dessus et en-dessous de la paroi 2. Un système d'insufflation 5 situé à la partie inférieure de l'une des zones, ici la zone 3, est alimenté en air par la conduite 5a (ou éventuellement en air recyclé par la conduite 5c. Les microorganismes nécessaires aux
30 transformations biochimiques, par exemple pour l'épuration des eaux résiduaires, sont fixés et se développent sur des particules supports 6 granulaires de densité inférieure à celle du liquide à traiter. Le liquide à traiter est introduit par une conduite 7 en
35 haut du réacteur (ce positionnement de l'entrée de liquide à traiter est donné à titre d'exemple, le

liquide pouvant être introduit en un point quelconque, par exemple également en haut du réacteur dans la zone à flux descendant). Sous l'effet de la force motrice due aux bulles d'air 5b, les trois phases solide, liquide et gazeuse se mettent en circulation permanente et ordonnée selon les flèches A. Bien entendu, si l'aération se faisait dans la zone 4, la circulation se ferait dans le sens inverse des flèches A. Dans la zone aérée 3, le flux est ascendant et dans la zone non aérée 4 le flux est descendant.

La quantité d'air injectée dans le réacteur 1 peut être réglée pour maîtriser la vitesse de circulation du liquide entre les deux zones, par réglage de la vitesse superficielle du gaz entre 0,001 et 0,5 m/s. La masse volumique réelle du support choisi est de préférence inférieure de 0,03 à 0,35 g/cm³ à la masse volumique du liquide à traiter. Lors de son parcours dans la zone aérée 3, le biofilm formé sur les particules supports subit des contraintes de cisaillement qui maîtrisent son épaisseur. La zone aérée a également comme rôle l'apport d'oxygène nécessaire dans les processus aérobies. Comme une partie considérable des bulles d'air de la zone aérée 3 est entraînée par la forte vitesse de circulation du liquide vers la zone non aérée, avec une recirculation de 10 à 75% du gaz, il y a dans la zone non aérée un apport d'oxygène suffisant pour les processus aérobies.

La vitesse de circulation du liquide et l'apport d'oxygène sont les deux paramètres les plus importants du procédé et déterminent le fonctionnement correct du réacteur. Ils peuvent être maîtrisés d'une part par la quantité d'air injectée et d'autre part par la configuration géométrique du réacteur. En particulier, la configuration géométrique du réacteur est déterminée 1) par le rapport entre les surfaces des zones aérée 3 et non aérée 4, qui est de préférence compris entre 0,5

et 3,0, 2) par le rapport de la hauteur du réacteur à sa largeur qui est de préférence compris entre 1 et 12 et 3) par la hauteur statique du liquide. Celle-ci se trouve, par rapport au niveau supérieur de la paroi verticale 2, à ± 0 à 25% de la hauteur totale de réacteur, soit ± 0 à 1 m pour un réacteur de 4 m.

L'eau brute à traiter ou tout autre liquide, est introduite par la conduite 7 dans le réacteur 1, en n'importe quel endroit, mais avantageusement à la partie supérieure du réacteur dans la zone descendante, sans qu'il soit nécessaire d'utiliser des dispositifs spécifiques de distribution du flux de liquide qui exigent une préfiltration pour éviter leur colmatage. L'évacuation de l'eau traitée se fait par un siphon 10 et une conduite 11, protégés par un déversoir (non représenté) de manière à maintenir le niveau statique voulu de liquide dans le réacteur 1.

Dans le réacteur représenté sur la figure 1a, le réacteur est à brassage complet et l'effluent est évacué directement de la zone réactionnelle.

Dans la variante représentée à la figure 1b, l'évacuation de l'effluent se fait après passage dans une zone de tranquillisation ou de décantation 8, délimitée par des déflecteurs 13; cette zone évite le lessivage des particules flottantes du support et permet de séparer l'eau traitée du biofilm arraché des particules supports. Il est alors prévu une conduite 9 pour l'évacuation des boues qui s'accumulent au fond du réacteur.

Dans la variante représentée sur la figure 1c, le réacteur 1 est à brassage complet comme dans la figure 1a mais la zone de décantation 8 est constituée par un réacteur secondaire, indépendant et hors de la zone réactionnelle; le réacteur 1 et la zone de décantation 8 sont reliés par une conduite 8a située en-dessous du niveau statique dans le réacteur 1 et la zone de

décantation 8, niveau statique qui est déterminé par le siphon 10 et la conduite 11. L'intérêt de cette zone de décantation séparée est de permettre la récupération et le renvoi dans le réacteur 1, par la conduite 12, des particules flottantes qui auraient pu être entraînées avec l'eau traitée. Un tel entraînement des particules ne se produit normalement pas mais peut résulter d'un dysfonctionnement du réacteur.

La forme géométrique des réacteurs 1 et de la paroi verticale 2 peut-être librement choisie tant qu'elle permet la réalisation de deux zones dans l'une desquelles le flux est aéré et ascendant et dans l'autre desquelles le flux est non aéré et descendant. Le réacteur peut avoir une base rectangulaire avec une paroi verticale plane; il peut avoir une base circulaire avec une paroi verticale plane, ou bien avec une paroi cylindrique concentrique. On obtient de meilleurs résultats en utilisant les proportions indiquées ci-dessus.

La figure 2 représente, en perspective et de manière schématique, une installation de traitement biologique dans laquelle est mis en oeuvre le procédé de mise en mouvement décrit précédemment. A titre d'exemple, l'installation représentée comprend quatre réacteurs unitaires mais on pourrait envisager d'utiliser des installations comportant deux ou trois réacteurs unitaires ou compartiments, ou un nombre supérieur à quatre, selon le nombre de traitements biologiques spécifiques que l'on désirerait réaliser dans une même installation.

A titre de variante, les réacteurs unitaires ou compartiments pourraient être disposés en parallèle ou en série dans des réacteurs distincts, mais la structure réalisée en un seul réacteur à plusieurs compartiments selon la figure 2 est particulièrement avantageuse.

L'installation comporte quatre compartiments 20, 21, 22 et 23, constituant chacun un réacteur dans lequel sont délimitées par une paroi 2 deux zones 3 et 4.

On sait que les lits fluidisés inversés (c'est-à-dire
5 en flux descendant) sont plus faciles à établir que les lits fluidisés en flux ascendant et de ce fait, par réglage de la quantité d'air injectée dans la zone aérée 3 du compartiment 20, on peut établir dans la zone non aérée 4 un lit fluidisé inverse. L'aération pour
10 l'obtention de ce lit fluidisé inverse assure un apport d'oxygène qui convient, à faibles charges volumiques à l'élimination du carbone organique et/ou la dénitrification en cas d'anoxie dans la zone à flux descendant. Le liquide ainsi traité passe ensuite selon
15 la flèche C sous la paroi 24 à travers un dispositif 25 qui retient les particules supports et prévient d'éventuels courts-circuits d'eau non traitée et qui sépare le premier compartiment 20 du deuxième compartiment 21. Dans le compartiment 21, ainsi que
20 dans le compartiment 22 séparé du compartiment 21 par une cloison 24 et dispositif 25 ne permettant le passage du liquide qu'à faibles vitesses et à la partie inférieure du réacteur, il est établi une circulation permanente et ordonnée du lit flottant selon le procédé de la présente invention. On a représenté, à titre
25 d'exemple, une circulation selon les flèches B dans le compartiment 21 avec inversion de la zone aérée 3 et de la zone non aérée 4 par rapport au compartiment 20 et une circulation selon les flèches A dans le compartiment
30 22, mais il est entendu que le sens de circulation n'a qu'une importance relative. Si l'on désire poursuivre dans les compartiments 21 et 22 un processus aérobie commencé dans le compartiment 20, on établit un apport d'oxygène suffisant avec une circulation relativement
35 rapide. Ce mode de fonctionnement convient particulièrement pour les procédés en besoins en oxygène

élevé. Par contre, pour effectuer dans un des deux compartiments un traitement anoxie, on peut se contenter d'une aération faible, toutefois suffisante pour mettre le lit flottant en circulation permanente et ordonnée, et effectuer par exemple une nitrification dans le compartiment 21 et une dénitrification dans le compartiment 22. Une telle aération faible peut être obtenue par réduction du débit d'air insufflé par la conduite 5a ou par recyclage d'air appauvri en oxygène provenant du même compartiment ou d'un compartiment différent, par l'intermédiaire de la conduite 5c.

Dans le compartiment 23, on interrompt l'aération, en réalisant de ce fait un lit flottant fixe, ce qui permet d'y réaliser un processus anaérobie, par exemple de déphosphatation, et/ou de retenir les matières en suspension.

Il est prévu entre chaque compartiment une zone de décantation 8 pour éviter un entraînement important des particules supports d'un compartiment à un autre, de façon à conserver la spécificité biologique des particules supports confinées dans chaque compartiment. En plus du dispositif 25, on peut prévoir entre certains compartiments une zone de décantation 8b pour recueillir l'eau épurée et la séparer de la biomasse en excès et des particules flottantes qui seraient entraînées lors d'un dysfonctionnement du réacteur afin de les renvoyer dans les différents compartiments. Il est entendu qu'une quantité peu importante de particules supports portant une biomasse spécifique peut être introduite dans un compartiment contenant une biomasse différente, la faible quantité de biomasse introduite s'acclimatant aux nouvelles conditions.

Le fonctionnement hydraulique indépendant de chaque compartiment est assuré par un système d'insufflation 5 différencié. Par conséquent, l'injection d'air et de fait la vitesse de circulation des phases peuvent être

réglées indépendamment. Ceci fournit quelques avantages importants et uniques à ce système. Le premier avantage consiste dans la possibilité de réaliser différents régimes hydrauliques qui peuvent être ajustés en fonction des charges hydrauliques, des charges organiques ou de la qualité recherchée de l'eau traitée. Un autre avantage est la possibilité de mettre en oeuvre diverses conditions aérobies, anoxies ou anaérobies dans les différents compartiments en fonction de la pollution et du traitement recherché. On peut en particulier effectuer dans le même réacteur une élimination du carbone organique, une nitrification, une dénitrification et l'élimination du phosphore. De plus, on peut modifier périodiquement les conditions d'aération dans les différents compartiments et/ou recycler périodiquement l'eau traitée d'un compartiment dans un autre par un système de recirculation du liquide 14, afin de réduire la consommation de réactifs chimiques destinés à obtenir un pH neutre (nitrification/dénitrification) et la consommation en source de carbone pour la dénitrification.

Les exemples précédents ont mis en évidence l'utilisation des réacteurs des figures 1a, 1b, 1c et 2, avec utilisation d'air pour la mise en mouvement des particules.

Des variantes intéressantes peuvent être obtenues en remplaçant l'air insufflé dans un réacteur ou un compartiment

- par l'air recueilli en sortie du même compartiment ou réacteur, encore suffisamment riche en oxygène pour maintenir les conditions aérobies

- par le gaz recueilli dans ce même réacteur ou compartiment ou un autre gaz trop appauvri en oxygène pour être recyclé à un compartiment aérobie mais utilisable dans un compartiment fonctionnant en anoxie ou en anaérobiose

- par le gaz (méthane ou autres) formé dans d'autres compartiments ou réacteurs.

On décrira ci-dessous, à titre d'exemple, une variante de fonctionnement du réacteur à compartiments de la figure 2, variante dans laquelle on souhaite effectuer une dénitrification dans le premier compartiment.

Pour maintenir dans la zone 4 à lit fluidisé à flux descendant du compartiment 20 les conditions d'anoxie nécessaires à la dénitrification, on peut

- soit réduire la quantité d'air introduite par la conduite 5a dans le système d'insufflation de la zone 3

- soit injecter dans la zone 3 le gaz appauvri en oxygène voire même exempt d'oxygène, collecté dans la partie supérieure du compartiment 20 et recyclé en 5 par la conduite 5c.

Le liquide ayant subi la dénitrification passe ensuite dans le compartiment 21 où on établit une circulation permanente et ordonnée de lit flottant où on effectue un traitement aérobique pour l'élimination du carbone non dégradé dans le compartiment 21, avec un apport d'air assurant la réaction biologique et le maintien de la circulation.

Le liquide passe ensuite dans le compartiment 22 où, avec un apport élevé d'oxygène et une circulation relativement rapide du support obtenus par insufflation relativement importante d'air par la conduite 5a, on réalise la nitrification.

Puis dans le compartiment 23, on retient les matières en suspension et le biofilm arraché dans les compartiments précédents par arrêt ou diminution de l'insufflation et obtention d'un lit flottant fixe.

Chaque compartiment 20 à 23 étant muni d'un système d'insufflation 5 indépendant et relié à une conduite 5a d'injection d'air et aux conduites 5c de recyclage des gaz recueillis dans la partie supérieure des

compartiments, il est possible avec un système de fermeture et d'ouverture de vannes appropriées de choisir librement la nature et le débit du gaz insufflé dans chaque compartiment pour réaliser des systèmes hydrauliques différents (lit fluidisé descendant, lit circulant, lit flottant) avec diverses conditions (aérobies, anoxiques, anaérobies) que l'on peut changer, inverser ou alterner.

On peut donc réaliser dans un même réacteur un très grand nombre de variantes.

REVENDICATIONS

1.- Procédé de mise en mouvement de particules supports de microorganismes dans un liquide à traiter par les microorganismes, caractérisé en ce qu'on introduit, dans un réacteur (1) à deux zones (3,4) 5 délimitées par une paroi verticale (2) laissant des passages libres en-dessous et en-dessus de ladite paroi, des particules (6) supports de microorganismes, de densité inférieure à la densité du liquide à traiter, on alimente le réacteur en liquide (7) à traiter, et on 10 insuffle un gaz (5b) à la partie inférieure de l'une des zones (3) de réacteur, de manière à établir dans les deux zones une circulation à co-courant, permanente et ordonnée des phases liquide, solide et gazeuse.

2.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en 15 ce que la vitesse superficielle du gaz est comprise entre 0,001 et 0,5 m/s.

3.- Procédé selon l'une ou l'autre des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la différence entre la densité du liquide et celle des particules supports est 20 inférieure à 0,35.

4.- Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite différence est comprise entre 0,03 et 0,20.

5.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 25 1 à 4, caractérisé en ce que la hauteur statique de liquide, par rapport à la partie supérieure de la paroi de séparation du réacteur en deux zones, est de ± 0 à $\pm 25\%$ de la hauteur totale du réacteur.

6.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'on utilise comme particules supports un matériau granuleux, à surface rugueuse et/ou à pores ouverts, choisi dans le groupe constitué par les
5 matières minérales naturelles ou les matières plastiques synthétiques n'absorbant pas l'eau.

7.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'on utilise un réacteur à base rectangulaire, la paroi verticale de séparation
10 étant plane.

8.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'on utilise un réacteur à base circulaire, la paroi verticale étant cylindrique et concentrique.

15 9.- Procédé selon l'une ou l'autre des revendications 7 et 8, caractérisé en ce que le rapport entre la hauteur et la largeur du réacteur est compris entre 1 et 12.

20 10.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le gaz insufflé est de l'air.

25 11.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le gaz insufflé est le gaz recueilli dans la partie supérieure du réacteur (1).

12.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le gaz insufflé est le gaz recueilli dans la partie supérieure d'un autre réacteur (1).

30 13.- Installation de traitement biologique, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins deux compartiments communiquant entre eux, chacun de ces compartiments comportant un système d'insufflation (5) individuel et constituant un réacteur (1) à deux zones
35 (3,4) délimitées par une paroi verticale (2) laissant des passages libres en-dessus et en-dessous de ladite

paroi, l'un au moins (21, 22) des compartiments mettant en oeuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10.

5 14.- Installation de traitement biologique selon la revendication 12, caractérisée en ce qu'elle comprend un premier compartiment (20) dans lequel on établit un lit fluidisé de particules supports, le liquide sortant du premier compartiment étant envoyé dans un deuxième
10 compartiment (21) dans lequel on met en oeuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, le liquide obtenu étant envoyé, éventuellement après passage dans un autre compartiment (22) fonctionnant de la même manière que le deuxième compartiment, dans un dernier compartiment (23) fonctionnant en lit flottant
15 fixe.

15.- Installation selon la revendication 14, caractérisée en ce que le premier compartiment (20) est alimenté en air, éventuellement en air recyclé, par une conduite d'alimentation (5a) ou une conduite de
20 recyclage (5c) et assure l'élimination du carbone oranique, le deuxième compartiment (21) est alimenté en air par la conduite (5a) et assure une nitrification, le troisième compartiment (23) est alimenté en air, éventuellement en gaz exempt d'oxygène, recyclé par la
25 conduite (5c) pour effectuer une dénitrification, et le lit flottant fixe dans le dernier compartiment (23) retient les matières en suspension et le biofilm arraché.

16.- Installation selon la revendication 14, caractérisé en ce que le premier compartiment (20) est
30 alimenté en air en quantité réduite par une conduite d'alimentation (5a) ou en gaz recyclé par une conduite (5c) à partir d'un ou plusieurs compartiments (20,21,22,23) pour effectuer une dénitrification, le deuxième compartiment (21) est alimenté en air
35 suffisamment oxygéné par une conduite d'alimenttion ou

de recyclage (5a, 5c) pour effectuer l'élimination du carbone organique, le troisième compartiment (22) est alimenté en air par une conduite d'alimentation (5a) pour effectuer une nitrification et le lit flottant fixe dans le dernier compartiment (23) retient les matières en suspension et le biofilm arraché.

17.- Installation selon l'une quelconque des revendications 14 à 16, caractérisée en ce qu'elle comporte une zone supplémentaire (8b) à la sortie du dernier compartiment (23), de récupération des particules supports qui auraient pu s'échapper.

FIG. 1a

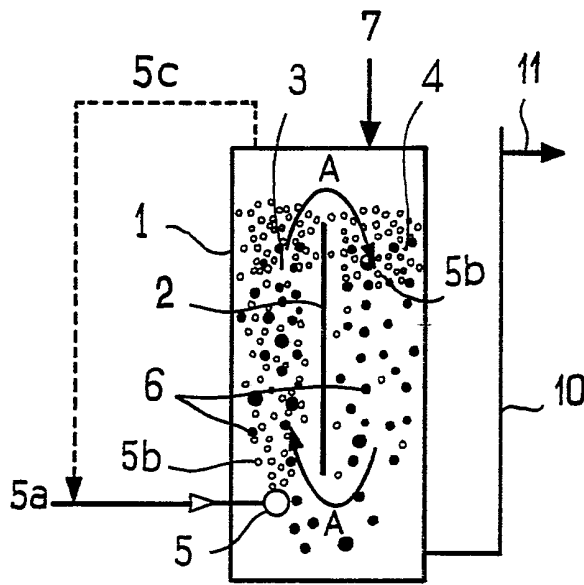


FIG. 1b

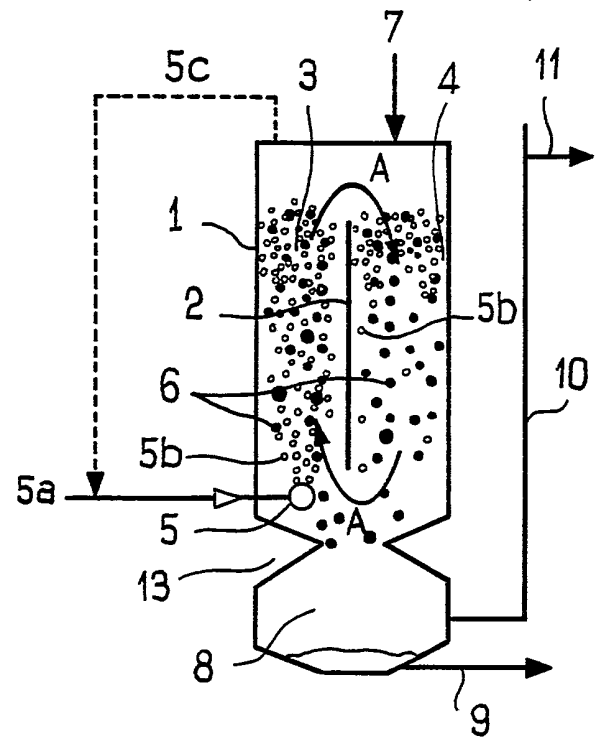
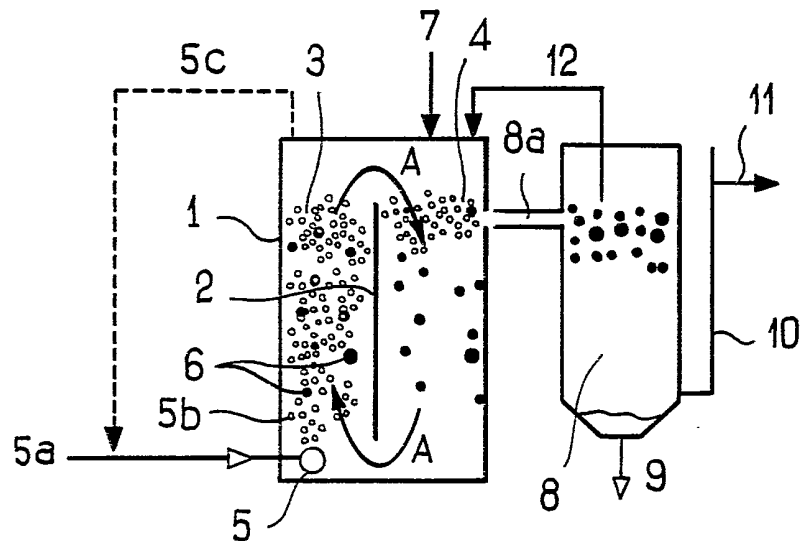


FIG. 1c



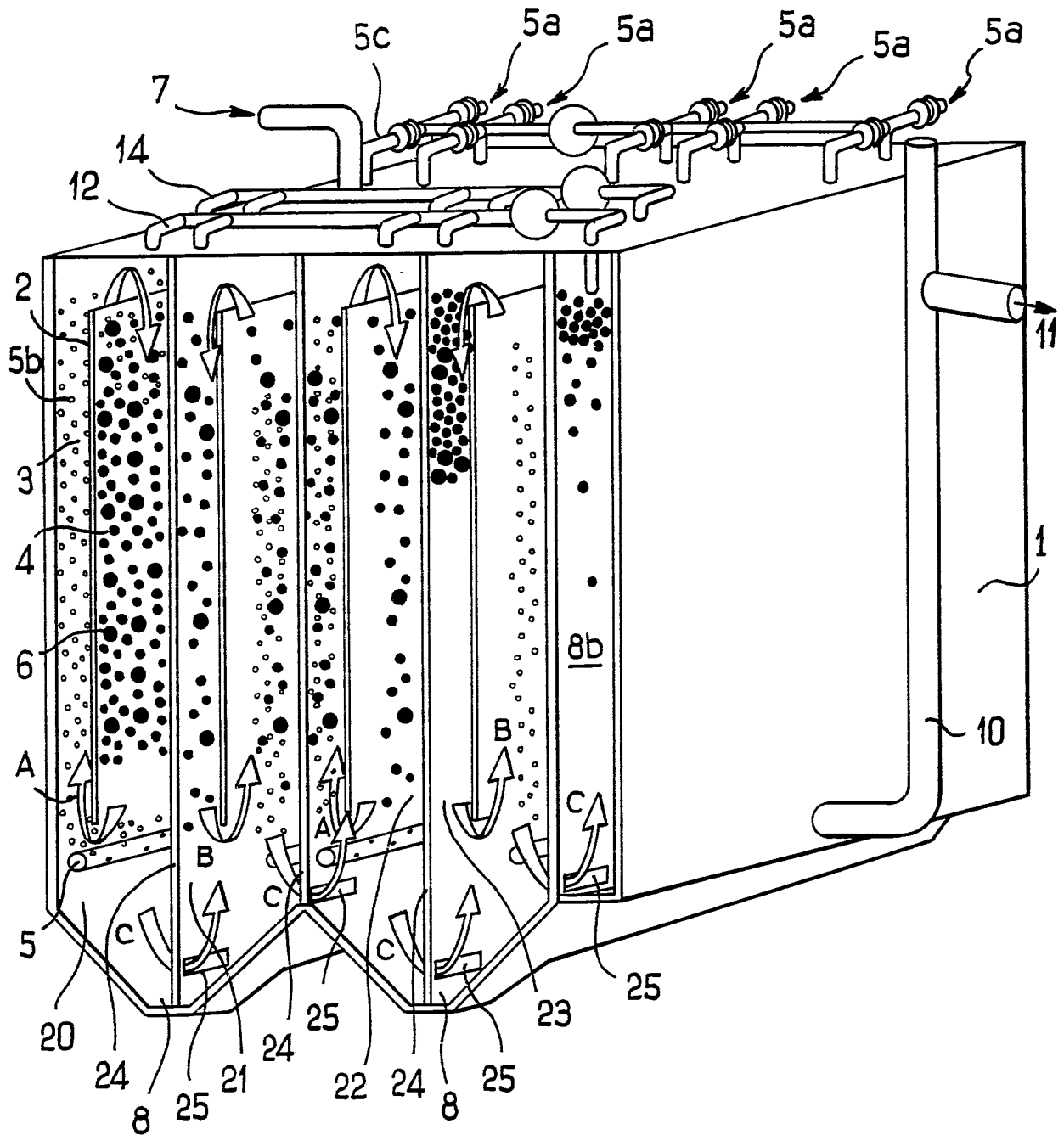


FIG. 2

INSTITUT NATIONAL

de la

PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE

PRELIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 488997
FR 9308276

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 12, no. 148 (C-493) 7 Mai 1988 & JP-A-62 262 794 (SHIMIZU CONSTR. CO. LTD.) 14 Novembre 1987 * abrégé; figure *	1,3-5, 8-11
Y	& DATABASE WPI Section Ch, Week 8751, Derwent Publications Ltd., London, GB; Class D04, AN 87-359597 & JP-A-62 262 794 (SHIMIZU CONSTRUCTION) 14 Novembre 1987 * abrégé; figure *	13,14
Y	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 17, no. 303 (C-1069) 10 Juin 1993 & JP-A-05 023 689 (MITSUBISHI KAKOKI KAISHA LTD.) 2 Février 1993 * abrégé; figures *	13,14
A	---	1,7, 9-12, 15-17
X	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 16, no. 315 (C-961) 10 Juillet 1992 & JP-A-04 090 894 (MITSUBISHI KAKOKI KAISHA LTD.) 24 Mars 1992 * abrégé; figure * & DATABASE WPI Section Ch, Week 9218, Derwent Publications Ltd., London, GB; Class A05, AN 92-147919 & JP-A-4 090 894 (MITSUBISHI KAKOKI KAISHA) 24 Mars 1992 * abrégé; figure *	1,3,4, 6-9

	-/--	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
25 Mars 1994		Stevnsborg, N
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire 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		

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIRE**
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 488997
FR 9308276

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 13, no. 569 (C-666) 15 Décembre 1989 & JP-A-01 236 995 (OSAKA GAS CO. LTD.) 21 Septembre 1989 * abrégé; figure * & DATABASE WPI Section Ch, Week 8944, Derwent Publications Ltd., London, GB; Class D04, AN 89-319730 & JP-A-1 236 995 (OSAKA GAS K.K. & OHBAYASHIGUMI K.K.) 21 Septembre 1989 * abrégé *	1-4,7,9, 10
A	EP-A-0 069 220 (BUCKAU-WALTHER AG) * abrégé * * page 5, alinéa 3 - page 7, alinéa 2 * * page 8, alinéa 1 - page 10, alinéa 1 * * figures * -----	1,7,9, 10,13, 14,17
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
25 Mars 1994		Stevnsborg, N
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire 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		

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)