



**HAL**  
open science

## Procédé de traitement d'une ressource fluide, programme d'ordinateur et module de traitement associés

Alain Rapaport, Antoine Rousseau, Jérôme Harmand

### ► To cite this version:

Alain Rapaport, Antoine Rousseau, Jérôme Harmand. Procédé de traitement d'une ressource fluide, programme d'ordinateur et module de traitement associés. France, N° de brevet: FR 3 006 309 - 13 55129. 2014, pp.1-20. hal-02795462

**HAL Id: hal-02795462**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02795462>**

Submitted on 5 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 04.06.13.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 05.12.14 Bulletin 14/49.

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) : INRIA INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE Etablissement public — FR et INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (INRA) — FR.

72 Inventeur(s) : HARMAND JEROME, RAPAPORT ALAIN et ROUSSEAU ANTOINE.

73 Titulaire(s) : INRIA INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE Etablissement public, INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (INRA).

74 Mandataire(s) : CABINET NETTER.

54 PROCÉDE DE TRAITEMENT D'UNE RESSOURCE FLUIDE, PROGRAMME D'ORDINATEUR ET MODULE DE TRAITEMENT ASSOCIES.

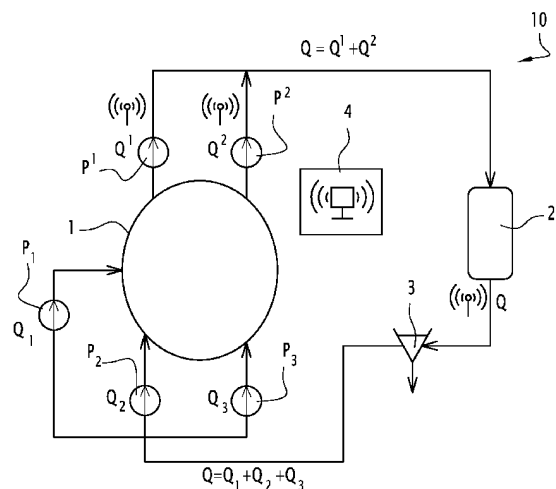
57 Procédé de traitement d'une ressource fluide (1) par un système comprenant p pompe(s) de sortie ( $P^1$ ,  $P^2$ ), une unité de traitement (2) et q pompe(s) d'entrée ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ) comprenant :

i/ une collecte des concentrations courantes d'un composant au voisinage des pompes de sortie;

ii/ un débit cible de réception du fluide par l'unité de traitement est déterminé en fonction des concentrations collectées et d'une loi de fonctionnement de l'unité de traitement reliant la vitesse de traitement du fluide dans l'unité de traitement et la concentration du composant dans le fluide en sortie d'unité de traitement;

iii/ un débit cible de pompage pour chaque pompe de sortie est déterminé en fonction de la concentration dudit composant au voisinage de ladite pompe de sortie et est transmise à ladite pompe de sortie ; et

iv/ chaque pompe de sortie met en oeuvre le débit cible de pompage transmis, l'unité de traitement mettant en oeuvre le débit cible de réception du fluide déterminé.



**Procédé de traitement d'une ressource fluide, programme d'ordinateur et module de traitement associés.**

5            La présente invention concerne un procédé de traitement d'une ressource fluide à l'aide d'un système de traitement comprenant p pompe(s) de sortie, une unité de traitement et q pompe(s) d'entrée où p et q sont des nombres entiers supérieurs ou égaux à 1, et aussi selon lequel :

- 10            - les p pompe(s) de sortie sont adaptées pour pomper le fluide hors de la ressource et délivrer le fluide pompé à l'unité de traitement ;
- l'unité de traitement est adaptée pour recevoir et traiter le fluide délivré par les pompes de sortie et pour fournir le fluide traité à q pompe(s) d'entrée, ledit traitement par l'unité de traitement comprenant la modification de la concentration d'au moins un composant du fluide; et
- 15            - les q pompe(s) d'entrée sont adaptées pour réinjecter le fluide traité dans la ressource de fluide.

             Typiquement un tel procédé est appliqué pour le traitement, par exemple de type dépollution biologique ou biochimique, notamment des bassins industriels (bassins de pisciculture, piscines...) ou des ressources d'eau en milieu naturel (étangs, lagunes, lacs...), sans y introduire directement d'agent de traitement. Le traitement s'effectue à volume constant, à l'aide d'un pompage en circuit fermé vers une unité de traitement, jusqu'à atteindre un objectif fixé à l'avance, par exemple diminuer la concentration du polluant sous une valeur seuil préalablement fixée. Typiquement, le volume de l'unité de traitement est beaucoup plus faible que celui de la ressource à traiter.

25            La qualité du fluide, i.e. sa concentration en polluant, en sortie de l'unité de traitement opérant de façon chimique ou biochimique, est usuellement une fonction décroissante de la vitesse d'alimentation. Un compromis entre vitesse d'alimentation et qualité du traitement est donc nécessaire.

             La présente invention vise à proposer une solution qui optimise la durée de traitement ou l'énergie de pompage, en s'adaptant de façon automatique aux performances de l'unité de traitement et aux caractéristiques hydrodynamiques de la ressource à traiter.

             A cet effet, suivant un premier aspect, l'invention propose un procédé du type précité caractérisé en ce qu'il comprend la mise en œuvre itérative de l'ensemble suivant d'étapes :

i/ collecte des valeurs courantes de concentration dudit composant au voisinage de chacune des pompes de sortie ;

ii/ une valeur cible de débit de réception du fluide par l'unité de traitement est déterminée en fonction d'au moins lesdites valeurs courantes de concentration collectées et d'une loi de fonctionnement de l'unité de traitement reliant la vitesse de traitement du fluide dans l'unité de traitement et la concentration dudit composant dans ledit fluide en sortie d'unité de traitement;

iii/ une valeur cible de débit de pompage pour chacune des  $p$  pompes de sortie est déterminée en fonction de la valeur courante de concentration dudit composant au voisinage de ladite pompe de sortie et est transmise à ladite pompe de sortie ; et

iv/ chacune des  $p$  pompe(s) de sortie met en œuvre une valeur de débit de pompage égale à la valeur cible transmise, et l'unité de traitement met en œuvre ladite valeur cible de débit de réception du fluide déterminée.

Dans des modes de réalisation, le procédé suivant l'invention comporte en outre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes

- le débit global de réception du fluide par l'unité de traitement est égal au débit global de fourniture du fluide traité par l'unité de traitement ;

- à l'étape iii/, les sous-étapes suivantes sont mises en œuvre :

- on détermine la valeur de concentration maximum parmi les valeurs courantes de concentration collectées à l'étape i/ ;

- la valeur cible de débit de pompage est fixée égale à zéro pour chacune des  $p$  pompes de sortie au voisinage de laquelle la valeur courante de concentration collectée à l'étape i/ est strictement inférieure à ladite valeur de concentration maximum déterminée ;

- à l'étape iii/, les sous-étapes suivantes sont mises en œuvre :

- on détermine la valeur de concentration maximum parmi les valeurs courantes de concentration collectées à l'étape i/ ;

- la valeur cible de débit de pompage est fixée égale à zéro pour chacune des  $p$  pompes de sortie au voisinage de laquelle la valeur courante de concentration collectée à l'étape i/ est strictement inférieure à une valeur de concentration fonction de ladite valeur de concentration maximum déterminée ;

- à l'étape ii/, la valeur cible de débit de réception du fluide par l'unité de traitement est déterminée comme celle qui optimise le traitement de l'unité de fonction de la valeur de concentration maximum déterminée et de la loi de fonctionnement de l'unité de traitement reliant la vitesse de traitement du fluide par l'unité de traitement et la concentration dudit composant dans ledit fluide en sortie d'unité de traitement ;

- à l'étape iii/, ladite valeur cible de débit de réception du fluide par l'unité de traitement déterminée est répartie entre les pompes de sortie pour lesquelles la valeur cible de débit de pompage n'a pas été fixée égale à zéro, déterminant ainsi la valeur cible de débit de pompage pour chacune desdites pompes de sortie ;

5           - dans une étape préalable, en mettant en œuvre les étapes selon lesquelles :  
- on définit plusieurs configurations de système de traitement comprenant des nombres distincts et/ou des localisations distinctes des pompes d'entrée et/ou de sortie ;

10           - pour chaque configuration théorique, on simule l'évolution temporelle de la concentration dudit composant dans la ressource en fonction des lois de dynamiques du fluide dans la ressource et en fonction des débits de pompage des pompes et du débit de réception de l'unité de traitement, actualisés par la mise en œuvre itérative des étapes ii/ et iii/ à partir des valeurs courantes de concentration au voisinage de chacune des pompes de sortie et fournies par la simulation ;

15           - on compare les simulations obtenues pour les configurations de système et on sélectionne, en fonction de ladite comparaison, au moins un élément parmi la localisation de pompe(s) d'entrée ou de sortie, et le nombre de pompe(s) d'entrée ou de sortie.

20           Suivant un deuxième aspect, la présente invention propose un programme d'ordinateur dans un module de traitement pour modifier la concentration d'au moins un composant d'une ressource fluide à l'aide d'un système de traitement comprenant p pompe(s) de sortie, une unité de traitement et q pompe(s) d'entrée, ledit programme comportant des instructions pour mettre en œuvre les étapes i/ à iii/ d'un procédé suivant le premier aspect de l'invention lors d'une exécution du programme par des moyens de  
25           traitement du module de traitement.

30           Suivant un troisième aspect, la présente invention propose un module de traitement pour modifier la concentration d'au moins un composant d'une ressource fluide à l'aide d'un système de traitement comprenant p pompe(s) de sortie, une unité de traitement et q pompe(s) d'entrée où p et q sont des nombres entiers supérieurs ou égaux à 1 et dans lequel :

35           - les p pompe(s) de sortie sont adaptées pour pomper le fluide hors de la ressource et délivrer le fluide pompé à l'unité de traitement ;  
- l'unité de traitement est adaptée pour recevoir et traiter le fluide délivré par les pompes de sortie et pour fournir le fluide traité à q pompe(s) d'entrée, ledit traitement par l'unité de traitement comprenant la modification de la concentration d'au moins un composant du fluide; et

- les  $q$  pompe(s) d'entrée sont adaptées pour réinjecter le fluide traité dans la ressource de fluide ;

ledit module de traitement étant caractérisé en ce qu'il est adapté pour collecter des valeurs courantes de concentration dudit composant au voisinage de chacune des pompes de sortie ;

ledit module de traitement étant adapté en outre pour déterminer une valeur cible de débit de réception du fluide par l'unité de traitement en fonction d'au moins lesdites valeurs courantes de concentration collectées et d'une loi de fonctionnement de l'unité de traitement reliant la vitesse de traitement du fluide dans l'unité de traitement et la concentration dudit composant dans ledit fluide en sortie d'unité de traitement ;

ledit module de traitement étant adapté en outre pour déterminer une valeur cible de débit de pompage pour chacune des  $p$  pompes de sortie en fonction de la valeur courante de concentration dudit composant au voisinage de ladite pompe de sortie et pour la transmise à ladite pompe de sortie.

Ces caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 représente un système de traitement dans un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 2 est un organigramme d'étapes d'un procédé dans un mode de mise en œuvre de l'invention ;
- la figure 3 représente un graphe des évolutions dans le temps de la concentration moyenne d'un polluant dans un lac en fonction des caractéristiques du système de traitement.

Sur la figure 1, un système 10 de traitement d'un lac 1 est représenté. Ce système est adapté pour diminuer la concentration d'un polluant, nommé « Pol », dans l'eau du lac 1.

Dans un mode de réalisation, le système 10 est adapté pour effectuer ce traitement jusqu'à satisfaire un critère de performance. Le critère de performance est, par exemple, dans le cas considéré, d'effectuer, en un temps minimum, le traitement de l'eau du lac 1 permettant d'amener la valeur de la concentration estimée du polluant Pol (par exemple la concentration moyenne dans le lac 1 ou la valeur maximale de la concentration dans le lac 1) en deçà d'un seuil cible  $S$ . Cette estimation de la concentration est fonction des concentrations mesurées au niveau des pompes et/ou fournies par un logiciel d'estimation de la concentration dans le lac à l'aide d'un modèle simulant l'écoulement des fluides tel que mentionné plus bas. Dans un autre exemple, le

critère de performance est par exemple de réduire au maximum la concentration du polluant Pol, un temps de traitement maximum étant fixé.

On considère que le système 10 de traitement comprend  $p$  pompes de sortie référencées  $P^1, \dots, P^p$ ,  $q$  pompes d'entrée référencées  $P_1, \dots, P_q$ ,  $p$  et  $q$  étant des nombres entiers supérieurs ou égaux à 1. Le système 10 de traitement comprend en outre une unité de traitement 2, un filtre 3 (par exemple un décanteur) et un module de calcul 4.

Dans le cas représenté sur la figure 1,  $p$  est égal à 2 et  $q$  est égal à 3, mais d'autres valeurs de nombres entiers supérieurs ou égaux à 1 peuvent être choisies pour  $p$  et  $q$  dans d'autres modes de réalisation.

Chaque pompe de sortie  $P^i$ ,  $i = 1$  à  $p$ , est adaptée pour pomper de l'eau du lac 1 et fournir, à un débit  $Q^i$  respectif de consigne, l'eau ainsi pompée à l'unité de traitement 2. On notera  $Q^i(t)$  le débit commandé à la pompe de sortie  $P^i$  à l'instant  $t$ .

Chaque pompe de sortie  $P^i$ ,  $i = 1$  à  $p$ , comprend en outre un bloc de mesure (non représenté) adapté pour mesurer la concentration en polluant Pol dans son voisinage. On note  $S_i(t)$  la concentration en polluant mesurée à l'instant  $t$ .

L'unité de traitement 2 est adaptée pour modifier la concentration en polluant Pol de l'eau contenue dans le volume  $V$  de traitement de l'unité 2, par un traitement chimique ou biochimique par exemple.

La vitesse de traitement par l'unité de traitement 2 de l'eau qui est dans le volume  $V$  de traitement est déterminable par une loi de fonctionnement propre à l'unité de traitement 2. Cette loi définit la vitesse de traitement de l'eau dans l'unité de traitement en fonction de la concentration du polluant dans l'eau désirée en sortie de l'unité de traitement. Dans le cas considéré, l'unité de traitement comprend un bioréacteur de volume  $V$  transformant le polluant Pol en biomasse, à l'aide de micro-organismes. La loi de fonctionnement du bioréacteur comprend la loi de croissance  $\mu$  des micro-organismes, qui détermine la vitesse de dégradation spécifique du polluant Pol en biomasse par les micro-organismes en fonction de la concentration en polluant Pol en sortie de traitement. Cette loi de croissance peut par exemple être de type loi de Monod ou loi de Haldane.

Le bioréacteur 2 est adapté pour être alimenté selon un débit  $Q(t)$ , à un instant  $t$ , en eau du lac 1 pompé par les pompes de sortie. Le bioréacteur 2 est adapté pour fournir au filtre 3 à l'instant  $t$  le fluide traité selon le même débit  $Q(t)$ , afin de maintenir le volume de la ressource constant.  $Q(t)$  est égal à  $\sum_{i=1}^p Q^i(t)$ .

Les micro-organismes du bioréacteur ne dégradent pas immédiatement le polluant en biomasse, car la dégradation résulte d'un mécanisme de croissance bactérienne. Ainsi si le débit de pompage des pompes de sortie est élevé, l'eau circule rapidement dans

l'unité de traitement, mais il n'est pas laissé beaucoup de temps aux micro-organismes pour dégrader efficacement le polluant Pol. Au contraire, si on fait circuler lentement l'eau, le temps de séjour de l'eau dans l'unité de traitement est long, l'action des micro-organismes est efficace, mais la durée nécessaire pour faire circuler l'intégralité de l'eau du lac 1 s'allonge. L'eau traitée dans le bioréacteur retourne vers l'eau du lac et se dilue avec celle-ci, modifiant ainsi la concentration de polluant dans le lac, dont la répartition varie au cours du temps, régie par les lois de l'hydrodynamique. La vitesse idéale est donc un compromis qui dépend des performances des micro-organismes et de la dilution de l'eau traitée dans la ressource.

Il est donc nécessaire d'ajuster en permanence la vitesse de pompage en fonction de la concentration en polluant mesurée au lieu de pompage, afin de maintenir le rendement le plus efficace. La présente invention propose une solution pour un tel ajustement.

Le filtre 3 est adapté pour filtrer l'eau en sortie de l'unité de traitement 2, de manière à en séparer la biomasse et ainsi ne pas réintroduire la biomasse dans le lac 1. Le débit d'alimentation du filtre et le débit de sortie du filtre sont égaux à  $Q(t)$  à l'instant  $t$ .

Chaque pompe d'entrée  $P_j$ ,  $j = 1$  à  $q$ , est adaptée pour réinjecter, dans le lac 1, à un débit  $Q_j$ , l'eau fournie par le filtre 3. On notera  $Q_j(t)$  le débit de la pompe d'entrée  $P_j$  à l'instant  $t$ .  $Q(t)$  est égal à  $\sum_{j=1 \text{ à } q} Q_j(t)$ .

Les pompes de sortie  $P^i$  et l'unité de traitement 2 comprennent chacune un bloc de pilotage adapté pour télé-communiquer avec le module de calcul 4, et ainsi recevoir des consignes de débit et émettre des données. Par exemple, les blocs de pilotage des pompes de sortie  $P^i$ , de l'unité de traitement 2 et le module de calcul 4 comprennent des moyens de radiocommunication (représentés sur la figure 1 par une antenne) permettant l'échange de messages selon un protocole de communication donné. Dans le mode de réalisation considéré ici, les pompes d'entrée ne comprennent pas de moyens de radiocommunication pour échanger avec le module de calcul et les débits  $Q_j(t)$  des pompes d'entrée sont simplement pris égaux à  $Q(t)/q$ . Dans d'autres modes de réalisation, les pompes d'entrée comprennent des moyens de radiocommunication pour échanger avec le module de calcul de manière à adapter leur débit respectif.

Le module de calcul 4 est notamment adapté pour recevoir des données émises par les pompes de sortie  $P^i$  et par l'unité de traitement 2, pour effectuer des traitements tels qu'indiqués ci-après et pour émettre des messages de commande à destination des pompes de sortie  $P^i$  et de l'unité de traitement 2.



Dans un mode de réalisation, le module de calcul 4 comprend un microcalculateur et une mémoire stockant un programme d'instructions logicielles (non représentés), et les étapes mises en œuvre par le module de calcul 4 sont réalisées suite à l'exécution de ce programme sur le microcalculateur.

5 En référence à la figure 2, les étapes suivantes d'un processus 100 sont mises en œuvre à l'instant  $t_n$  dans un mode de réalisation de l'invention, dans le système de traitement 10 pour déterminer les consignes de débit à appliquer en temps réel. Par exemple,  $t_n = T_0 + n \cdot T$ , où  $T_0$  et  $T$  sont fixes.

10 Dans une étape 101, chacune des pompes de sortie  $P^i$ ,  $i = 1$  à  $p$ , détermine la concentration courante, nommée  $S^i(t_n)$ , du polluant Pol à proximité de la pompe de sortie et transmet par ses moyens de télécommunication, au module de calcul 4, un message indiquant la concentration  $S^i(t_n)$  déterminée.

15 Dans une étape 102, le module de calcul 4 détermine la concentration maximum de polluant  $S_{\max}(t_n) = \text{maximum}\{ S^i(t_n) ; i = 1 \text{ à } p \}$  nommée ci-après  $S_{\max}$  parmi les concentrations  $S^i(t_n)$  reçues,  $i = 1$  à  $p$ .

Dans une étape 103, le module de calcul 4 détermine les débits  $Q(t_n)$  et  $Q^i(t_n)$  pour  $i = 1$  à  $p$ .

20 A cette fin, dans une sous-étape 103\_1, il identifie les pompes de sortie, parmi les pompes de sortie  $P^i$ ,  $i = 1$  à  $p$ , telles que la concentration  $S^i(t_n) < S_{\max} - \varepsilon$  (où  $\varepsilon$  est un paramètre de tolérance à déterminer, significativement inférieur à  $S_{\max}$ , par exemple inférieur à 10% de  $S_{\max}$  : ces pompes de sortie ainsi identifiées sont celles dont le débit va être fixé à zéro par le module de calcul 4 pour l'instant  $t_n$ . Ces pompes de sortie sont dites pompes de sortie inactives pour l'instant  $t_n$ .

25 Dans une sous-étape 103\_2, le module de calcul 4 détermine en outre le débit d'alimentation  $Q(t_n)$  de l'unité de traitement 2, cette alimentation devant être assurée par les pompes de sortie dont la concentration mesurée est supérieure à  $S_{\max} - \varepsilon$ . Ces pompes de sortie sont dites pompes de sortie actives pour l'instant  $t_n$ .

30 Dans un mode de réalisation, ce débit d'alimentation  $Q(t_n)$  pour l'instant  $t_n$  est déterminé de façon à optimiser dans l'unité de traitement 2, l'atteinte de l'objectif, dans le cas considéré l'atteinte de la valeur seuil  $S$ , en fonction de la concentration  $S_{\max}$  considérée comme la concentration courante du lac, en fonction du volume  $V$  de l'unité de traitement 2 et de la vitesse de traitement de cette unité, définie par la loi de fonctionnement de l'unité de traitement.

35 Dans le mode de réalisation considéré où l'unité de traitement 2 est un bioréacteur associé à une loi de croissance  $\mu$ , fonction de la concentration  $S$  dans le bioréacteur,  $Q(t_n)$

8

est choisi égal à  $V \times \mu(S^{\text{opt}})$  où  $S^{\text{opt}} = \underset{S_r \in ]0, S_{\text{max}}[}{\text{arg max}} [\mu(S_r)(S_{\text{max}} - S_r)]$ ,  $V$  étant le volume du

bioréacteur, conformément à ce qui est divulgué dans l'article « P. Gajardo, H. Ramírez, A. Rapaport and J. Harmand. Minimal-time bioremediation of natural water resources. Automatica, Volume 47, Issue 8 (2011) pp. 1764-1769 ».

5

Dans une sous-étape 103\_3, les débits de pompage des pompes de sortie actives pour l'instant  $t_n$ , sont ensuite déterminés en fonction du débit  $Q(t_n)$  ainsi déterminé.

Dans un mode de réalisation, le débit de pompage pour chaque pompe active de sortie pour l'instant  $t_n$  est choisi de sorte que  $\sum_{i=1 \text{ à } q} Q^i(t_n) = Q(t_n)$ , par exemple en prenant,

10 pour chaque  $i=1$  à  $p$  correspondant à une pompe  $P^i$  de sortie active,  $Q^i(t_n)$  égal à  $Q(t_n)$  divisé par le nombre de pompes actives pour l'instant  $t_n$ .

Dans une étape 104, le module de calcul 4 transmet, via ses moyens de télécommunication, à chaque pompe de sortie  $P^i$ ,  $i = 1$  à  $p$ , un message commandant la mise en œuvre de la valeur de débit de pompage  $Q^i(t_n)$  déterminée pour cette pompe pour  
15 l'instant  $t_n$  : cette valeur est nulle pour les pompes identifiées comme inactives pour l'instant  $t_n$  à la sous-étape 103\_1 et est égale à celle déterminée à la sous-étape 103\_3 pour les pompes identifiées comme actives pour l'instant  $t_n$ .

Et le module de calcul 4 transmet, via ses moyens de télécommunication, à l'unité de traitement 2 un message commandant la mise en œuvre de la valeur, déterminée pour  
20 l'instant  $t_n$ , de débit  $Q(t_n)$  qui est la valeur de débit d'alimentation et la valeur de débit de fourniture au filtre 3 de l'eau traitée par l'unité de traitement 2.

A la réception de ces commandes, les pompes de sortie  $P^i$  et l'unité de traitement 2 mettent en œuvre les nouvelles valeurs de débit ainsi commandées.

Le débit des pompes d'entrée  $P_i$ ,  $i = 1$  à  $q$ , s'adapte lui aussi automatiquement à la  
25 nouvelle valeur de débit  $Q(t_n)$  de fourniture de l'eau traitée et filtrée et est égal alors à  $Q(t_n)/q$ .

Puis, dans une étape 105, la condition de fin du processus 100 est testée. Ainsi, dans le cas considéré où une valeur cible  $S$  de concentration est à atteindre, si la concentration estimée (par exemple en moyenne, ou en valeur maximale) est inférieure à  
30 la valeur cible  $S$ , le traitement est stoppé dans une étape 106.

Si non,  $n$  est incrémenté de 1 dans une étape 107. Et les étapes indiquées ci-dessus du processus 100 sont réitérées à l'instant  $t_{n+1}$ .

Les valeurs de débit de pompage sont constantes entre  $t_n$  et  $t_{n+1}$ . Ainsi  $Q^i(t) = Q^i(t_n)$  et  $Q(t) = Q(t_n)$  pour  $t$  compris entre  $t_n$  et  $t_{n+1}$ .

Ainsi dans le mode de réalisation considéré de l'invention, toutes les pompes de sortie actives à un instant  $t$  ont le même débit de pompage. Le nombre de pompes de sortie actives est variable dans le temps. Le débit de pompage des pompes de sortie qui sont actives est également variable dans le temps.

5 L'invention définit ainsi une adaptation de la puissance des pompes et du nombre de pompes actives dans le but de rendre le traitement le plus efficace.

La présente invention offre une solution adaptée au cas où les concentrations du polluant dans la ressource peuvent être quelconques, notamment réparties de façon très hétérogène.

10 Suivant un autre aspect, l'invention propose une solution de simulation pour optimiser le choix de la configuration d'un système de traitement, notamment la localisation physique des pompes et/ou de leur nombre, et ce par exemple préalablement à l'implantation d'un système de traitement d'une ressource en fluide.

15 Considérons une ressource en fluide, par exemple un lac, sur laquelle un système de traitement de fluide est à implanter.

Selon l'invention, on définit plusieurs configurations alternatives du système de traitement du lac, comprenant une unité de traitement avec un volume donné  $V$  de traitement et régie par une loi de fonctionnement définie, et des nombres distincts de pompes d'entrée et/ou des nombres distincts de pompes de sortie, et/ou des localisations variées de ces pompes, et/ou des algorithmes divers de pilotage de débit des pompes et de l'unité de traitement.

20 Quelques obstacles peuvent en outre être considérés comme introduits dans la ressource. Les configurations peuvent également prendre en compte des valeurs du volume  $V$  distinctes et des lois de fonctionnements distincts.

25 En fonction de la géométrie de la ressource, d'équations de mécanique des fluides (par exemple les équations de Navier-Stokes), des caractéristiques de fonctionnement des pompes d'entrée/sortie (notamment débit de pompage) et de l'unité de traitement (notamment débit d'alimentation) telles que définies dans chaque configuration, un modèle simulant l'écoulement des fluides dans la ressource est construit pour cette configuration.

30 L'eau du lac transporte le polluant à traiter. On considère que seules les pompes mettent en mouvement l'eau dans le lac.

A partir de cette hypothèse, des modèles ainsi construits et de l'utilisation d'une équation de transport-diffusion dépendant du coefficient de diffusivité du lac, il est possible de déterminer la vitesse du polluant et son déplacement dans l'eau du lac et par conséquent de déterminer l'évolution temporelle de sa concentration, en différents points

du lac et notamment aux points d'implantation des pompes selon chacune des différentes configurations.

5 Ainsi, pour chacune des configurations définies, il est possible de simuler l'évolution, en fonction du temps, de la concentration du polluant en un ou différents points du lac lors du traitement par une unité de traitement, en mettant en œuvre un algorithme itératif implémentant les étapes 102 et 103 telles que décrites ci-dessus dans le cas d'un pilotage des pompes et de l'unité de traitement régi par le résultat de ces étapes, sur la base des valeurs de concentration déterminées au fur et à mesure.

10 La comparaison des évolutions simulées permet de retenir la configuration la plus satisfaisante selon un ou plusieurs critères (rapidité de traitement de l'eau du lac, coût de l'installation en fonction du nombre de pompes), et ainsi de choisir le nombre et/ou l'emplacement des pompes d'entrée et/ou de sortie, ou encore le volume ou la nature de l'unité de traitement.

15 A titre d'illustration, la figure 3 représente un graphe des évolutions dans le temps de la concentration moyenne d'un polluant dans un lac de géométrie connue, en fonction des caractéristiques du système de traitement, obtenues par simulations telles que décrites ci-dessus.

20 La courbe L1 correspond à un système comportant notamment une pompe d'entrée, une pompe de sortie et une unité de traitement, avec des consignes respectives de débit de valeur constante.

La courbe L2 correspond à un système qui, par rapport à celui considéré pour la courbe L1, comprend cette fois trois pompes de sortie, avec des consignes respectives de débit de valeur constante.

25 La courbe L3 correspond à un système comparable à celui considéré pour la courbe L2, si ce n'est que les valeurs de débit des pompes de sortie et de l'unité de traitement sont pilotées par un algorithme itératif mettant en œuvre les étapes 102-103, chaque itération permettant de déterminer des valeurs actualisées de débits de pilotage des pompes et de l'unité de traitement, ces valeurs actualisées étant alors prises en compte dans la simulation du traitement.

30 Il s'avère que le traitement par le système correspondant à la courbe L3 permet de faire diminuer la concentration moyenne de façon plus rapide que les systèmes correspondant aux courbes L1 et L2.

35 La présente invention propose donc une solution qui optimise la durée de traitement ou l'énergie de pompage pour atteindre l'objectif fixé, en s'adaptant de façon automatique aux performances de l'unité de traitement et aux caractéristiques

hydrodynamiques de la ressource à traiter, en jouant notamment sur la vitesse et/ou la localisation et/ou le nombre de pompes.

Dans le cas décrit en référence aux figures, la ressource de fluide considérée est un lac, mais l'invention peut bien sur être appliquée pour tout type de ressource de fluide :  
5 bassins de liquides industriels, piscicultures etc.

L'invention a été décrite dans le cas du traitement d'un polluant, et peut bien sûr être utilisée pour traiter plusieurs polluants simultanément.

Le module de calcul 4 peut être un module physiquement distinct des pompes, bioréacteur et filtre et par exemple être localisé dans un local informatique du système de  
10 pompage. Dans un autre mode de réalisation, le module de calcul 4 est intégré, dans un des éléments parmi les pompes, le bioréacteur et le filtre, voire distribué parmi plusieurs de ces éléments.

Dans le mode de réalisation considéré, les blocs de mesure de concentration en polluant dans le lac font partie des pompes de sortie. Dans d'autres modes de réalisation,  
15 ces blocs sont distincts des pompes de sortie et comprennent des moyens pour transmettre les concentrations mesurées au module de calcul 4.

Il a été considéré dans l'exemple décrit que le volume du bioréacteur  $V$  est faible comparé à celui du lac (par exemple d'au moins un facteur 100).

### REVENDICATIONS

5 1.- Procédé de traitement d'une ressource fluide (1) à l'aide d'un système de traitement (10) comprenant p pompe(s) de sortie ( $P^1$ ,  $P^2$ ), une unité de traitement (2) et q pompe(s) d'entrée ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ) où p et q sont des nombres entiers supérieurs ou égaux à 1, et selon lequel :

- les p pompe(s) de sortie sont adaptées pour pomper le fluide hors de la ressource et délivrer le fluide pompé à l'unité de traitement ;
- 10 - l'unité de traitement est adaptée pour recevoir et traiter le fluide délivré par les pompes de sortie et pour fournir le fluide traité à q pompe(s) d'entrée, ledit traitement par l'unité de traitement comprenant la modification de la concentration d'au moins un composant du fluide; et
- 15 - les q pompe(s) d'entrée sont adaptées pour réinjecter le fluide traité dans la ressource de fluide ;

ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend la mise en œuvre itérative de l'ensemble suivant d'étapes :

- i/ collecte des valeurs courantes de concentration dudit composant au voisinage de chacune des pompes de sortie ;
- 20 ii/ une valeur cible de débit de réception du fluide par l'unité de traitement est déterminée en fonction d'au moins lesdites valeurs courantes de concentration collectées et d'une loi de fonctionnement de l'unité de traitement reliant la vitesse de traitement du fluide dans l'unité de traitement et la concentration dudit composant dans ledit fluide en sortie d'unité de traitement;
- 25 iii/ une valeur cible de débit de pompage pour chacune des p pompes de sortie est déterminée en fonction de la valeur courante de concentration dudit composant au voisinage de ladite pompe de sortie et est transmise à ladite pompe de sortie ; et
- 30 iv/ chacune des p pompe(s) de sortie met en œuvre une valeur de débit de pompage égale à la valeur cible transmise, et l'unité de traitement met en œuvre ladite valeur cible de débit de réception du fluide déterminée.

2.- Procédé de traitement d'une ressource fluide (1) selon la revendication 1, selon lequel le débit global de réception du fluide par l'unité de traitement (2) est égal au débit global de fourniture du fluide traité par l'unité de traitement.

3.- Procédé de traitement d'une ressource fluide (1) selon la revendication 1 ou 2, selon lequel à l'étape iii/, les sous-étapes suivantes sont mises en œuvre :

- on détermine la valeur de concentration maximum parmi les valeurs courantes de concentration collectées à l'étape i/ ;

5 - la valeur cible de débit de pompage est fixée égale à zéro pour chacune des p pompes de sortie au voisinage de laquelle la valeur courante de concentration collectée à l'étape i/ est strictement inférieure à ladite valeur de concentration maximum déterminée.

4.- Procédé de traitement d'une ressource fluide (1) selon la revendication 1 ou 2, selon lequel à l'étape iii/, les sous-étapes suivantes sont mises en œuvre :

- on détermine la valeur de concentration maximum parmi les valeurs courantes de concentration collectées à l'étape i/ ;

10 - la valeur cible de débit de pompage est fixée égale à zéro pour chacune des p pompes de sortie au voisinage de laquelle la valeur courante de concentration collectée à l'étape i/ est strictement inférieure à une valeur de concentration fonction de ladite valeur de concentration maximum déterminée.

5.- Procédé de traitement d'une ressource fluide (1) selon la revendication 3 ou 4, selon lequel à l'étape ii/, la valeur cible de débit de réception du fluide par l'unité (2) de traitement est déterminée comme celle qui optimise le traitement de l'unité de fonction de la valeur de concentration maximum déterminée et de la loi de fonctionnement de l'unité de traitement reliant la vitesse de traitement du fluide par l'unité de traitement et la concentration dudit composant dans ledit fluide en sortie d'unité de traitement.

20 6.- Procédé de traitement d'une ressource fluide (1) selon la revendication 5, selon lequel à l'étape iii/, ladite valeur cible de débit de réception du fluide par l'unité de traitement déterminée est répartie entre les pompes de sortie pour lesquelles la valeur cible de débit de pompage n'a pas été fixée égale à zéro, déterminant ainsi la valeur cible de débit de pompage pour chacune desdites pompes de sortie.

30 7.- Procédé de traitement d'une ressource fluide (1) selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, selon lequel dans une étape préalable, en mettant en œuvre les étapes selon lesquelles :

35 - on définit plusieurs configurations de système de traitement (10) comprenant des nombres distincts et/ou des localisations distinctes des pompes d'entrée ( $P_1, P_2, P_3$ ) et/ou de sortie ( $P^1, P^2$ ) ;

- pour chaque configuration théorique, on simule l'évolution temporelle de la concentration dudit composant dans la ressource en fonction des lois de dynamiques du fluide dans la ressource et en fonction des débits de pompage des pompes et du débit de réception de l'unité de traitement, actualisés par la mise en œuvre itérative des étapes ii/ et iii/ à partir des valeurs courantes de concentration au voisinage de chacune des pompes de sortie et fournies par la simulation ;

- on compare les simulations obtenues pour les configurations de système et on sélectionne, en fonction de ladite comparaison, au moins un élément parmi la localisation de pompe(s) d'entrée ou de sortie, et le nombre de pompe(s) d'entrée ou de sortie.

10

8.- Programme d'ordinateur dans un module de traitement (4) pour modifier la concentration d'au moins un composant d'une ressource fluide (1) à l'aide d'un système de traitement (10) comprenant p pompe(s) de sortie ( $P^1$ ,  $P^2$ ), une unité de traitement et q pompe(s) d'entrée ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ), ledit programme comportant des instructions pour mettre en œuvre les étapes i/ à iii/ d'un procédé selon l'une des revendications 1 à 7 lors d'une exécution du programme par des moyens de traitement du module de traitement.

15

9.- Module de traitement (4) pour modifier la concentration d'au moins un composant d'une ressource fluide (1) à l'aide d'un système de traitement (10) comprenant p pompe(s) de sortie ( $P^1$ ,  $P^2$ ), une unité de traitement et q pompe(s) d'entrée ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ) où p et q sont des entiers supérieurs ou égaux à 1 et dans lequel :

20

- les p pompe(s) de sortie sont adaptées pour pomper le fluide hors de la ressource et délivrer le fluide pompé à l'unité de traitement ;
- l'unité de traitement est adaptée pour recevoir et traiter le fluide délivré par les pompes de sortie et pour fournir le fluide traité à q pompe(s) d'entrée, ledit traitement par l'unité de traitement comprenant la modification de la concentration d'au moins un composant du fluide; et
- les q pompe(s) d'entrée sont adaptées pour réinjecter le fluide traité dans la ressource de fluide ;

25

ledit module de traitement étant caractérisé en ce qu'il est adapté pour collecter des valeurs courantes de concentration dudit composant au voisinage de chacune des pompes de sortie ;

30

ledit module de traitement étant adapté en outre pour déterminer une valeur cible de débit de réception du fluide par l'unité de traitement en fonction d'au moins lesdites valeurs courantes de concentration collectées et d'une loi de fonctionnement de l'unité de

35



traitement reliant la vitesse de traitement du fluide dans l'unité de traitement et la concentration dudit composant dans ledit fluide en sortie d'unité de traitement ;

5 ledit module de traitement étant adapté en outre pour déterminer une valeur cible de débit de pompage pour chacune des  $p$  pompes de sortie en fonction de la valeur courante de concentration dudit composant au voisinage de ladite pompe de sortie et pour la transmise à ladite pompe de sortie.

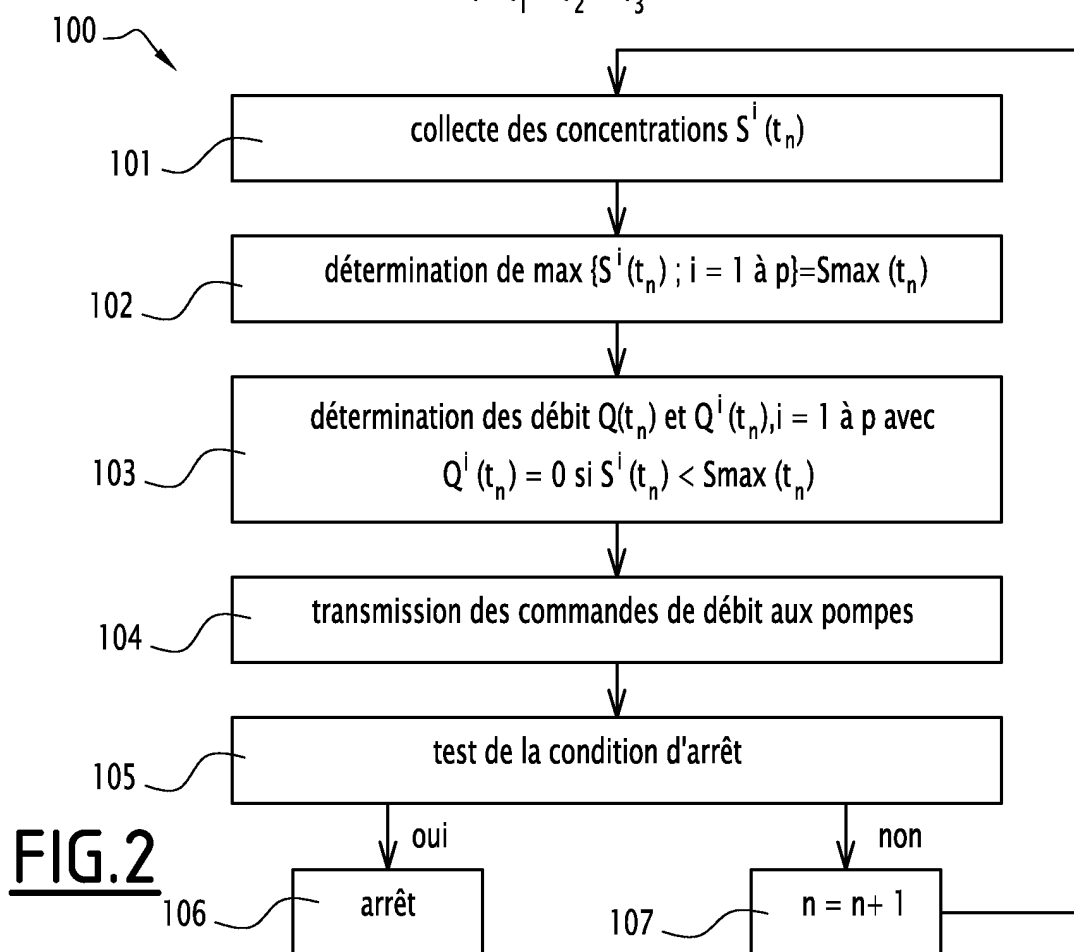
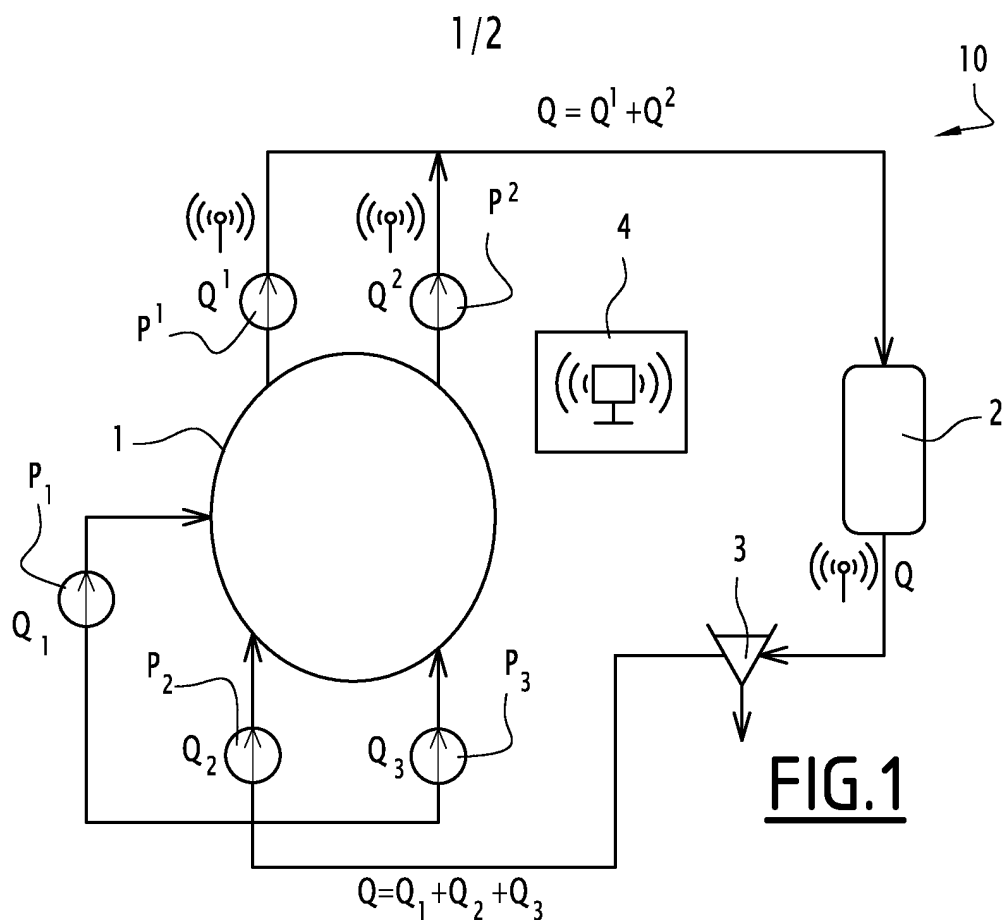
10 10.- Module de traitement d'une ressource fluide (1) selon la revendication 9, adapté pour déterminer la valeur de concentration maximum parmi les valeurs courantes de concentration collectées et pour fixer à zéro la valeur cible de débit de pompage pour chacune des  $p$  pompes de sortie au voisinage de laquelle la valeur courante de concentration collectée est strictement inférieure à ladite valeur de concentration maximum déterminée.

15 11.- Module de traitement d'une ressource fluide (1) selon la revendication 9, adapté pour déterminer la valeur de concentration maximum parmi les valeurs courantes de concentration collectées et pour fixer à zéro la valeur cible de débit de pompage pour chacune des  $p$  pompes de sortie au voisinage de laquelle la valeur courante de concentration collectée est strictement inférieure à une valeur de concentration fonction  
20 de ladite valeur de concentration maximum déterminée.

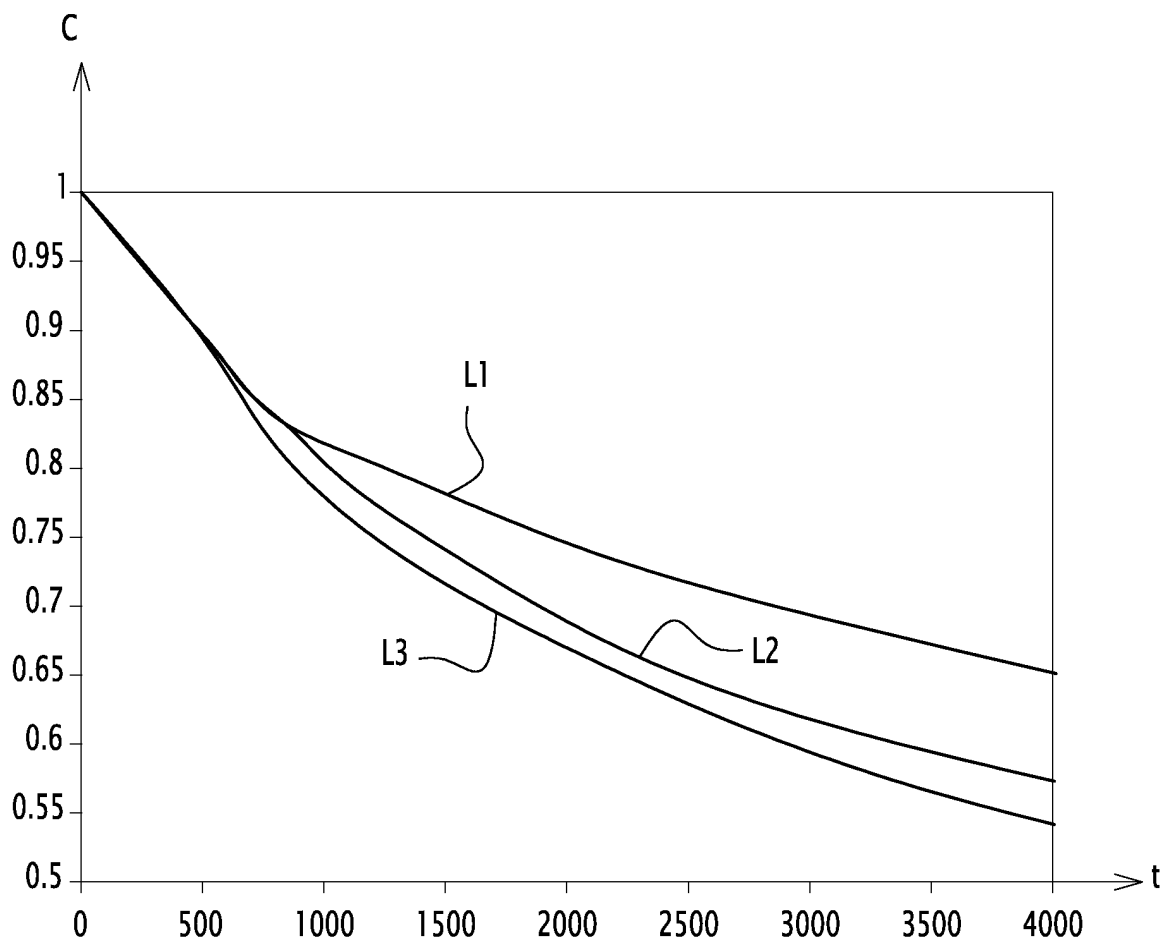
25 12.- Module de traitement d'une ressource fluide (1) selon la revendication 10 ou 11, adapté pour déterminer la valeur cible de débit de réception du fluide par l'unité (2) de traitement comme celle qui optimise le traitement de l'unité de fonction de la valeur de concentration maximum déterminée et de la loi de fonctionnement de l'unité de traitement reliant la vitesse de traitement du fluide par l'unité de traitement et la concentration dudit  
composant dans ledit fluide en sortie d'unité de traitement.

30 13.- Module de traitement d'une ressource fluide (1) selon la revendication 12, adapté pour déterminer la valeur cible de débit de pompage pour chacune des dites pompes de sortie par répartition de ladite valeur cible de débit de réception du fluide par l'unité de traitement déterminée entre les pompes de sortie pour lesquelles la valeur cible de débit de pompage n'a pas été fixée égale à zéro.

35



2/2

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 784546  
FR 1355129

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 2009/082906 A1 (SANDERSON LARRY D [US] ET AL) 26 mars 2009 (2009-03-26) * alinéa [0007] - alinéa [0011]; revendications 1-22 * * alinéa [0017] * * alinéa [0020] * * alinéa [0023] * * alinéa [0053] * * alinéa [0058] * * alinéa [0074] * * alinéa [0018] *	1-13	C02F3/00 G06Q50/00
X	US 2004/217067 A1 (MEREDITH CHRISTOPHER EDWARD [US] ET AL) 4 novembre 2004 (2004-11-04) * alinéa [0003] * * alinéa [0007] - alinéa [0010]; figure 1 * * alinéa [0016] * * alinéa [0018] - alinéa [0023] * * alinéa [0034] - alinéa [0035] * * alinéa [0057] *	1-13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
X	US 5 961 831 A (LEE PHILLIP G [US] ET AL) 5 octobre 1999 (1999-10-05) * colonne 3, ligne 9 - colonne 4, ligne 45; figure 1 * * colonne 7, ligne 54 - colonne 8, ligne 42; figure 11 *	1-13	C02F
X	US 2005/109709 A1 (MARTIN ROY [US]) 26 mai 2005 (2005-05-26) * alinéa [0003] * * alinéa [0036]; figure 1 * * alinéa [0043] - alinéa [0045] *	9-13	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
7 février 2014		Oenhausen, Claudia	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
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		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	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1355129 FA 784546**

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 **07-02-2014**  
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 2009082906 A1	26-03-2009	CA 2698049 A1	05-03-2009
		CA 2698072 A1	05-03-2009
		US 2009078652 A1	26-03-2009
		US 2009082906 A1	26-03-2009
		WO 2009029683 A1	05-03-2009
		WO 2009029685 A1	05-03-2009
		-----	
US 2004217067 A1	04-11-2004	AUCUN	
US 5961831 A	05-10-1999	AU 3499197 A	14-01-1998
		CN 1228008 A	08-09-1999
		EP 0921722 A1	16-06-1999
		JP 2000513224 A	10-10-2000
		NO 986113 A	24-02-1999
		US 5961831 A	05-10-1999
		US 6171480 B1	09-01-2001
		WO 9749279 A1	31-12-1997
-----			
US 2005109709 A1	26-05-2005	EP 1340719 A2	03-09-2003
		US 2003160005 A1	28-08-2003
		US 2005109709 A1	26-05-2005
-----			