

19



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Économie

11

N° de publication :

LU500009

12

BREVET D'INVENTION

B1

21

N° de dépôt: LU500009

51

Int. Cl.:
B65G 25/08

22

Date de dépôt: 07/04/2021

30

Priorité:
07/04/2020 ES P 202030285

72

Inventeur(s):
Roberta CARAFA – Espagne, Lluís E. VAZQUEZ
VILAMAJO – Espagne, Jordi SIERRA LLOPART –
Espagne, Tom GALLE – Luxembourg

43

Date de mise à disposition du public: 07/10/2021

47

Date de délivrance: 07/10/2021

74

Mandataire(s):
OFFICE FREYLINGER S.A. – L-
8001 STRASSEN (Luxembourg)

73

Titulaire(s):
LUXEMBOURG INSTITUTE OF SCIENCE AND
TECHNOLOGY (LIST) –
4362 ESCH/ALZETTE (Luxembourg), UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI – 43003 Tarragona (Espagne)

54

DISPOSITIF DE SURVEILLANCE DE SUBSTANCES TOXIQUES DANS L'EAU ET SYSTÈME COMPRENANT CELUI-CI.

57 Dispositif (30) de surveillance de substances toxiques dans l'eau et système comprenant celui-ci. Le dispositif comprend une chambre de référence (1) avec un filtre d'épuration (8) et une chambre de surveillance (2) avec un filtre inerte (9). Les deux chambres (1, 2) comprennent chacune en outre une entrée et une sortie pour l'écoulement de l'eau et logent un biofilm (5) et un fluorimètre (6) pour mesurer la fluorescence. Une unité d'acquisition de données (18) acquiert des mesures du fluorimètre (6) de chaque chambre (1, 2) qui peuvent être comparées pour identifier des changements dans l'environnement aquatique. Dans les deux chambres peuvent être incorporés des capteurs passifs pour des polluants organiques (3) et inorganiques (4) qui, une fois analysées en laboratoire, permettent de compléter les résultats obtenus à partir du biofilm. Le système comprend un ordinateur distant (21) pour transmettre des alarmes aux terminaux (22). FIG. 1

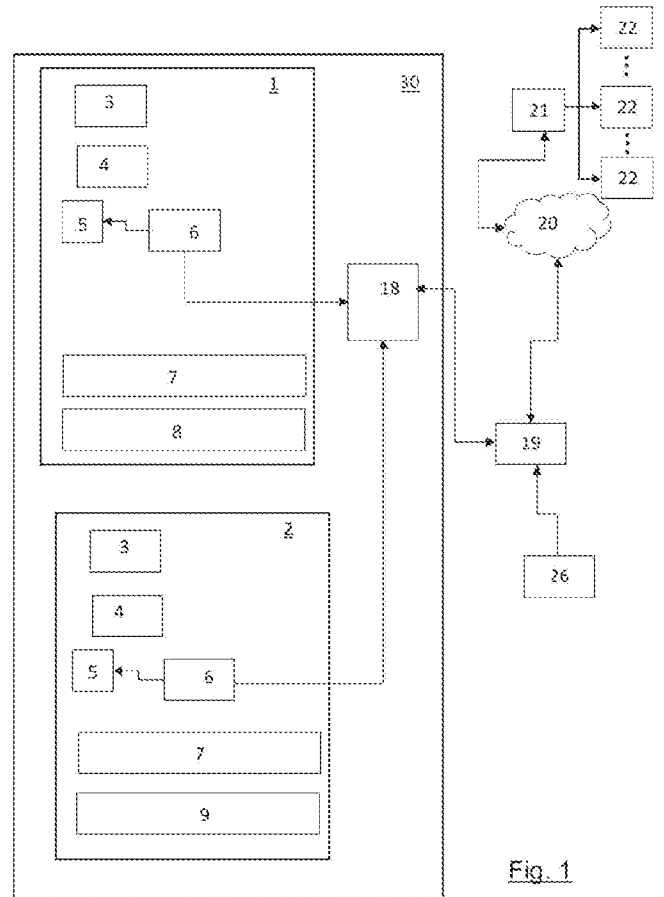


Fig. 1

DISPOSITIF DE SURVEILLANCE DE SUBSTANCES TOXIQUES DANS L'EAU ET SYSTÈME COMPRENANT CELUI-CI

Domaine technique de l'invention

5

L'invention appartient au domaine de la surveillance de la qualité et de la sécurité de l'eau. Plus spécifiquement, elle concerne des systèmes et des procédés de détection précoce des micropolluants dans des eaux de surface.

10 État de l'art

Traditionnellement, l'évaluation des substances toxiques dans l'eau se base sur l'échantillonnage de l'eau et l'extraction et l'analyse des polluants par chromatographie et spectrométrie de masse, mais l'analyse chimique est coûteuse et prend beaucoup
15 de temps. Des techniciens spécialisés sont nécessaires pour l'échantillonnage et l'analyse. Les composés ne peuvent être détectés que dans des instruments de détection préalablement étalonnés. En raison des informations limitées sur les effets toxiques des mélanges, il y a des difficultés dans l'évaluation de l'impact.

Des sondes *in situ* sont actuellement disponibles pour des écosystèmes aquatiques
20 capables de transmettre des signaux et des alertes, bien qu'elles ne mesurent que des paramètres hydrauliques (par exemple, le niveau d'eau, le débit) et des composants chimiques inorganiques (par exemple, l'oxygène, le pH, les solides en suspension, etc.). En général, ces sondes présentent plusieurs inconvénients : elles sont destinées à des substances spécifiques et/ou elles sont conçues pour un usage au laboratoire
25 et/ou elles sont coûteuses et/ou elles requièrent une maintenance exigeante et/ou l'interprétation des résultats est difficile.

Certaines techniques d'analyse utilisent des biofilms (également appelés tapis bactériens ou tapis microbiens) comme bio-indicateur de la qualité et de la sécurité de l'eau. Par biofilm, on entend une pellicule formée par des microalgues, des diatomées
30 et des bactéries. En général, ces techniques d'analyse doivent être effectuées *in situ* et fournissent des résultats peu fiables. Elles présentent une haute variabilité et sont sujets à interprétation, elles sont donc souvent peu pratiques.

D'une part, les indicateurs basés sur biofilm sont influencés par une multitude de variables pas forcément liées à la pollution de l'eau, telles que l'intensité lumineuse, les solides en suspension, les nutriments de nitrates, nitrites, phosphore, la température, le débit d'eau, etc., qui affectent la validité des résultats.

- 5 D'autre part, le biofilm peut s'adapter aux conditions de l'eau et développer des résistances spécifiques qui affectent sa sensibilité. Par conséquent, les résultats des indicateurs basés sur biofilm peuvent être biaisés.

Brève description de l'invention

10

Au vu des limitations observées dans l'état de la technique, on a constaté la nécessité d'améliorer le diagnostic des eaux.

De plus, une détection rapide serait souhaitable, notamment dans des lieux d'intérêt. Par exemple, à la sortie des stations d'épuration des eaux usées (STEP) ou aux points
15 de distribution d'eau potable.

La présente invention est conçue pour faire face à ces problèmes et d'autres. Il est proposé un dispositif ayant les caractéristiques techniques de la revendication indépendante. Des modes de réalisation particuliers et avantageux sont définis dans les revendications dépendantes.

20

De manière générale, il est proposé un dispositif pour la surveillance de substances toxiques dans l'eau qui comprend une première chambre de référence avec un filtre d'épuration et une seconde chambre de surveillance avec un filtre inerte. Les deux chambres sont submersibles et comportent chacune : une entrée et une sortie pour l'écoulement de l'eau, un module de logement pour loger au moins un biofilm, et un
25 fluorimètre pour mesurer la fluorescence dans le biofilm. Pendant l'utilisation, le module de logement doit recevoir de la lumière extérieure pour le biofilm. Le dispositif comprend en outre une unité d'acquisition de données pour collecter la mesure de la fluorescence du biofilm dans chaque chambre. Ainsi, une comparaison locale peut être établie entre un biofilm avec de l'eau épurée de substances toxiques et un autre biofilm
30 avec de l'eau non épurée et, par la même, discriminer des changements dus aux polluants. Cette spécificité permet d'exclure des changements dans le biofilm causés par d'autres facteurs. Par exemple, il existe des variations dans les conditions climatiques qui ne sont pas liées à la pollution, mais qui provoquent des changements

dans le biofilm et qui, par conséquent, pourraient générer des faux positifs pour la pollution.

Un autre avantage du dispositif est qu'il peut être conçu de manière polyvalente en fonction de l'environnement de travail. Par exemple, le matériau du filtre peut être
5 choisi en fonction du type de polluants à retenir.

Optionnellement, le dispositif peut intégrer des capteurs passifs pour des polluants organiques et des métaux. Par le biais de l'extraction de l'échantillon contenu dans le capteur passif et son analyse, qui peut être analysé ultérieurement en laboratoire, l'utilisation de ces capteurs passifs dans le dispositif fournit des informations
10 supplémentaires. Lesdites informations supplémentaires servent à confirmer que les changements dans le biofilm sont en fait dus à des polluants. De même, il sert également à reconnaître si les filtres fonctionnent correctement.

Optionnellement, le dispositif peut avoir un système de transmission de données. Le système de transmission de données peut communiquer avec d'autres systèmes
15 distants chargés d'examiner les informations et d'agir en conséquence. Par exemple, il peut prendre des mesures telles que générer des alarmes pour le type de pollution, des avertissements de maintenance, etc. Il est également compatible avec d'autres outils et accessoires qui peuvent être intégrés pour répondre à des exigences spécifiques.

L'invention propose également un système qui incorpore un ou plusieurs dispositifs de
20 surveillance de substances toxiques dans l'eau et, en outre, un ordinateur distant en communication avec chaque dispositif de surveillance. L'ordinateur est programmé pour comparer les mesures acquises dans les deux chambres de chaque dispositif et également pour envoyer une alarme à un ou plusieurs terminaux de surveillance en
25 fonction du résultat de la comparaison. Ces terminaux sont des dispositifs électroniques tels que des téléphones mobiles, des tablettes, des ordinateurs, etc.

Brève description des figures

30 Pour compléter la description qui est en cours et afin d'aider à une meilleure compréhension des caractéristiques de l'invention, un jeu de dessins est joint en tant que partie intégrante de ladite description, où ce qui suit a été représenté à titre illustratif et non limitatif :

Figure 1.- Diagramme de blocs schématique selon un mode de réalisation du dispositif.

Figure 2.- Schéma des chambres selon un mode de réalisation du dispositif.

Figure 3.- Vue éclatée schématique de l'une des chambres selon un mode de réalisation du dispositif.

5

Références numériques

- 1 Chambre de référence.
- 2 Chambre de surveillance.
- 3 Capteur passif pour des polluants organiques.
- 10 4 Capteur passif pour des polluants inorganiques.
- 5 Biofilm.
- 6 Fluorimètre.
- 7 Membrane de passage.
- 8 Filtre d'épuration.
- 15 9 Filtre inerte.
- 10 Module de logement.
- 14 Trou de sortie pour le câblage.
- 16 Câble sous-marin.
- 17 Fermeture.
- 20 18 Unité d'acquisition de données.
- 20 Serveur dans le nuage.
- 21 Ordinateur distant.
- 22 Terminal de surveillance
- 23 Unité de communication de données.
- 25 24 Signal d'avertissement.
- 26 Système de production d'énergie renouvelable.
- 27 Vis.
- 30 Dispositif de surveillance de substances toxiques.

Description détaillée de l'invention

Dans la **figure 1** il est montré schématiquement un diagramme de blocs selon un mode de réalisation, le dispositif de surveillance **30** permet, de manière continue, une détection précoce de la présence de pollution dans l'eau. Le dispositif **30** utilise du biofilm **5**. Le biofilm **5** est une communauté vivante très sensible et sert d'élément de détection principal. Le dispositif **30** présente une configuration qui évite des erreurs d'interprétation générées par des facteurs externes non liés à la présence de polluants à détecter.

En fonctionnement, le dispositif **30** détecte les changements au moyen de mesures de fluorescence du biofilm **5** effectuées dans deux espaces différents, immergés dans le milieu aquatique, par le biais de son fluorimètre **6** correspondant. Un premier espace sert de référence locale pour avoir les conditions de l'environnement sans substances toxiques. Sur un second espace, les évolutions de l'environnement dues à la présence de substances toxiques sont surveillées. Pour créer ces deux espaces en contact avec le milieu aquatique, des chambres **1**, **2** sont conçues. Entre autres propriétés spécifiques, les deux chambres **1**, **2** doivent permettre le développement du biofilm **5** approprié. En cas de pollution, l'une d'elles, la chambre de référence **1**, doit conserver le biofilm **5** dans de l'eau épurée de polluants, pour pouvoir identifier de la sorte le changement subi par l'autre biofilm **5** qui se trouve dans la chambre de surveillance **2** exposé aux polluants existants dans le milieu.

Dans la chambre de référence **1**, l'eau entrante est purifiée des polluants, mais conserve d'autres caractéristiques (température, pH, nutriments, etc.). Les mesures du biofilm **5** de chaque chambre **1**, **2** sont comparées. Sur la base de cette comparaison, s'il y a une différence significative, le dispositif de surveillance **30** est capable de générer un signal d'avertissement. Avec ce signal d'avertissement, une alerte peut être émise. Par exemple, le signal d'avertissement peut être facilement transmis à l'aide d'une technologie sans fil telle que le WiFi.

Le dispositif de surveillance **30** permet ainsi de vérifier en continu la qualité de l'eau. La conception admet également l'utilisation de capteurs passifs pour détecter la pollution par des composés pharmaceutiques et des métaux lourds, entre autres. Pour cela, il peut intégrer, en plus d'un biofilm **5**, un capteur passif pour des polluants inorganiques **4** (DGT, par ses initiales en anglais) et un capteur passif pour des polluants organiques

3 (POCIS, par ses initiales en anglais). Ces capteurs passifs **3**, **4** peuvent être utilisés comme support pour l'analyse chimique et l'identification des polluants.

Le type de fluorimètre **6** utilisé est de préférence des impulsions modulées en amplitude pour une évaluation rapide des changements d'indicateurs structurels et fonctionnels.

Pour établir si les différences de mesure du fluorimètre **6** dans la chambre de référence **1** et du fluorimètre **6** dans la chambre de surveillance **2** sont significatives, ils sont étalonnés sur le terrain et en laboratoire.

Il convient de noter que le biofilm **5** est généralement cultivé dans des conditions d'eau propre. Le biofilm **5** réagit à l'exposition aux polluants avec des changements dans des paramètres fonctionnels (par exemple, efficacité de la photosynthèse, fluorescence basale, etc.). Ces changements sont détectables par le fluorimètre **6**. Avantageusement, la présence d'une référence locale évite des faux positifs. Souvent, des facteurs externes non liés à la toxicité peuvent affecter les valeurs mesurées dans le biofilm. Par exemple, ces paramètres sont influencés par la température, la turbidité ou les nutriments. Auparavant, un étalonnage approprié est effectué en laboratoire. Avec les mesures, différents paramètres peuvent être obtenus, parmi lesquels on peut citer principalement :

- YII, efficacité photosynthétique (*photosynthetic yield*, en anglais), avec une plage théorique de 0 à 100%, et avec des valeurs normales pour un biofilm en bonnes conditions entre 60% et 70% ;

- Fluorescence basale : elle représente une mesure indirecte de la biomasse et peut augmenter ou croître ou rester constante pendant l'exposition (la plage dépend de l'étalonnage du capteur effectué avant l'installation) ;

- Y(NPQ), atténuation non photochimique régulée (en anglais : *yield of regulated non-photochemical fluorescence quenching*), qui représente l'énergie émise par les cellules sous forme de chaleur, c'est un mécanisme de protection et un indicateur de stress ;

- Y(NO), atténuation non photochimique non régulée (en anglais : *yield of non regulated non-photochemical fluorescence quenching*), ce paramètre indique un dysfonctionnement des mécanismes de photosynthèse et/ou de protection.

En fait : $YII + Y(NPQ) + Y(NO) = 100\%$, si les cellules abaissent leur énergie par photosynthèse, l'énergie dépensée en chaleur ou utilisée, par exemple, pour la désintoxication, va croître. Les tests de laboratoire indiquent la relation entre l'effet et le

mélange toxique. La référence locale permet d'apprécier également des petites variations qui seraient confondues avec des effets par des facteurs non toxiques.

Le dispositif de surveillance **30** peut être couplé à une unité d'acquisition de données **18** (qui peut être submersible) câblée à un équipement de surface **19**, situé hors de l'eau et alimenté par un système de production d'énergie **26**, par exemple, énergie renouvelable pour une plus grande autonomie. Dans ledit équipement de surface **19**, une unité de communication permet la possibilité d'envoyer les informations acquises pour leur traitement, par exemple, à un ordinateur distant **21** qui, entre autres actions, est chargé d'émettre une alerte en fonction des données reçues. Différents types d'alertes peuvent être établis en fonction du degré de toxicité estimé.

En référence aux figures 2 et 3, le fonctionnement et des détails constructifs additionnels de modes de réalisation particuliers du dispositif de surveillance de substances toxiques **30** sont expliqués pour une compréhension plus complète.

15

Dans la **figure 2** sont représentés divers détails de l'utilisation et de la configuration d'un mode de réalisation du dispositif de surveillance **30**.

La chambre de surveillance **1** et la chambre de référence **2** sont installées dans le sens de l'écoulement de l'eau de sorte que le courant transporte les éventuels polluants vers les capteurs. Les deux chambres peuvent être fabriquées avec une forme cylindrique en méthacrylate (PMMA), parfois communément appelé Plexiglas (marque sous laquelle il est commercialisé) avec une épaisseur d'environ 3 mm et une capacité de plusieurs litres.

Dans la chambre de référence **1**, l'eau traverse une membrane de passage **7** et atteint un filtre purificateur **8** en charbon actif. Lorsque le charbon actif se présente sous la forme de grains, le filtre purificateur **8** comprend des éléments, par exemple, un logement également en matériau de PMMA, ou un autre matériau inerte (ou un autre matériau avec des caractéristiques similaires), avec une base perforée pour permettre la sortie de l'eau, mais pas celle du charbon, cette base perforée possède des trous réguliers de 1-2 mm de diamètre. Pour éviter la sortie accidentelle du charbon actif granulaire, on peut ajouter en outre dans la base du filtre une couche supplémentaire de 5 mm d'épaisseur en laine de verre ou une autre membrane semi-perméable inerte. De cette manière, l'eau atteint le biofilm **5** propre et sans matière provenant du filtre lui-même.

Dans la chambre de surveillance **2**, l'eau passe à travers une membrane de passage **7** jusqu'au filtre inerte **9** en laine de verre où elle atteint le biofilm **5** non épurée. Le filtre inerte **9** comprend les mêmes éléments du filtre purificateur **8** à la différence qu'il est rempli de laine de verre au lieu de charbon actif.

- 5 Les chambres **1**, **2** sont conçues spécialement pour assurer que le biofilm **5** dispose d'un écoulement d'eau, de lumière et de nutriments spécifiques pour survivre. Entre autres considérations, il doit permettre le passage de la lumière, être suffisamment résistant pour résister aux conditions de travail, et être inerte par rapport aux substances à analyser. Par exemple, le PET ne convient pas car il peut adsorber des
- 10 polluants. De préférence, il doit s'agir d'un matériau à faible coût résistant aux acides et aux solvants dilués afin qu'il soit facile à nettoyer. Il faut tenir compte du fait que les autres composants de chaque chambre **1**, **2**, tels que des vis ou des rivets, par exemple, doivent également être faits en matériaux inertes. Pour ces pièces, l'acier inoxydable ou le polytétrafluoroéthylène (PTFE), également appelé téflon, sont des
- 15 matériaux appropriés.

Comme mentionné, à l'entrée et à la sortie de la chambre de référence **1**, une membrane de passage **7** inerte et semi-perméable est placée qui permet le passage préférentiel de certaines substances par rapport à d'autres. La membrane peut être fabriquée, par exemple, en matériau de polyester de sulfurone (PES). La membrane **7**

20 a plusieurs fonctions :

- Retenir les solides en suspension en excès (ils peuvent interférer avec le fluorimètre).
 - Stabiliser l'écoulement d'eau pour qu'il soit le même dans les deux chambres.
 - Éviter la colonisation rapide du biofilm par des espèces résistantes pour maintenir un biofilm sensible pendant plus longtemps.
- 25 - Assurer un faible écoulement d'eau à travers le filtre purificateur **8** pour assurer l'efficacité d'élimination des polluants.

L'eau entrant dans la chambre de référence **1** est purifiée avec du charbon actif ou un matériau aux caractéristiques similaires. Les polluants organiques polaires, généralement avec un coefficient de partage d'octanol-eau, $KOW \leq 3$, et les métaux

30 lourds sont retenus.

Le coefficient de partage d'octanol-eau d'une substance, également appelé coefficient de partage (POW), est le quotient ou rapport entre les concentrations de cette substance dans un mélange biphasique formé par deux solvants immiscibles en

équilibre : le n-octanol et l'eau. Ce coefficient mesure donc la solubilité différentielle d'un soluté dans ces deux solvants. Le n-octanol a été choisi car c'est un composé organique qui simule bien la matière lipidique du biote, ou dans des particules organiques et des sédiments organiques. Ce coefficient donne une idée du caractère hydrophobe d'une substance ou de l'affinité pour les lipides d'une substance dissoute dans l'eau.

5

Il faut tenir compte du fait que le filtre purificateur **8** ne contienne pas de substances nocives pour le biofilm, par exemple, un filtre biologique avec des bactéries serait inapproprié car il pourrait altérer le biofilm. Il doit permettre l'écoulement de l'eau, par exemple, avec des membranes d'ultrafiltration il faudrait mettre en place une pompe pour permettre l'écoulement de l'eau. De préférence, il est peu coûteux, facilement remplaçable et réutilisable. Pour tout ce qui précède, le charbon actif est un bon choix, il est réactivable à la chaleur et réutilisable.

10

De plus, il est souhaitable qu'il s'agisse d'un matériau homogène pour éviter les accumulations d'eau dans une zone du filtre, et qu'il atteigne de manière homogène tout le volume du filtre. Une possibilité est qu'il soit granuleux car il s'oppose moins à l'écoulement de l'eau.

15

Par contre, dans la chambre de surveillance **2**, l'eau, après avoir traversé la membrane de passage **7**, atteint un filtre inerte **9** en laine de verre ou aux caractéristiques similaires. Dans ce cas, le filtre inerte **9** ne doit pas réagir avec des polluants organiques ou polaires ($KOW \leq 3$) ni avec des métaux lourds, mais il doit réunir au reste des caractéristiques mentionnées ci-dessus pour le filtre purificateur **8**.

20

La conception hydrodynamique des deux chambres **1**, **2** doit assurer la rétention adéquate des polluants. Par exemple, une forme cylindrique assure une distribution uniforme de l'écoulement d'eau qui passe à travers les filtres. Puisque le biofilm **5** est une communauté microbienne vivante à capacité régénératrice, il nécessite peu d'entretien.

25

Pour améliorer l'efficacité du dispositif, il est recommandé que le biofilm **5** soit cultivé dans un endroit propre puis transféré vers le dispositif. De cette manière, il est facilité que les espèces les plus sensibles soient présentes.

30

La conception du dispositif **30** doit permettre un isolement relatif du biofilm au sein de la chambre de référence **1** et de la chambre de surveillance **2**, ce qui minimise la colonisation d'espèces résistantes par le biais de membranes de passage **7** à l'entrée et à la sortie des deux chambres. Un équilibre est recherché qui ralentit la colonisation

par des espèces résistantes sans isoler complètement le biofilm **5** pour maintenir l'écoulement d'eau. Les extraits des capteurs passifs **3, 4** peuvent être analysés pour une meilleure détermination de la qualité et des caractéristiques de l'eau. De cette manière, il est également possible d'assurer non seulement une meilleure identification
5 des polluants mais également le bon fonctionnement des filtres **8, 9**.

De manière polyvalente, les propriétés des filtres **8, 9** peuvent être choisies pour s'adapter spécifiquement aux conditions locales de l'eau à analyser. En règle générale, la durée de vie d'un filtre varie de deux semaines à plusieurs mois, selon la qualité de l'eau.

10

La **figure 3** est un exemple d'une vue éclatée d'une possible chambre de surveillance **2** couplée à des moyens électroniques pour acquérir, transmettre et traiter les informations provenant de ladite chambre de surveillance. Bien que non représentée sur cette figure, la chambre de référence serait également couplée auxdits moyens
15 électroniques. Dans la chambre de surveillance **2**, on peut voir comment plusieurs biofilms **5** sont logés dans un module de logement **10** qui est à l'intérieur de la chambre et est fabriqué en PMMA.

Dans ce mode de réalisation, le filtre **9** présente une structure tubulaire (de confinement) associée qui définit une chambre intérieure plus petite en PMMA ou en
20 un autre matériau avec des caractéristiques similaires.

Le module de logement **10** est facilement amovible par une extrémité de la chambre **1, 2** et est réalisé en PMMA. Pour fixer les éléments, des vis **27** (rivets ou similaires) en PTFE sont utilisées sur une fermeture **17**. Dans cet exemple, le module de logement **10** a la capacité d'accueillir jusqu'à cinq biofilms **5**. La construction garantit l'éclairage,
25 indispensable à la croissance du biofilm **5**. Tous les matériaux utilisés dans l'assemblage du dispositif (PMMA, PTFE et acier inoxydable) sont résistants et inertes. Grâce au filtre inerte **9**, les nutriments et éventuellement les micropolluants pénètrent.

Pour assurer un éclairage correct du biofilm **5**, il faut maintenir une orientation du module de logement **10** vers la surface. Pour cela, la répartition des masses est
30 réalisée dans la chambre **2**, ou une structure supplémentaire qui garantit cette orientation peut être utilisée, telle qu'un lest, un contrepoids, des amarres, etc.

Concernant l'élimination de la perturbation des sédiments en suspension de plus de 0,1-0,2 μm et pour limiter la colonisation du biofilm **5** par des espèces résistantes, on met en place des membranes de passage **7**, par exemple, qui sont semi-perméables et

microporeuses en polyéthersulfone (PES) hydrophile, avec une porosité de 0,1-0,2 μm , sur des supports en PMMA **17** avec des vis **27** en acier inoxydable à l'entrée et à la sortie des chambres **1, 2**.

La mise en place de capteurs passifs **3, 4** doit maximiser l'exposition de la surface du sorbant. Le biofilm **5** et le fluorimètre **6** sont placés immédiatement après les filtres **8, 9** assurant le contact du biofilm **5** avec des éventuels micropolluants présents dans le milieu aquatique. De plus, le biofilm **5**, qui est exposé à la lumière, est placé à environ 2-3 mm du fluorimètre **6** assurant une lecture correcte des signaux de fluorescence. La conception de la chambre en forme de tube offre une bonne hydrodynamique et une bonne efficacité des filtres.

Voir des valeurs obtenues expérimentalement :

2,8-7,4 ml/min/cm² à 0,7 bar, 10 ps avec une membrane de passage **7** semi-perméable en PES de 0,1 μm ;

19,3-34,6 ml/min/cm² à 0,7 bar, 10 ps avec une membrane de passage **7** semi-perméable en PES de 0,2 μm .

On a constaté que ces valeurs permettent la croissance ainsi que l'accumulation de micropolluants dans le biofilm **5**, l'accumulation de polluants également dans les capteurs passifs **4, 5**.

Bien que le matériau de fabrication soit très résistant, il peut être conseillé dans certains environnements de placer les deux chambres **1, 2** à l'intérieur d'une cage de protection en acier inoxydable. La cage peut être utilisée pour maintenir l'orientation appropriée afin que la lumière atteigne le biofilm **5**. Aussi pour éviter le vol ou l'impact des pierres que le courant apporte.

Concernant les moyens électroniques, il existe de multiples solutions pour collecter et traiter les données issues des mesures. Une possibilité pour transmettre des données des deux capteurs passifs **4, 5** est de le faire via un câble sous-marin **16** (RS-485 / S) qui sort du dispositif par un petit trou de sortie **14** dans chaque chambre **1, 2** jusqu'à une unité d'acquisition de données **18** avec revêtement imperméable. Les données peuvent être enregistrées dans une mémoire de stockage, par exemple un tampon en anneau interne et une carte microSD non amovible. L'unité d'acquisition de données **18** est reliée via un câble **16** résistant à l'eau (RS-485 / S) à l'équipement de surface **19**, situé hors de l'eau et alimenté par un système de production d'énergie **26**, de préférence renouvelable, constitué d'un ou deux panneaux solaires, ou, dans les endroits peu exposés à la lumière du soleil, par une turbine hydraulique immergée qui

convertit l'énergie de l'eau en énergie mécanique plus un générateur hydroélectrique qui convertit cette énergie mécanique en électricité.

Il est possible de définir un système de surveillance qui comprend un ou plusieurs dispositifs **30** pour une gestion intégrale de la surveillance de l'eau en différents endroits. Chaque équipement de surface **19** est chargé de transmettre des données vers une destination fixe, par exemple, virtuellement vers un serveur dans le nuage **20** au moyen d'une unité de transmission **23** qui peut être un modem téléphonique ou satellite à technologie Wi-Fi ou similaire. Les données stockées dans le nuage **20** peuvent être accessibles et analysées à son tour de rôle à partir d'un ordinateur distant **21** qui, en cas de différence significative de mesures entre les deux chambres **1, 2**, peut programmer l'envoi automatique d'un signal d'avertissement **24** à un groupe de destinataires. Par exemple, l'alerte peut être transmise au personnel de surveillance via un ou plusieurs terminaux de surveillance **22**. Le terminal de surveillance **22** peut être, par exemple, un smartphone avec une application mobile ou un ordinateur, une tablette, etc.

Diverses fonctionnalités utiles peuvent être ajoutées, par exemple le contrôle des capteurs ou la lecture enregistrée par ceux-ci. Par exemple, dans le cas du fluorimètre **6**, un logiciel de contrôle peut être installé pour effectuer une analyse de saturation par impulsions et le calcul des paramètres de fluorescence standard. Il est possible de définir l'exécution de procédures expérimentales personnalisées facilement programmables en utilisant des fichiers par lots. L'exportation de données en format CSV (valeurs séparées par des virgules) peut également être mise en œuvre pour enregistrer des traces de fluorescence d'origine, les données d'impulsions saturées et les estimations des paramètres de courbes de réponse à la lumière.

Des capteurs passifs intégrés **3, 4** capables d'accumuler des composés organiques tels que des pesticides, des produits pharmaceutiques et des métaux lourds peuvent être récupérés et les extraits peuvent être analysés en laboratoire, avec des techniques de chromatographie et de spectrophotométrie de masse, face à un changement significatif détecté dans le biofilm **5**. Ce serait le mode d'action dans un épisode de pollution. Les adsorbants peuvent être extraits et analysés, fournissant des informations précieuses, par exemple, pour identifier les éventuels responsables des effets toxiques enregistrés dans le biofilm.

REVENDICATIONS

1. Dispositif (1) de surveillance de substances toxiques dans l'eau, caractérisé en ce qu'il comprend :

5 une première chambre de référence (1) comprenant un filtre d'épuration (8) et une seconde chambre de surveillance (2) comprenant un filtre inerte (9), où les deux chambres (1, 2) sont submersibles et comprennent chacune en outre :

une entrée et une sortie pour l'écoulement de l'eau ;

un module de logement (10) configuré pour loger au moins un biofilm (5) ;

10 un fluorimètre (6) configuré pour mesurer la fluorescence du biofilm (5) ;

où les deux chambres (1, 2) sont configurées pour permettre, pendant l'utilisation, au module de logement (10) de recevoir de la lumière extérieure ;

où le dispositif (1) comprend en outre une unité d'acquisition de données (18) configurée pour acquérir la mesure de la fluorescence du fluorimètre (6) de chaque
15 chambre (1, 2).

2. Dispositif (1) selon la revendication 1, comprenant en outre un capteur passif pour des polluants organiques (3).

20 3. Dispositif (1) selon la revendication 1 ou 2, comprenant en outre un capteur passif pour des polluants inorganiques (4).

4. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant une membrane de passage (7) à l'entrée et à la sortie de la chambre (1, 2)
25 pour l'écoulement de l'eau, où la membrane de passage (7) est inerte et semi-perméable.

5. Dispositif (1) selon la revendication 4, où la membrane de passage (7) comprend du PES.

6. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, où le filtre d'épuration (8) comprend du charbon actif.

7. Dispositif (1) selon la revendication 6, où le charbon actif est granulaire.

5

8. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, où le filtre inerte (9) comprend de la laine de verre.

9. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, où la mesure de la fluorescence comprend au moins l'un des paramètres suivants :

10

- fluorescence basale ;
- efficacité photosynthétique, YII ;
- atténuation non photochimique régulée, Y(NPQ) ;
- atténuation non photochimique non régulée, Y(NO) ;

15

- ou une combinaison des ceux-ci.

10. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, où le filtre d'épuration (8) et/ou le filtre inerte (9) sont installés à l'intérieur d'une chambre intérieure plus petite.

20

11. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre un équipement de surface (19) configuré pour collecter et transmettre les mesures acquises par l'unité d'acquisition de données (18).

25

12. Dispositif (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, où l'équipement de surface (19) comprend une unité de communication sans fil (23).

13. Système de surveillance de substances toxiques dans l'eau, caractérisé en ce qu'il comprend :

30

un dispositif (30) selon la revendication 11 ou 12 ;

un ordinateur distant (21) configuré pour communiquer avec le dispositif (30) et pour comparer les mesures acquises dans les deux chambres (1, 2), où l'ordinateur distant (21) est configuré en outre pour envoyer une alarme à un ou plusieurs terminaux de surveillance (22) en fonction du résultat de la comparaison.

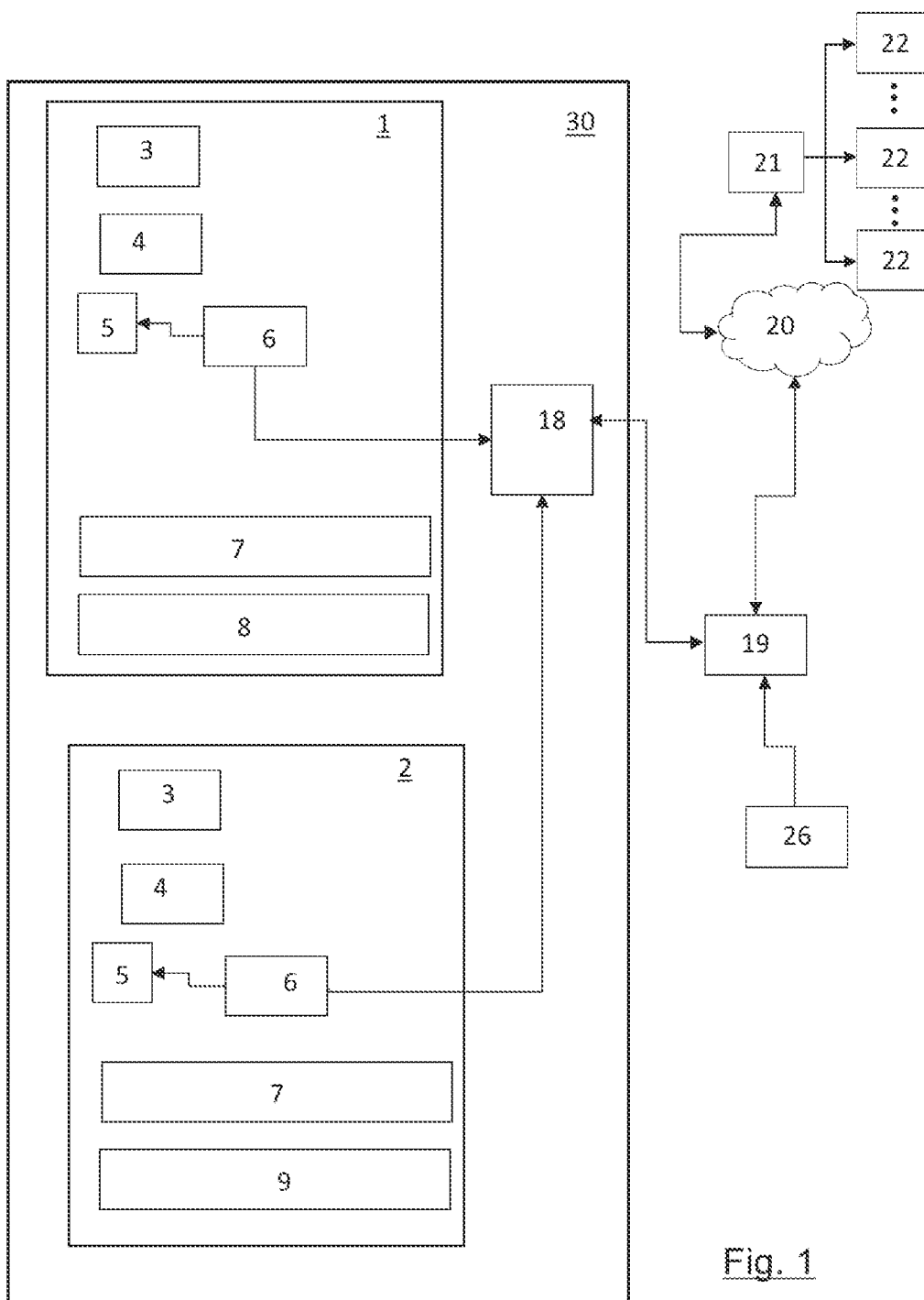


Fig. 1

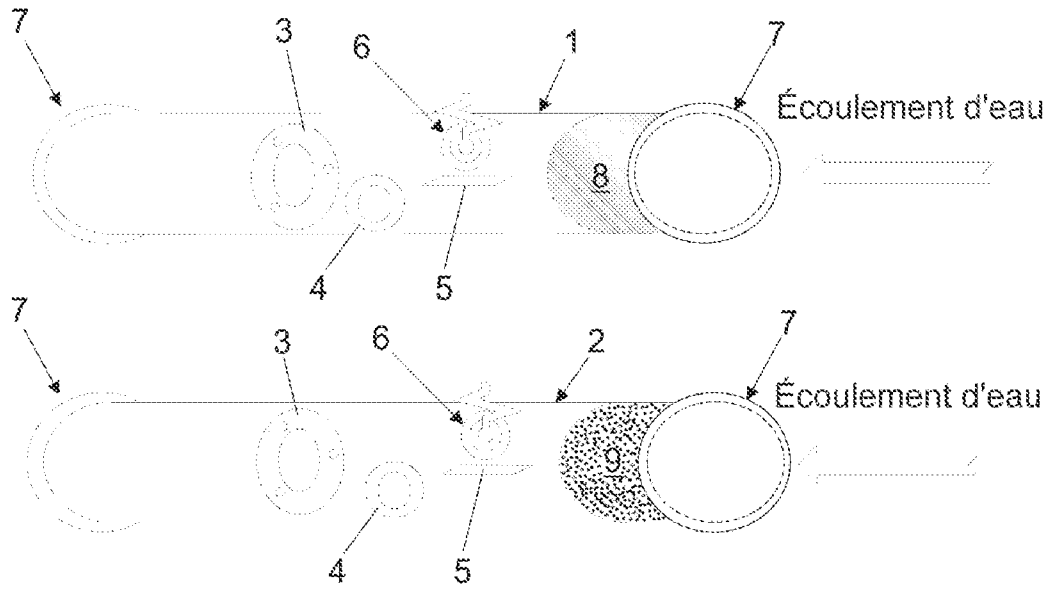


Fig. 2

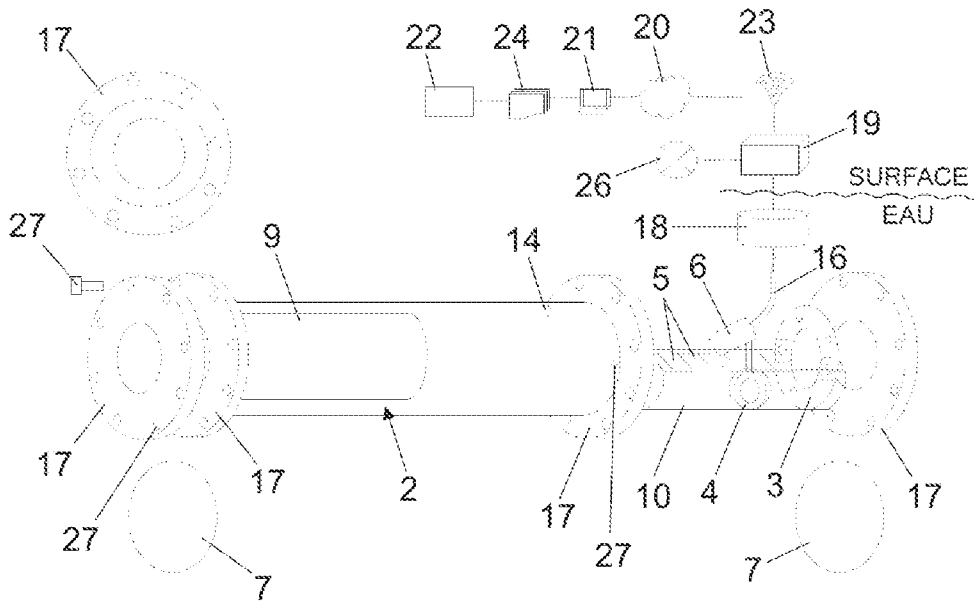


Fig. 3