

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication : **2 995 541**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②1 N° d'enregistrement national : **12 58852**

⑤1 Int Cl⁸ : **B 01 D 65/10 (2013.01), C 02 F 1/44, E 21 B 43/36, 43/16**

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION** **A1**

②2 **Date de dépôt** : 20.09.12.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 21.03.14 Bulletin 14/12.

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)** : TOTAL SA Société anonyme — FR, SAIPEM S.A Société anonyme — FR, VEOLIA EAU - COMPAGNIE GENERALE DES EAUX Société par actions simplifiée — FR et VWS WESTGARTH LTD. — GB.

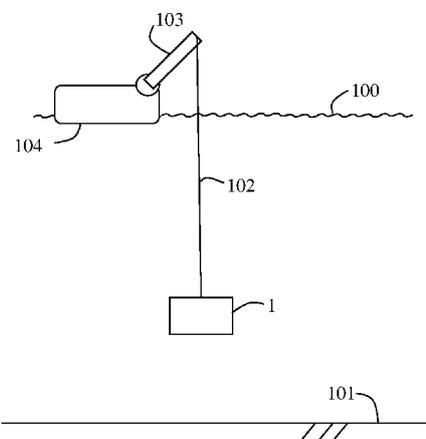
⑦2 **Inventeur(s)** : PEDENAUD PIERRE, HENG SAMUEL, BIGEONNEAU DIDIER, ANRES STEPHANE, HALLOT RAYMOND, BAYLOT MICHEL, BEN BOUDINAR MOURAD et SKIVINGTON GRAEME.

⑦3 **Titulaire(s)** : TOTAL SA Société anonyme, SAIPEM S.A Société anonyme, VEOLIA EAU - COMPAGNIE GENERALE DES EAUX Société par actions simplifiée, VWS WESTGARTH LTD..

⑦4 **Mandataire(s)** : CABINET PLASSERAUD.

⑤4 **PROCEDE ET DISPOSITIF DE TEST SOUS-MARIN DE SYSTEME DE FILTRATION.**

⑤7 L'invention concerne un procédé de test d'un système sous-marin de filtration, ainsi que le dispositif de test sous-marin permettant l'étude du fonctionnement des systèmes de filtration dans des conditions aquatiques. Le procédé de test comprenant les étapes consistant à faire entrer un flux d'eau dans le dispositif de test sous-marin via une prise d'eau, ledit un dispositif de test sous-marin comprenant au moins un filtre, amener ce flux dans le dispositif de test sous-marin jusqu'audit filtre, obtenir un filtrat en aval dudit filtre et rejeter ledit filtrat dans l'environnement via une conduite d'évacuation. Le dispositif de test sous-marin est placé sous l'eau à au moins 500 mètres de profondeur.



FR 2 995 541 - A1



PROCEDE ET DISPOSITIF DE TEST SOUS-MARIN
DE SYSTEME DE FILTRATION

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5 La présente invention se situe dans le domaine des applications sous-marines, en particulier dans le domaine pétrolier. L'invention concerne plus spécifiquement un procédé de test d'un système sous-marin de filtration, ainsi que le dispositif de test sous-marin permettant l'étude du fonctionnement des systèmes de filtration dans des conditions aquatiques.

10

ART ANTERIEUR

 L'injection d'eau dans les gisements d'hydrocarbures est une technique bien connue dans le milieu pétrolier. Il s'agit d'une opération qui consiste à injecter dans un puits pétrolier de l'eau, couramment nommée eau d'injection, pour d'une part
15 récupérer les hydrocarbures et d'autre part éviter l'effondrement du puits qui peut se produire en raison de la diminution de la pression du fait de l'extraction des hydrocarbures.

 La provenance de l'eau d'injection dépend généralement de sa disponibilité et des contraintes autour du lieu de l'extraction d'hydrocarbures. Par exemple, dans le
20 cas de l'extraction offshore, il est connu d'utiliser l'eau prélevée dans la mer. Des étapes de traitement sont cependant généralement indispensables pour obtenir à partir de l'eau de mer une eau dont la qualité est suffisante pour pouvoir être réintroduite dans la formation souterraine. L'eau d'injection est toujours obtenue à travers une étape de filtration, visant à réduire voire éliminer les matières en suspension, et
25 d'une étape de désoxygénation. Souvent, un traitement supplémentaire sous forme de désulfatation est utilisé si le contenu de la formation souterraine est tel qu'une réduction des ions de sulfates est nécessaire.

 L'eau d'injection peut également être de l'eau d'aquifère, de l'eau de rivière ou de lac, et éventuellement des eaux usées domestiques ou industrielles. Là aussi,
30 des étapes de traitement peuvent être nécessaires pour obtenir une eau dont la qualité est compatible avec l'injection dans la formation souterraine.

 Lorsque l'eau d'injection est de l'eau de mer, la présence de sulfates dans l'eau est typiquement problématique si la formation souterraine contient des ions

baryum, calcium ou strontium. En effet, les ions sulfate forment avec les ions baryum, calcium ou strontium des précipités qui créent des dépôts minéraux (en anglais « scaling ») préjudiciables à une bonne extraction des hydrocarbures. En outre, la présence de sulfates peut être à l'origine de la génération par des bactéries de sulfure d'hydrogène (H₂S), gaz toxique et corrosif, qui peut provoquer la corrosion des canalisations utilisées pour la récupération des hydrocarbures. L'élimination des sulfates dans l'eau avant son injection dans la formation souterraine est donc souvent nécessaire.

Un procédé classique permettant l'élimination des sulfates dans l'eau consiste en un procédé membranaire de nanofiltration, qui retient les ions multivalents et laisse passer les ions monovalents. Un autre procédé classique permettant le dessalement de l'eau consiste en un procédé d'osmose inverse. De tels procédés sont, par exemple, décrits dans les demandes de brevet WO 2006/134367 et WO 2007/138327.

Généralement, on dispose les unités de traitement de l'eau à proximité du gisement d'hydrocarbures. Dans le cas de gisements sous-marins, ces unités sont classiquement installées en surface, sur la plateforme offshore d'extraction d'hydrocarbures ou sur des plateformes annexes flottantes, couramment nommées unités FPSO (acronyme de « Floating Production, Storage and Offloading » selon la terminologie anglo-saxonne, signifiant unité flottante de production, de stockage et d'expédition).

Un des problèmes majeurs liés à l'installation en surface d'unités de traitement de l'eau est l'encombrement. Ces unités prennent de la place. Or, la gestion de l'espace sur les plateformes en mer est délicate car l'espace est limité et beaucoup d'installations sont indispensables. On a donc besoin d'unités de traitement de l'eau qui nécessitent un espace minimal sur les plateformes en mer.

Une solution à ce problème a déjà été proposée dans l'art antérieur. Elle consiste à remplacer les unités de traitement existantes par des unités sous-marines, aptes à fonctionner sous l'eau. En particulier, la demande internationale de brevet WO 2009/122134 décrit une unité sous-marine de traitement de l'eau de mer. Le fait de mettre l'unité sous l'eau présente aussi un avantage en terme énergétique : le système placé dans un environnement sous-marin bénéficie d'une pression hydrostatique approximativement proportionnelle à la profondeur à laquelle il est

situé. Le brevet US 7 600 567 décrit également une unité sous-marine de traitement de l'eau, pouvant être placée sous l'eau à une profondeur comprise entre 250 et 700 mètres.

Or, actuellement, les découvertes de gisements d'hydrocarbures de grande
5 taille se font de plus en plus rares dans des zones de faibles et moyennes profondeurs d'eau, c'est à dire jusqu'à 500 mètres de profondeur. Dans le but d'assurer le renouvellement des réserves, il est nécessaire de développer de nouveaux gisements situés dans les grands fonds (c'est-à-dire à une profondeur comprise entre 500 et 1 500 mètres) et dans les ultra-grands fonds (c'est-à-dire au-delà de 1 500 mètres de
10 profondeur).

Dans les faibles et moyennes profondeurs d'eau, les conditions de température, de salinité, ainsi que la faune aquatique ne sont pas radicalement différentes des conditions de surfaces. Par contre, dans les grands fonds et les ultra-grands fonds, la température de l'eau est d'environ 3°C à 5°C et la viscosité de l'eau
15 augmente ainsi avec la profondeur. Ainsi, les conditions environnementales auxquelles sont soumises les unités sous-marines de traitement de l'eau sont tout à fait particulières.

De plus, l'environnement sous-marin réel ne peut pas être défini uniquement par des conditions de pression et de température. Il s'agit d'un milieu complexe, avec
20 des compositions chimiques variables, et surtout comprenant des micro-organismes spécifiques aux grands fonds et aux ultra-grands fonds.

Ces micro-organismes ont tendance à s'accrocher et à se développer sur certaines surfaces, et plus particulièrement à venir encrasser rapidement tout dispositif sous-marin. Ce phénomène d'encrassement d'origine biologique est
25 désigné couramment par le terme anglo-saxon de « biofouling ». Il s'agit du phénomène de dégradation ou de détérioration d'une surface ou d'un objet laissé dans un milieu aquatique, comme typiquement en mer, par la croissance d'organismes vivants tels que des bactéries, des protozoaires, des algues et des crustacés.

Lorsqu'elles sont disposées à grande ou à ultra-grande profondeur, les unités
30 sous-marines de traitement de l'eau, et en particulier les membranes de filtration qu'elles contiennent, sont donc soumises à des conditions environnementales très particulières.

Traditionnellement, le fonctionnement des membranes de filtration sous ces conditions de pression, de température et de salinité a été reproduit en laboratoire.

Cependant, cette solution n'est pas totalement satisfaisante. En effet, à l'heure actuelle, il n'existe pas à la connaissance des chercheurs de moyens de simuler de
5 façon fiable le phénomène de biofouling en laboratoire car trop de paramètres, tels que la nature des bactéries, les courants marins, les changements saisonniers, etc., ne peuvent être reproduits.

Or, dans le cas d'unités de traitement de l'eau de mer en vue d'être utilisée comme eau d'injection dans un puits pétrolier, lesdites unités doivent de préférence
10 rester opérationnelles plusieurs mois, voire plusieurs années sans aucune intervention. En outre, il est préférable que l'unité soit la plus robuste possible de façon à diminuer le nombre d'interventions de maintenance indispensables.

Ainsi, l'étude de l'encrassement par biofouling de filtres destinés aux grands fonds et ultra-grands fonds est particulièrement importante car elle permettrait de
15 définir des dispositifs et les procédures de maintenances les mieux adaptés aux unités sous-marines de traitement de l'eau de mer en vue d'être utilisée comme eau d'injection dans un puits pétrolier.

Le problème posé est également vrai pour toute installation sous-marine possédant un système de filtration. Il existe de nombreux cas où les chercheurs et les
20 industriels ont besoin de faire fonctionner des filtres sous l'eau, par exemple dans les mers et océans. On peut par exemple citer les dispositifs de pompage d'eau de mer à des fins d'analyses ou à des fins industrielles, ou bien les dispositifs de recherche et d'étude d'épaves à grande profondeur.

C'est dans ce contexte que les inventeurs ont mis au point un procédé
25 d'évaluation du fonctionnement de filtres, qui permet, à l'aide d'un dispositif de test sous-marin, d'étudier l'encrassement des filtres directement dans l'environnement réel sous-marin.

RESUME DE L'INVENTION

30 La présente invention a entre autre pour objet un procédé de test d'un système sous-marin de filtration comprenant au moins un filtre, comprenant les étapes consistant à :

- faire entrer un flux d'eau dans un dispositif de test sous-marin via une prise d'eau, ledit dispositif de test sous-marin comprenant ledit filtre ;

- amener ce flux dans le dispositif de test sous-marin jusqu'audit filtre;

5 - obtenir un filtrat en aval dudit filtre et rejeter ledit filtrat dans l'environnement via une conduite d'évacuation ;
ledit dispositif de test sous-marin étant placé sous l'eau à au moins 500 mètres de profondeur.

En outre, le dispositif de test sous-marin comprenant :

- au moins un filtre ;

10 - une prise d'eau adaptée pour faire entrer dans le dispositif sous-marin un flux d'eau prélevé dans l'environnement du dispositif ;

- une conduite reliant ladite prise d'eau et ledit filtre ;

- une conduite d'évacuation en aval dudit filtre adaptée pour rejeter le filtrat dans l'environnement du dispositif ;

15 - au moins une pompe adaptée pour réaliser la filtration du flux d'eau au travers dudit filtre ;

- un moyen pour alimenter le dispositif en énergie,

est également un objet de la présente invention.

20 L'invention concerne en outre l'utilisation dudit dispositif de test sous-marin pour suivre en conditions réelles l'évolution de l'encrassement d'un filtre disposé en milieu aquatique.

DESCRIPTION DES FIGURES

25 La **figure 1** est une représentation schématique d'un mode de réalisation d'un dispositif de test sous-marin selon l'invention.

La **figure 2** est une représentation schématique d'un autre mode de réalisation d'un dispositif de test sous-marin selon l'invention.

La **figure 3** est une représentation schématique d'un dispositif de test sous-marin dans le contexte de son utilisation.

30

DESCRIPTION DETAILLÉES DE L'INVENTION

Dans la présent demande, l'expression « compris(e) entre ... et ... » doit être entendue comme incluant les bornes.

Le procédé de test d'un système sous-marin de filtration selon l'invention comprend tout d'abord une étape consistant à faire entrer un flux d'eau dans un dispositif de test sous-marin via une prise d'eau. Le dispositif de test sous-marin, qui est aussi un objet de l'invention, se caractérise entre autre par le fait qu'il comprend au moins un filtre, qui est le filtre du système sous-marin de filtration que l'on souhaite tester.

Dans la présente invention, le terme « filtre » doit être compris au sens large comme désignant un dispositif poreux à travers lequel on peut faire passer un flux liquide pour en séparer certains composants. On considèrera dans ce qui suit que les membranes d'osmose, bien que non poreuses, sont des filtres.

Le filtre peut être choisi dans le groupe constitué par un tamis, un préfiltre et une membrane de filtration. La membrane de filtration peut elle-même être choisie dans le groupe constitué par une membrane de microfiltration, une membrane d'ultrafiltration, une membrane de nanofiltration et une membrane d'osmose.

Un tamis est une grille ayant un maillage plus ou moins fin ou une surface percée de trous. Un tamis a généralement pour fonction de séparer des particules solides de tailles différentes d'un flux liquide, la taille des particules séparées dépendant de la taille du maillage ou des trous du filtre.

On désigne par le terme « préfiltre » un filtre susceptible d'arrêter les particules solides de dimensions relativement élevées, c'est-à-dire supérieures à 100 micromètres. Le préfiltre permet une filtration grossière.

Par ailleurs, les membranes de filtration sont des dispositifs bien connus de l'homme du métier qui permettent une séparation de différents composants d'un flux liquide. La nature de la séparation est déterminée en partie par la dimension des pores des membranes.

Selon la classification IUPAC :

- une membrane de microfiltration présente des macropores dont le diamètre est supérieur à 50 nm,
- une membrane d'ultrafiltration présente des mésopores dont le diamètre est compris entre 2 nm et 50 nm,
- une membrane de nanofiltration présente des micropores dont le diamètre est inférieur à 2 nm.

D'autre part, les membranes d'osmose sont des membranes particulières, bien connues de l'homme du métier. Une membrane d'osmose est une membrane semi-perméable ne laissant passer que le solvant (en général l'eau), et pas les autres substances en solution.

5 Le filtre dans la présente invention peut être de façon préférée une membrane de filtration, et de façon encore plus préférée une membrane de nanofiltration, ou bien une membrane d'osmose inverse. De plus, selon un mode de réalisation plus avantageux, le filtre dans la présente l'invention est une membrane pour désulfatation. Par « membrane pour désulfatation », on entend dans la présente
10 invention une membrane permettant la séparation des ions sulfate de l'eau. Il s'agit d'un mode de réalisation particulièrement avantageux pour l'industrie pétrolière, car ces membranes permettent l'élimination des sulfates dans l'eau de mer destinée à être réinjectée dans les formations souterraines contenant des hydrocarbures.

Parmi les membranes de nanofiltration pour désulfatation de l'eau de mer, on
15 peut citer, entre autres, les membranes SR90 de DOW Filmtec et les NANO-SW de Hydranautics. Le dispositif de test sous-marin selon l'invention peut avantageusement recréer un système sous-marin de filtration plus complexe. En particulier, le dispositif de test sous-marin peut comprendre plusieurs filtres, disposés en série et/ou en parallèle, identiques ou différents. Selon un mode de réalisation préféré, le
20 dispositif de test sous-marin comprend un filtre qui est une membrane de nanofiltration pour désulfatation, et un préfiltre, ledit préfiltre étant situé en amont de ladite membrane de nanofiltration pour désulfatation. Le dispositif peut alors comprendre, dans l'ordre par rapport à l'écoulement normal du flux d'eau dans le dispositif :

- 25
- une prise d'eau ;
 - une conduite reliant ladite prise d'eau et un préfiltre ;
 - ledit préfiltre ;
 - une conduite reliant ledit préfiltre et une membrane de désulfatation ;
 - ladite membrane de nanofiltration pour désulfatation ; puis

30

 - d'une part, une conduite d'évacuation en aval de ladite membrane de désulfatation ; et d'autre part, une conduite d'évacuation du rétentat de la membrane de désulfatation.

Le flux d'eau entre dans le dispositif de test sous-marin via une prise d'eau. Une prise d'eau est un système classique comprenant une ouverture permettant de laisser entrer un flux d'eau dans le dispositif. La prise d'eau peut éventuellement être équipée d'une crépine retenant les éléments solides de gros diamètre, évitant ainsi un bouchage rapide du système de filtration par de gros éléments.

L'emplacement de la prise d'eau détermine la qualité de l'eau qui rentre dans le dispositif de test sous-marin. La prise d'eau peut avantageusement être mobile, par exemple au moyen d'un système télescopique, qui permet de faire varier l'emplacement de la prise d'eau sans modifier l'emplacement du dispositif de test lui-même. En particulier, un système télescopique peut permettre de déplacer le niveau de la prise d'eau, repéré par rapport au fond de l'eau ou à la surface. Le procédé selon l'invention peut éventuellement comprendre une étape consistant à déplacer la prise d'eau, à l'aide par exemple d'un système télescopique commandé à distance ou commandé par un programme pré-enregistré. Cette étape de déplacement de la prise d'eau, sans déplacer l'ensemble du dispositif de test sous-marin, peut être particulièrement avantageuse car elle permet de faire varier les conditions biologiques et physico-chimiques du flux d'eau destiné à traverser le filtre sans déplacer le dispositif de test sous-marin.

Le procédé de test d'un système sous-marin de filtration selon l'invention comprend ensuite les étapes consistant à amener le flux d'eau entré dans le dispositif de test sous-marin jusqu'audit filtre, puis à obtenir un filtrat en aval dudit filtre et rejeter ledit filtrat dans l'environnement via une conduite d'évacuation.

Dans le dispositif de test sous-marin de la présente invention, le filtre peut être disposé dans un module spécifique comprenant deux chambres, une première chambre en amont du filtre et une seconde chambre en aval du filtre, le filtre formant cloison entre les deux chambres. La première chambre en amont est équipée d'au moins un conduit permettant l'entrée du flux d'eau. La seconde chambre en aval est équipée d'au moins un conduit d'évacuation. Eventuellement, la première chambre en amont est aussi également équipée d'un second conduit d'évacuation. Le dimensionnement des chambres amont et aval peut être réalisé par l'homme du métier en particulier en fonction de la nature du filtre et de la nature et du débit du flux à filtrer.

Classiquement, le flux d'eau peut être amené dans la première chambre du filtre par un conduit d'alimentation. La fraction du flux traversant le filtre et parvenant dans la seconde chambre, en aval du filtre, est couramment nommée le filtrat. La fraction du flux qui est retenu par le filtre est couramment nommée le rétentat. Selon la nature du filtre, le rétentat peut être solide, liquide, ou un mélange des deux.

Pour faire circuler l'eau à travers le filtre, le dispositif de test sous-marin selon l'invention comprend au moins une pompe adaptée pour réaliser la filtration du flux d'eau. Ladite pompe peut être située sur la conduite reliant la prise d'eau et le filtre. La pompe peut être commandée par un système électronique. Ce système électronique peut être commandé par un programme pré-enregistré qui ne nécessite pas l'intervention d'un opérateur. Alternativement, il peut être commandé par un opérateur, posté de préférence en surface, et les informations échangées entre l'opérateur et de système électronique peuvent être transmises via un câble ou par voie dématérialisée (par exemple, par ondes).

La conduite d'évacuation en aval du filtre a pour fonction d'évacuer le filtrat du dispositif. Le dispositif selon l'invention étant un dispositif de test sous-marin, on préfère ne pas récupérer le filtrat. Celui-ci est donc de préférence relâché directement dans l'environnement, à proximité du dispositif de test sous-marin.

Eventuellement, le dispositif de test sous-marin selon l'invention peut comprendre une conduite d'évacuation du rétentat du filtre. Le dispositif selon l'invention étant un dispositif de test sous-marin, on préfère également ne pas récupérer le rétentat. Celui-ci est donc de préférence relâché directement dans l'environnement, à proximité du dispositif de test sous-marin. Lorsque le dispositif ne comprend pas de conduite d'évacuation du rétentat, le rétentat peut s'accumuler en amont du filtre. Le présent dispositif de test sous-marin peut permettre d'évaluer la vitesse d'accumulation du rétentat au niveau du filtre, et de prédire ainsi, en conditions réelles, la durée de vie du filtre, la fréquence de nettoyage nécessaire ou encore un dimensionnement approprié.

Le débit du flux d'eau filtré selon l'invention est avantageusement compris entre 0,02 et 5,00 m³/h. Par comparaison, le débit d'eau filtré dans une unité de traitement d'eau destinée à être injectée dans un puits pétrolier est supérieur à 30 m³/h.

Un débit de $0,02 \text{ m}^3/\text{h}$ peut être atteint à l'aide d'une membrane d'osmose inverse de dimension $(2,54 \text{ cm} \times 2,54 \text{ cm}) \times 6,35 \text{ cm}$.

Un débit de $5,00 \text{ m}^3/\text{h}$ peut être atteint à l'aide d'une membrane de nanofiltration de dimension $(10,16 \text{ cm} \times 15,24 \text{ cm}) \times 10,16 \text{ cm}$, éventuellement à l'aide de plusieurs membranes.

Dans un mode de réalisation particulier, le dispositif test comprend une membrane de nanofiltration de dimension $(2,54 \text{ cm} \times 15,24 \text{ cm}) \times 6,35 \text{ cm}$ et le débit d'eau filtré au travers de cette membrane est compris entre $0,2$ et $0,4 \text{ m}^3/\text{h}$.

En outre, le procédé de test selon l'invention se caractérise par le fait que le dispositif de test sous-marin est placé sous l'eau à au moins 500 mètres, notamment au moins 800 mètres de profondeur. La profondeur du dispositif est de façon préférée comprise entre 800 mètres et 3000 mètres, de façon plus préférée comprise entre 1000 mètres et 3000 mètres, et de façon encore plus préférée entre 1500 mètres et 3000 mètres.

De préférence, le dispositif de test est placé dans la mer, et le flux d'eau filtré est un flux d'eau de mer.

Le dispositif de test sous-marin est soumis à une pression extérieure comprise de façon préférée entre 80 et 300 bars, cette pression étant bien sûr fonction de la profondeur à laquelle est installé le dispositif de test sous-marin, qui correspond de préférence à la profondeur d'installation du système sous-marin de filtration définitif. La température existante à l'endroit où est installé le dispositif de test sous-marin est aussi fonction de la profondeur à laquelle se trouve le dispositif de test sous-marin, mais aussi plus généralement du lieu géographique où est placé le dispositif de test sous-marin. Par exemple, si le dispositif de test sous-marin est installé à 3000 mètres de profondeur dans le Golfe de Guinée, la température de l'eau sera d'environ 4°C . Si le dispositif de test sous-marin est installé à 500 mètres de profondeur en mer d'Arctique, notamment à 800 mètres de profondeur, la température de l'eau sera d'environ -2°C . De façon générale, le dispositif de test sous-marin est soumis à une température extérieure comprise de façon préférée entre 10°C et -2°C .

En milieu marin, il est bien connu que la durée de vie et la capacité de filtration des filtres peuvent être fortement réduites par le phénomène de biofouling

qui provoque le colmatage des filtres. Cependant, il est difficile d'anticiper le phénomène de biofouling dans les conditions particulières des grands fonds océaniques : en effet, la flore bactérienne est mal connue, et l'impact que peuvent avoir les hautes pressions et les basses températures sur le biofouling n'est pas maîtrisé. Afin d'optimiser le dimensionnement et le fonctionnement d'un système sous-marin de filtration de l'eau de mer, il est nécessaire de connaître précisément les risques de biofouling dans les conditions biologiques et physico-chimiques existantes à l'endroit où le système sous-marin de filtration de l'eau de mer sera installée.

Le procédé de test de la présente invention a pour objectif de faire fonctionner un filtre *in-situ*, c'est-à-dire dans les conditions biologiques et physico-chimiques existantes au site d'installation du dispositif de test sous-marin, ce site correspondant au site prévisionnel d'installation du système sous-marin de filtration définitif. Le fonctionnement du filtre peut être surveillé lors de la mise en œuvre du procédé selon l'invention. Le procédé selon l'invention, ainsi que le dispositif de test sous-marin spécifiquement conçu pour la mise en œuvre du procédé de test, sont donc particulièrement avantageux pour quantifier de façon fiable le risque de colmatage, notamment du fait du biofouling, et *in fine* optimiser le dimensionnement et le fonctionnement du système sous-marin de filtration définitif.

La surveillance du fonctionnement du filtre peut être réalisée à tout moment, selon les techniques connues de l'homme du métier. Il peut être envisagé par exemple de remonter le dispositif de test sous-marin à la surface au bout d'un temps donné, et un opérateur peut constater l'état de colmatage du filtre.

Pour permettre de suivre dans le temps l'évolution du niveau de colmatage du filtre, le procédé de test selon l'invention peut avantageusement comprendre en outre une étape consistant à :

- mesurer la différence de pression entre l'amont et l'aval du filtre ; et
- enregistrer cette mesure de la différence de pression dans un moyen de stockage situé dans le dispositif de test sous-marin ou transmettre cette mesure de la différence de pression à un moyen de réception situé hors du dispositif de test sous-marin.

Pour réaliser cette fonction, le dispositif de test sous-marin selon l'invention peut avantageusement comprendre en outre un moyen de mesure de la différence de pression entre l'amont et l'aval du filtre.

5 En effet, l'efficacité de la filtration est directement liée au différentiel de pression entre l'amont et l'aval du filtre. Une diminution de l'efficacité de la filtration, résultant par exemple du colmatage du filtre, peut être aisément détectée par la mesure du différentiel de pression entre l'amont et l'aval du filtre.

La différence de pression peut être mesurée avec deux capteurs de pression en soustrayant les deux résultats ou avec un unique capteur de pression différentielle.
10 L'utilisation d'un unique capteur de pression différentielle dans la présente invention présente l'avantage d'éviter un décalage dans le temps entre la mesure de la pression en amont et la mesure de la pression en aval du filtre. En outre, l'utilisation d'un unique capteur de pression différentielle permet avantageusement d'atteindre une meilleure précision de la mesure. A titre d'exemple, le capteur de pression peut être
15 choisi dans le groupe constitué par les capteurs piézoélectriques, les capteurs piézorésistifs et les manomètres. L'homme du métier saura choisir le capteur adapté aux conditions et à la précision de la mesure qu'il souhaite faire.

Une fois obtenue, la mesure peut être soit enregistrée dans un moyen de stockage situé dans le dispositif de test sous-marin, soit transmise à un moyen de
20 réception situé hors du dispositif de test sous-marin.

Dans une première alternative, la mesure de la différence de pression entre l'amont et l'aval du filtre est enregistrée dans un moyen de stockage situé dans le dispositif de test sous-marin. Ce moyen de stockage de l'information, qui peut être électronique, doit être adapté pour subir une immersion dans l'eau de mer, à grande
25 profondeur, pour des durées qui peuvent être relativement longues. Les mesures stockées dans ce moyen de stockage ne peuvent être accessibles à un utilisateur que lorsque le moyen de stockage est récupéré. Ce moyen de stockage peut être récupéré, ultérieurement à la prise des mesures, de n'importe quelles façons connues de l'homme du métier. Par exemple, le moyen de stockage peut être récupéré lorsque le
30 dispositif de test sous-marin est remonté à la surface. Alternativement, le moyen de stockage peut être récupéré par un robot sous-marin directement sur le dispositif de test sous-marin toujours immergé. L'avantage de ce mode de réalisation est que le dispositif de test sous-marin est autonome. Il n'y a pas besoin de contact entre le

dispositif de test sous-marin et le surface lors des mesures de la différence de pression.

Dans une seconde alternative, la mesure de la différence de pression entre l'amont et l'aval du filtre est transmise à un moyen de réception situé hors du
5 dispositif de test sous-marin. La transmission de l'information peut être assurée via un câble ou par voie dématérialisée (par exemple, par ondes). Les mesures réalisées dans le dispositif de test sous-marin sont avantageusement directement et immédiatement accessibles à un utilisateur qui aurait accès au moyen de réception.

Selon un mode de réalisation particulier, la mesure de la différence de
10 pression est transmise au moyen de réception situé hors du dispositif de test sous-marin via un ombilical reliant le dispositif de test sous-marin à une unité de commande située à flots, typiquement un bateau ou une plate-forme flottante, de préférence à l'aplomb du dispositif de test sous-marin immergé. L'ombilical selon l'invention peut avoir une longueur comprise entre 500 mètres et 4000 mètres. Cette
15 longueur est bien évidemment fonction du site d'implantation du dispositif de test sous-marin, qui peut avantageusement correspondre au site d'implantation du système sous-marin de filtration définitif. Les ombilicaux sont des dispositifs connus dans le domaine de la production pétrolière sous-marine. Ils sont utilisés notamment pour commander des robots sous-marins destinés à intervenir sur des installations.
20 Les ombilicaux sont étanches et sont capables de résister à des pressions extérieures comprises entre 80 et 300 bars.

Connaître la différence de pression entre le flux en amont du filtre et le flux en aval du filtre permet indirectement des suivre le niveau de donc de connaître le
25 niveau d'encrassement de colmatage du filtre. Ce colmatage peut être dû au fonctionnement normal du filtre, et donc à la nature de l'eau qui y est filtrée, mais aussi au phénomène de biofouling. Ces deux éléments dépendent fortement des conditions biologiques et physico-chimiques existantes au site d'installation du dispositif de test sous-marin, ce site correspondant au site prévisionnel d'installation
30 du système sous-marin de filtration définitif. Le procédé de test selon l'invention est donc particulièrement avantageux pour quantifier dans le temps de façon fiable le risque de colmatage, notamment du fait du biofouling.

De préférence, la mesure de la différence de pression peut être réalisée de façon répétitive, avec une fréquence comprise de préférence entre une fois par seconde et une fois par heure, chaque mesure obtenue étant enregistrée dans le moyen de stockage situé dans le dispositif de test sous-marin ou étant transmise au moyen de réception situé hors du dispositif de test sous-marin.

Pour pouvoir réaliser les différentes étapes décrites ci-avant, et en particulier pour pouvoir faire fonctionner la pompe adaptée pour réaliser la filtration de l'eau de mer, le dispositif de test sous-marin a besoin d'une source d'énergie.

Selon un premier mode de réalisation, le dispositif sous-marin de test est alimenté en énergie depuis la surface via un ombilical. Comme décrit ci-avant, un ombilical est un dispositif bien connu dans le domaine de la production pétrolière sous-marine. L'ombilical peut conduire un courant électrique. Il peut donc alimenter en électricité le dispositif de test sous-marin depuis la surface. En particulier, l'ombilical peut relier le dispositif de test sous-marin à une unité de commande située à flots, typiquement un bateau ou une plate-forme flottante, de préférence à l'aplomb du dispositif de test sous-marin immergé. Le même ombilical peut assurer plusieurs fonctions à la fois. Typiquement, le même ombilical peut servir de voie pour l'alimentation électrique du dispositif de test sous-marin et pour la transmission de la mesure de la différence de pression entre l'amont et l'aval du filtre à un moyen de réception situé hors du dispositif de test sous-marin.

Selon un second mode de réalisation, le dispositif de test sous-marin est autonome électriquement et est alimenté en énergie grâce à une batterie située dans le dispositif de test sous-marin. La présence de batteries n'est pas préférée en raison de leur volume et de leur poids. Toutefois, ce mode de réalisation présente l'avantage de rendre le dispositif de test sous-marin autonome et facilement déplaçable.

Pour améliorer encore la fiabilité de la mesure du niveau de colmatage du filtre, les inventeurs ont imaginé que le procédé de test selon l'invention peut en outre comprendre les étapes consistant prélever au moins un flux choisi parmi :

- le flux en amont du ou des filtres ; et
- le flux en aval du ou des filtres ;

et à stocker ledit prélèvement dans un moyen de stockage situé dans le dispositif de test sous-marin ou à transmettre ledit prélèvement à un moyen de réception situé hors du dispositif de test sous-marin.

Le dispositif de test sous-marin selon la présente invention peut donc en outre
5 comprendre au moins une conduite de prélèvement d'un ou plusieurs flux choisi(s)
parmi le flux en amont du ou des filtres et le flux en aval du ou des filtres. De plus, le
dispositif de test sous-marin peut comprendre un moyen de stockage desdits
prélèvements situé dans le dispositif de test sous-marin et/ou un moyen de
transmission desdits prélèvements à un moyen de réception situé hors du dispositif
10 de test sous-marin.

Le dispositif peut en outre avantageusement comprendre une pompe de
prélèvement, placée sur une ou plusieurs conduites de prélèvement, qui peuvent être
équipées de vannes. Cette étape de prélèvement peut être assurée à distance via
l'activation de la pompe de prélèvement, et éventuellement l'activation de vannes,
15 commandées par un système électronique. Un opérateur posté au niveau de l'unité de
commande peut envoyer des instructions de mise en marche de la pompe de
prélèvement et des vannes qui sont transmises par exemple via l'ombilical qui relie le
dispositif de test sous-marin et son unité de commande. Alternativement, la pompe et
les vannes peuvent être commandées par un programme pré-enregistré qui ne
20 nécessite pas l'intervention d'un opérateur.

Ledit prélèvement obtenu peut alors soit être stocké dans un moyen de
stockage situé dans le dispositif de test sous-marin, soit être transmis à un moyen de
réception situé hors du dispositif de test sous-marin. Dans le premier cas, le stockage
peut être fait par exemple dans un flacon ou un contenant quelconque fixé au
25 dispositif de test sous-marin. Cet échantillon peut être récupéré lorsque le dispositif
de test sous-marin est remonté à la surface, ou lorsque le moyen de stockage est
remonté à la surface d'une façon quelconque. Dans le second cas, le prélèvement
peut être transmis à un moyen de réception situé hors du dispositif de test sous-marin
par exemple via une conduite de prélèvement dans un ombilical qui relie le dispositif
30 de test sous-marin à son unité de commande, où un opérateur peut le récupérer. Une
conduite de prélèvement dans un ombilical consiste en une tubulure, étanche vis-à-
vis des éléments de transmission électrique qui sont généralement compris dans
l'ombilical, qui permet l'acheminement des échantillons liquides.

Une fois récupéré, l'échantillon prélevé peut être analysé par un opérateur.

L'étape de prélèvement peut être ponctuelle, répétée ou continue. Comme la mesure de la différence de pression, la répétition de l'étape de prélèvement permet avantageusement à un opérateur d'effectuer un suivi de l'évolution des flux prélevés à un même endroit dans le dispositif de test sous-marin.

Il est également avantageux de prélever plusieurs échantillons dans le dispositif de test sous-marin, en particulier au moins un échantillon en amont du filtre et un échantillon en aval du filtre. L'analyse et la comparaison de ces échantillons peut donner à l'opérateur des renseignements sur le fonctionnement et l'efficacité du filtre.

Lorsque plusieurs échantillons sont prélevés, il est préférable que ces échantillons ne soient pas mélangés avant qu'ils ne soient récupérés par un opérateur. Pour ce faire, une solution consiste à espacer dans le temps le prélèvement de chaque échantillon. Lorsque plusieurs échantillons de nature différente sont transmis par une conduite de prélèvement dans un ombilical les uns à la suite des autres, il est préférable de prévoir un volume d'échantillon suffisant pour que l'échantillon soit suffisamment pur à un moment donné. Ce volume d'échantillon peut être évalué par un homme du métier en fonction typiquement du débit des flux et des dimensions de l'ombilical.

Lorsqu'un flux comprend des éléments solides susceptibles de boucher la conduite de prélèvement située dans l'ombilical, il est préféré de stocker ledit prélèvement dans un moyen de stockage situé dans le dispositif de test sous-marin. Il peut s'agir en particulier d'un prélèvement de l'eau au niveau de la prise d'eau du dispositif.

Des moyens destinés à réduire, voire à supprimer, le colmatage des filtres sont connus par l'homme du métier. Un des avantages du procédé de test selon la présente invention est qu'il permet également d'évaluer l'effet que peuvent avoir ces moyens sur le colmatage du filtre dans les conditions réelles de fonctionnement, c'est-à-dire dans les conditions biologiques et physico-chimiques existantes au site d'installation du dispositif de test sous-marin, ce site correspondant avantageusement au site prévisionnel d'installation du système sous-marin de filtration définitif.

Selon un mode de réalisation, le procédé de test selon l'invention comprend en outre une étape de recyclage consistant à amener au moins une partie du filtrat obtenu à la sortie du filtre jusqu'au flux d'eau qui est destiné à traverser ledit filtre. Le dispositif de test sous-marin selon l'invention comprend avantageusement un circuit de recyclage reliant la conduite d'évacuation en aval du filtre à la conduite en amont du filtre. Ce circuit permet d'amener une partie du filtrat recueilli à la sortie du filtre jusqu'au flux d'eau qui est destiné à traverser ledit filtre. Ce système de recyclage a pour effet de diluer le flux d'eau destiné à traverser le filtre, ce qui d'une part augmente le débit du flux entrant, et d'autre part améliore la qualité du flux d'eau entrant, facilitant ainsi sa filtration.

Dans ce mode de réalisation, le dispositif de test sous-marin comprend en outre avantageusement une pompe de recyclage. Ladite pompe peut être située sur le circuit de recyclage reliant la conduite d'évacuation en aval du filtre à la conduite en amont du filtre. La pompe peut être commandée par un système électronique, via par exemple un ombilical qui relie le dispositif de test sous-marin à son unité de commande. La pompe peut être actionnée par un opérateur, de préférence posté au niveau de l'unité de commande. Alternativement, la pompe peut être commandée par un programme pré-enregistré qui ne nécessite pas l'intervention d'un opérateur.

Selon un autre mode de réalisation, le procédé de test selon l'invention comprend en outre une étape de lavage à contre-courant du filtre. Le dispositif de test sous-marin selon l'invention comprend alors avantageusement un circuit de lavage à contre-courant.

Le lavage à contre-courant est une méthode connue pour nettoyer les filtres. Elle consiste à faire circuler un flux d'eau en sens opposé au sens d'écoulement du flux d'eau à travers le filtre en marche normale. Ce faisant, l'eau circulant à contre-courant peut emporter avec elle les éléments plus ou moins gros qui colmatent le filtre.

L'étape de lavage à contre-courant peut comprendre l'arrêt de l'arrivée normale du flux d'eau dans le dispositif de test sous-marin, l'entrée d'un flux d'eau dans le dispositif de test sous-marin via une seconde prise d'eau, la conduite de ce flux jusqu'à la face du filtre qui est initialement du côté aval, la récupération d'un

flux en amont dudit filtre et le rejet dudit flux dans l'environnement via une seconde conduite d'évacuation.

Alternativement, lorsque le dispositif de test sous-marin comprend plusieurs filtres en parallèle, l'étape de lavage à contre-courant peut consister à amener la
5 totalité du flux d'eau entrant dans le dispositif de test sous-marin vers un seul des filtres, à récupérer au moins une partie du filtrat de ce filtre et à conduire ce filtrat jusqu'à la face aval d'un second filtre situé en parallèle du premier via la conduite normale d'évacuation du filtrat de ce second filtre, puis à récupérer ce flux en amont du second filtre et à rejeter ledit flux dans l'environnement via une conduite
10 d'évacuation du rétentat du second filtre.

Le dispositif de test sous-marin peut comprendre en outre avantageusement une pompe de lavage à contre-courant et éventuellement un ou plusieurs vannes. L'étape de lavage à contre-courant peut être commandée à distance via l'activation de ladite pompe de lavage à contre-courant, et éventuellement l'activation de vannes
15 commandées par un système électronique, via par exemple un ombilical qui relie le dispositif de test sous-marin à son unité de commande. La pompe peut être actionnée par un opérateur, de préférence posté au niveau de l'unité de commande. Alternativement, la pompe peut être commandée par un programme pré-enregistré qui ne nécessite pas l'intervention d'un opérateur.

20

Selon encore un autre mode de réalisation, le procédé de test selon l'invention comprend en outre une étape consistant à injecter un biocide dans la conduite reliant la prise d'eau et le filtre, de préférence à proximité de la prise d'eau. Le dispositif de test sous-marin peut alors comprendre en outre un ou plusieurs réservoirs de biocide,
25 au moins l'un de ces réservoirs étant disposé de façon à permettre l'injection de biocide dans la conduite reliant la prise d'eau et le filtre, de préférence à proximité de la prise d'eau.

L'injection de biocide dans le flux d'eau s'écoulant dans le dispositif de la présente invention permet de réduire le phénomène de biofouling. Les biocides bien
30 connus pour cette application sont par exemple le DBNPA (dibromo-nitrolopropionamide) ou l'Isothiazoline..

L'injection de biocide peut être déclenchée à l'aide de vannes qui peuvent être commandées par un système électronique, via par exemple un ombilical qui relie

le dispositif de test sous-marin à son unité de commande. Les vannes peuvent être actionnées par un opérateur, de préférence posté au niveau de l'unité de commande. Alternativement, les vannes peuvent être commandées par un programme pré-enregistré qui ne nécessite pas l'intervention d'un opérateur.

- 5 En outre, le procédé selon l'invention peut également comprendre une étape consistant à injecter du biocide dans le circuit de lavage à contre-courant si celui-ci est présent dans le dispositif de test sous-marin.

10 Le procédé et le dispositif de test décrit ci-avant sont avantageusement conçus pour suivre le niveau de colmatage du filtre dans les conditions biologiques et physico-chimiques existantes au site d'installation du dispositif de test sous-marin, ce site correspondant avantageusement au site prévisionnel d'installation du système sous-marin de filtration définitif. Le dispositif de test sous-marin doit donc être immergé pour que le procédé de test soit mis en œuvre.

15 Le procédé de test selon l'invention peut avantageusement comprendre en outre une étape préliminaire consistant à immerger le dispositif de test sous-marin dans un milieu aquatique à une profondeur d'au moins 500 mètres, puis à laisser le dispositif sous l'eau pendant une durée comprise entre 1 et 12 mois, puis à remonter le dispositif à la surface.

20 Cette étape de mise en place du dispositif de test sous-marin peut être réalisée à l'aide d'un treuil à flots. Le treuil peut par exemple se trouver sur un bateau ou sur une plate-forme flottante. De préférence, le treuil se trouve à proximité de l'unité de commande. L'ombilical peut servir de câble permettant la descente du dispositif de test sous-marin dans l'eau. Une fois l'étape de descente effectuée, selon un mode de
25 réalisation préféré, le dispositif de test sous-marin est suspendu dans l'eau par l'ombilical, lui-même attaché au treuil. Ce mode de réalisation est avantageux car il permet de déplacer facilement et à tout moment le dispositif de test sous-marin. On peut ainsi effectuer des tests à différentes profondeurs.

30 Toutefois, l'invention n'est pas limitée à ce mode de réalisation et le dispositif de test sous-marin pourra également, par exemple, être déposé sur le fond marin.

La présente invention a également pour objet le dispositif de test sous-marin spécifiquement adapté à la mise en œuvre du procédé de test tel que décrit ci-dessus.

Ledit dispositif de test sous-marin comprend

- au moins un filtre ;
- une prise d'eau adaptée pour faire entrer dans le dispositif sous-marin un flux d'eau prélevé dans l'environnement du dispositif ;
- 5 - une conduite reliant ladite prise d'eau et ledit filtre ;
- une conduite d'évacuation en aval dudit filtre adaptée pour rejeter le filtrat dans l'environnement du dispositif ;
- au moins une pompe adaptée pour réaliser la filtration du flux d'eau au travers dudit filtre ;
- 10 - un moyen pour alimenter le dispositif en énergie.

Il peut présenter en outre toutes les caractéristiques avantageuses décrites ci-avant permettant de mettre en œuvre le procédé de test.

Le dispositif de test sous-marin peut se présenter de préférence sous une forme compacte et tenir dans une structure solide parallélépipédique, à l'exception
15 éventuellement de la prise d'eau et de la conduite d'évacuation qui peuvent s'étendre au-delà de la structure. Les dimensions de cette structure peuvent être comprises entre 1,2 m (longueur) × 0,5 m (largeur) × 0,4 m (hauteur) et 5 m (longueur) × 2 m (largeur) × 1,6 m (hauteur), par exemple : 2,5 m (longueur) × 1 m (largeur) × 0,8 m (hauteur). Le poids total de l'unité hors de l'eau peut être compris entre 120 kg et
20 12 000 kg, par exemple 1200 kg.

Le dispositif de test selon l'invention peut être complètement ou partiellement marinisé. Dans un mode de réalisation particulier, tout ou partie du dispositif est placé dans une enceinte sous pression isolée du milieu extérieur.

25 Enfin, la présente invention a pour objet l'utilisation dudit dispositif de test sous-marin pour suivre en conditions réelles l'évolution du colmatage d'un filtre disposé en milieu aquatique.

Les inventeurs ont conçu le dispositif et le procédé selon la présente invention
30 pour quantifier de façon fiable le risque de colmatage d'un filtre dans les conditions biologiques et physico-chimiques existantes au site d'installation d'un dispositif de test sous-marin, ce site correspondant avantageusement au site prévisionnel d'installation du système sous-marin de filtration définitif. Le dispositif et le procédé

selon la présente invention permettent *in fine* d'optimiser le dimensionnement et le fonctionnement de du système sous-marin de filtration définitif. Les mesures et les éventuels prélèvements effectués permettent avantageusement en outre de suivre l'évolution du colmatage, d'étudier les phénomènes causant ce colmatage, et de tester l'effet des moyens permettant de réduire le colmatage.

Outre les fins de recherche et de compréhension des phénomènes physiques et chimiques en jeu, les présents dispositifs et procédé de test peuvent servir de pilotes pour un futur dispositif permanent, destiné à fonctionner de façon durable sous l'eau. Le présent dispositif et procédé de test peuvent donc servir à dimensionner le système de filtration définitif, à sélectionner les moyens de nettoyage les plus efficaces et à anticiper le remplacement futur des filtres.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description de modes de réalisation particuliers représentés dans les figures.

15

La **figure 1** est une représentation schématique d'un mode de réalisation d'un dispositif de test sous-marin selon l'invention.

Le dispositif de test sous-marin **1** comprend un filtre **2**, une prise d'eau **3** adaptée pour faire entrer dans le dispositif sous-marin **1** un flux d'eau prélevé dans l'environnement du dispositif, une conduite **4** reliant la prise d'eau **3** et le filtre **2**, une conduite d'évacuation **5** en aval du filtre **2** adaptée pour rejeter le filtrat dans l'environnement du dispositif. Le dispositif de test sous-marin **1** comprend en outre une pompe **6** adaptée pour réaliser la filtration de l'eau de mer au travers du filtre **2**. Cette pompe **6** est située sur la conduite **4** reliant la prise d'eau **3** au filtre **2**. En outre, le dispositif comprend un moyen **7** pour alimenter le dispositif **1** en énergie, et en particulier pour alimenter la pompe **6** en énergie. Ce moyen **7** peut être en particulier un ombilical reliant le dispositif de test sous-marin **1** à une source d'énergie, ou une batterie située dans ledit dispositif **1**.

30

La **figure 2** est une représentation schématique d'un autre mode de réalisation d'un dispositif de test sous-marin selon l'invention.

Dans ce mode de réalisation, le dispositif de test sous-marin **1** comprend également un filtre **2**, une prise d'eau **3** adaptée pour faire entrer dans le dispositif

sous-marin **1** un flux d'eau prélevé dans l'environnement du dispositif, une conduite **4** reliant la prise d'eau **3** et le filtre **2**, une conduite d'évacuation **5** en aval du filtre **2** adaptée pour rejeter le filtrat dans l'environnement du dispositif, et une pompe **6**, située sur la conduite **4** reliant la prise d'eau **3** au filtre **2**, et adaptée pour réaliser la filtration de l'eau de mer au travers du filtre **2**.

Sur cette représentation schématique, le moyen d'alimentation en énergie du dispositif **1** n'est pas représenté.

Le filtre **2** est de préférence une membrane de nanofiltration pour désulfatation.

Le dispositif de test sous-marin **1** comprend également un moyen de mesure de la différence de pression **8** entre l'amont et l'aval dudit filtre **2**. La différence de pression peut être mesurée comme représentée entre la conduite **4** reliant la prise d'eau au filtre, après la pompe **6**, et la conduite d'évacuation **5** en aval du filtre **2**.

Outre le filtre **2**, le dispositif de test sous-marin **1** comprend deux préfiltres **9** et **10**, disposés en parallèles l'un de l'autre et en amont du filtre **2**. L'arrivée à chacun de ces préfiltres **9** et **10** est contrôlée par une vanne, respectivement les vannes **11** et **12**.

Le dispositif de test sous-marin **1** comprend en outre un circuit de recyclage **13** reliant la conduite d'évacuation **5** en aval du filtre **2** à la conduite **4** en amont du filtre **2** mais en aval de la pompe **6**. Une pompe de recyclage **14** est située sur le circuit de recyclage **13**, de manière à permettre la circulation du flux dans le circuit de recyclage **13**.

Le dispositif de test sous-marin **1** est également équipé d'une conduite d'évacuation **15** du rétentat du filtre **2**. Cette conduite **15** débouche dans l'environnement, à l'extérieur du dispositif de test sous-marin **1**. Le débit d'évacuation du rétentat peut être contrôlé grâce à la vanne **16**.

Le dispositif de test sous-marin **1** comprend en outre un circuit de lavage à contre-courant des préfiltres **9** et **10**. Le dispositif de test sous-marin comprend une pompe de lavage **17**. En outre, les préfiltres **9** et **10** possèdent tous les deux une conduite d'évacuation du rétentat, respectivement **18** et **19**. Ces deux conduites sont équipées de vannes, respectivement **20** et **21**. Un tel circuit de lavage à contre-courant permet de laver un des préfiltres pendant que l'autre continue à fonctionner normalement. Il n'est donc pas nécessaire d'arrêter le procédé de test pour pouvoir

nettoyer les préfiltres. Par exemple, si l'on souhaite laver à contre-courant le préfiltre **10** tandis que le préfiltre **9** fonctionne normalement : Les vannes **11** et **21** sont ouvertes, tandis que les vannes **12** et **20** sont fermées. Le flux d'eau arrivant normalement par la prise d'eau **3** par la conduite **4** est dirigé uniquement vers le préfiltre **9**. Le filtrat obtenu en sortie du préfiltre **9** est divisé en deux flux : un premier flux rejoint la conduite **4** vers la pompe **6** et le filtre **2**, un second flux pénètre dans le préfiltre **10** par sa face qui est normalement en aval via la conduite normale d'évacuation du filtrat du préfiltre **10**. Ce second flux traverse le préfiltre en sens inverse par rapport au sens normal de filtration, et il peut emporter avec lui la matière qui pourrait encombrer le préfiltre **10**. Ce second flux sort par la conduite **19** qui est normalement la conduite d'évacuation du rétentat du préfiltre **10**, puis est rejeté hors du dispositif de test sous-marin **1** via la conduite **22**. La pompe de lavage **17** est située sur la conduite **22** d'évacuation, de manière à permettre la circulation du second flux dans le circuit de lavage à contre-courant. Maintenant, si l'on souhaite laver à contre-courant le préfiltre **9** tandis que le préfiltre **10** fonctionne normalement, on ouvre les vannes **12** et **20** et on ferme les vannes **11** et **21**. Le procédé de lavage à contre-courant se déroule de la même manière en inversant les rôles des préfiltres **9** et **10**.

Le dispositif de test sous-marin **1** est également équipé d'un réservoir de biocide **23**. Le réservoir **23** est adapté pour injecter du biocide dans la conduite **4** reliant la prise d'eau **3** et le filtre **2**, à proximité de la prise d'eau **3**. L'injection du biocide est contrôlée par une vanne **24**.

En outre, le dispositif de test sous-marin **1** comprend une conduite de prélèvement **25** de plusieurs flux. Un premier flux est prélevé dans la conduite **4** entre les préfiltres **9/10** et la pompe **6**, un second flux est prélevé dans la conduite **4** entre la pompe **6** et le filtre **2**, et un troisième flux est prélevé dans la conduite d'évacuation **5** en aval du filtre **2**. Le prélèvement de chacun de ces flux est contrôlé par les vannes **26**, **27** et **28**. Une pompe de prélèvement **29** est située sur le conduit de prélèvement **25** de manière à permettre le prélèvement des échantillons de chacun des flux, et leur transmission vers un moyen de réception (non représenté) situé hors du dispositif de test sous-marin **1**. D'autre part, un prélèvement du flux dans la conduite **4** en aval de la prise d'eau **3** est contrôlé par la vanne **30**. Le flux prélevé à

cet endroit est stocké dans le moyen de stockage **31**, qui peut être un flacon, et qui est situé dans le dispositif de test sous-marin **1**.

La **figure 3** est une représentation schématique d'un dispositif de test sous-
5 marin dans le contexte de son utilisation.

Le dispositif de test sous-marin **1** est représenté immergé, entre la surface **100** et le fond de l'eau **101**. Le dispositif de test sous-marin **1** est suspendu dans l'eau par un ombilical **102**, lui-même attaché à un treuil **103** qui se trouve sur une plate-forme flottante **104**.

10 De préférence, une unité de commande (non représentée) du dispositif de test sous-marin **1** se trouve sur la plateforme flottante **104**.

Selon ce mode de réalisation, l'ombilical **102** peut avoir plusieurs fonctions :

- L'ombilical **102** peut alimenter en énergie électrique le dispositif de test sous-marin **1**.

15 - L'ombilical **102** peut servir d'élément porteur au dispositif de test sous-marin **1**.

- L'ombilical **102** peut être un moyen d'échange d'informations entre le dispositif de test sous-marin **1** et l'unité de commande. Typiquement, l'ombilical peut transmettre les commandes envoyées par un opérateur posté au niveau de l'unité
20 de commande au dispositif de test sous-marin **1** qui est placée sous l'eau. Ces commandes peuvent être destinées à des pompes, à des vannes, ou à tout autre élément du dispositif de test sous-marin **1**.

- L'ombilical **102** peut être la voie de transmission de la mesure de la différence de pression entre l'amont et l'aval du filtre, lorsque celle-ci est mesurée,
25 entre le dispositif de test sous-marin **1** et un moyen de réception qui peut être l'unité de commande.

- L'ombilical **102** peut enfin être la voie de transmission de d'échantillons de flux prélevés dans le dispositif de test sous-marin **1**, lorsque le dispositif de test sous-marin **1** dispose de conduites de prélèvement.

30

REVENDICATIONS

1. Procédé de test d'un système sous-marin de filtration comprenant au moins un filtre, comprenant les étapes consistant à :
 - 5 - faire entrer un flux d'eau dans un dispositif de test sous-marin via une prise d'eau, ledit dispositif de test sous-marin comprenant ledit filtre ;
 - amener ce flux dans le dispositif de test sous-marin jusqu'audit filtre;
 - obtenir un filtrat en aval dudit filtre et rejeter ledit filtrat dans l'environnement via une conduite d'évacuation ;
 - 10 ledit dispositif de test sous-marin étant placé sous l'eau à au moins 500 mètres de profondeur.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape consistant à :
 - 15 - mesurer la différence de pression entre l'amont et l'aval du filtre ; et
 - enregistrer cette mesure de la différence de pression dans un moyen de stockage situé dans le dispositif de test sous-marin ou transmettre cette mesure de la différence de pression à un moyen de réception situé hors du dispositif de test sous-
 - 20 marin.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé par le fait que la mesure de la différence de pression est réalisée de façon répétitive, avec une fréquence comprise de préférence entre une fois par seconde et une fois par heure, chaque mesure obtenue étant enregistrée dans le moyen de stockage situé dans le dispositif de test
25 sous-marin ou étant transmise au moyen de réception situé hors du dispositif de test sous-marin.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le
30 dispositif sous-marin de test est alimenté en énergie depuis la surface via un ombilical.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le dispositif sous-marin de test est autonome électriquement et est alimenté en énergie grâce à une batterie située dans le dispositif de test sous-marin.

5 6. Procédé de test selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comprenant en outre les étapes consistant prélever au moins un flux choisi parmi :

- le flux en amont du ou des filtres ; et

- le flux en aval du ou des filtres ;

10 et à stocker ledit prélèvement dans un moyen de stockage situé dans le dispositif de test sous-marin ou à transmettre ledit prélèvement à un moyen de réception situé hors du dispositif de test sous-marin.

15 7. Procédé de test selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de recyclage consistant à amener au moins une partie du filtrat obtenu à la sortie du filtre jusqu'au flux d'eau qui est destiné à traverser ledit filtre.

20 8. Procédé de test selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de lavage à contre-courant du filtre.

9. Procédé de test selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape consistant à injecter un biocide dans une conduite reliant la prise d'eau et le filtre, de préférence à proximité de la prise d'eau.

25 10. Procédé de test selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, comprenant en outre une étape préliminaire consistant à immerger le dispositif de test sous-marin dans un milieu aquatique à une profondeur d'au moins 500 mètres, puis à laisser le dispositif sous l'eau pendant une durée comprise entre 1 et 12 mois, puis à remonter le dispositif à la surface.

30

11. Dispositif de test sous-marin comprenant :

- au moins un filtre ;

- une prise d'eau adaptée pour faire entrer dans le dispositif sous-marin un flux d'eau prélevé dans l'environnement du dispositif ;

- une conduite reliant ladite prise d'eau et ledit filtre ;

5 - une conduite d'évacuation en aval dudit filtre adaptée pour rejeter le filtrat dans l'environnement du dispositif ;

- au moins une pompe adaptée pour réaliser la filtration du flux d'eau au travers dudit filtre ;

- un moyen pour alimenter le dispositif en énergie.

10 12. Dispositif de test sous-marin selon la revendication 11, caractérisé en ce que le filtre est une membrane de filtration.

13. Dispositif de test sous-marin selon la revendication 12, caractérisé en ce que le filtre est une membrane de nanofiltration ou une membrane d'osmose inverse.

15

14. Dispositif de test sous-marin selon la revendication 13, caractérisé en ce que le filtre est une membrane pour désulfatation.

15. Dispositif de test sous-marin selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un moyen de mesure de la différence de pression entre l'amont et l'aval dudit filtre.

20

16. Dispositif de test sous-marin selon l'une quelconque des revendications 11 à 15, caractérisé en ce que le moyen pour alimenter le dispositif en énergie est un ombilical reliant le dispositif sous-marin de test à une source d'énergie.

25

17. Dispositif de test sous-marin selon l'une quelconque des revendications 11 à 15, caractérisé en ce que le moyen pour alimenter le dispositif en énergie est une batterie située dans ledit dispositif.

30

18. Dispositif de test sous-marin selon l'une quelconque des revendications 11 à 17, caractérisé en ce que le filtre est une membrane de nanofiltration pour désulfatation,

et en ce que le dispositif comprend en outre un préfiltre, ledit préfiltre étant situé en amont de ladite membrane de nanofiltration pour désulfatation.

19. Dispositif de test sous-marin selon l'une quelconque des revendications 11 à 18, caractérisé en ce que le dispositif comprend en outre un circuit de recyclage reliant la conduite d'évacuation en aval du filtre à la conduite en amont du filtre.

20. Dispositif de test sous-marin selon l'une quelconque des revendications 11 à 19, caractérisé en ce que le dispositif comprend un circuit de lavage à contre-courant.

10

21. Dispositif de test sous-marin selon l'une quelconque des revendications 11 à 20, caractérisé en ce que l'unité de filtration comprend en outre un ou plusieurs réservoirs de biocide, au moins l'un de ces réservoirs étant adapté à l'injection de biocide dans la conduite reliant la prise d'eau et le filtre, de préférence à proximité de la prise d'eau.

15

22. Dispositif de test sous-marin selon l'une quelconque des revendications 11 à 21, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une conduite de prélèvement d'un ou plusieurs flux choisi(s) parmi :

- 20
- le flux en amont du ou des filtres ; et
 - le flux en aval du ou des filtres ;

et en ce qu'il comprend en outre un moyen de stockage desdits prélèvements situé dans le dispositif de test sous-marin et/ou un moyen de transmission desdits prélèvements à un moyen de réception situé hors du dispositif de test sous-marin.

25

23. Utilisation du dispositif de test sous-marin tel que défini dans l'une quelconque des revendications 11 à 22 pour suivre en conditions réelles l'évolution de l'encrassage d'un filtre disposé en milieu aquatique.

30

1/2

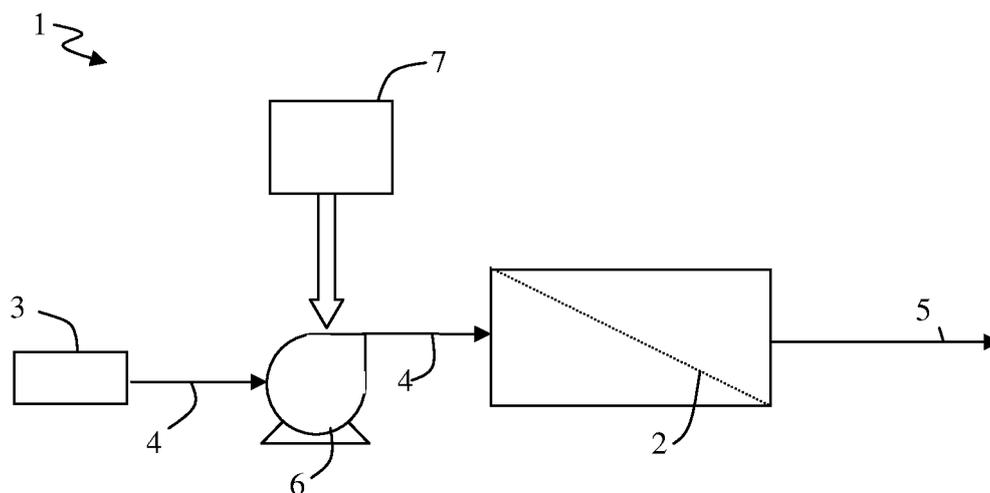


FIGURE 1

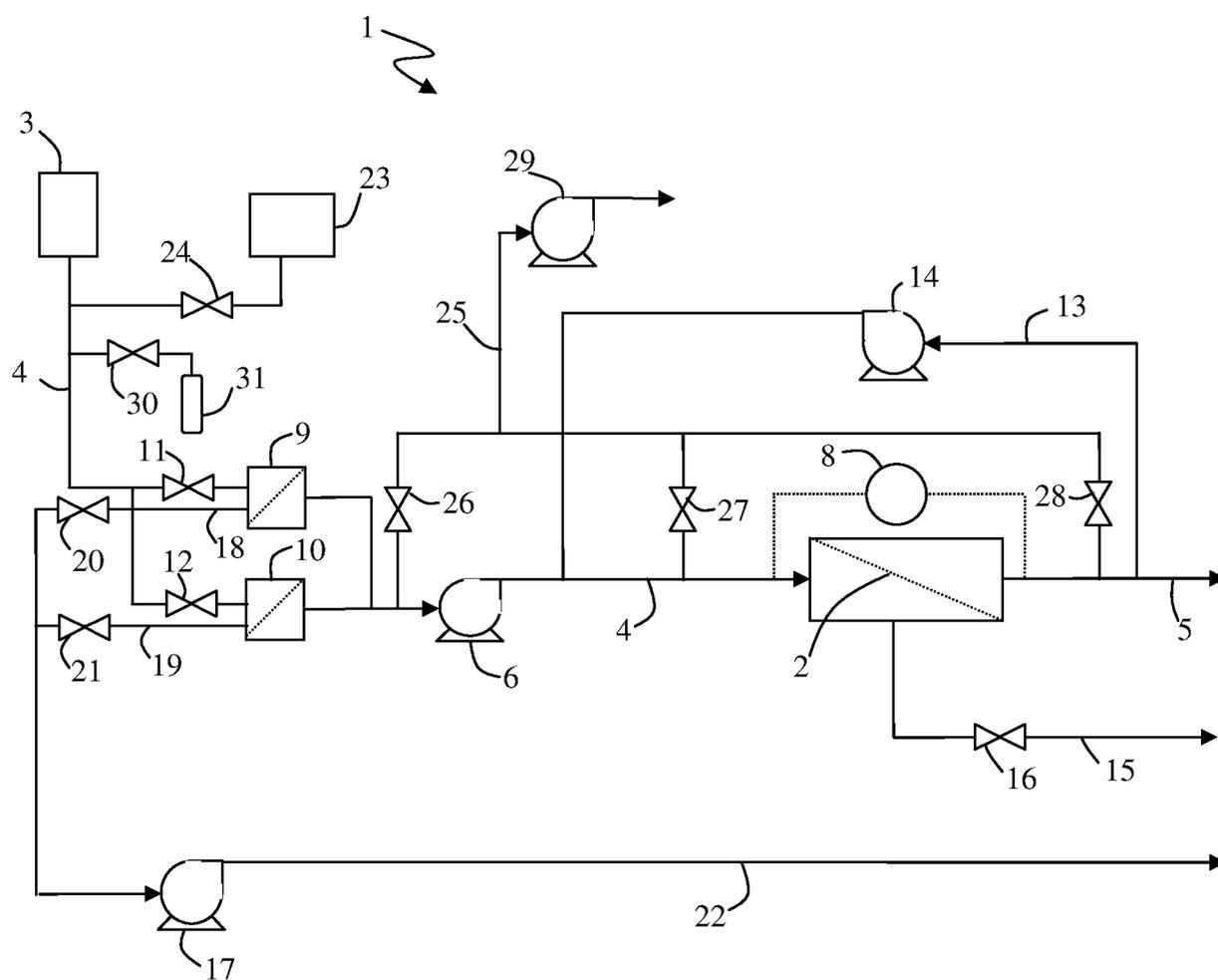


FIGURE 2

2/2

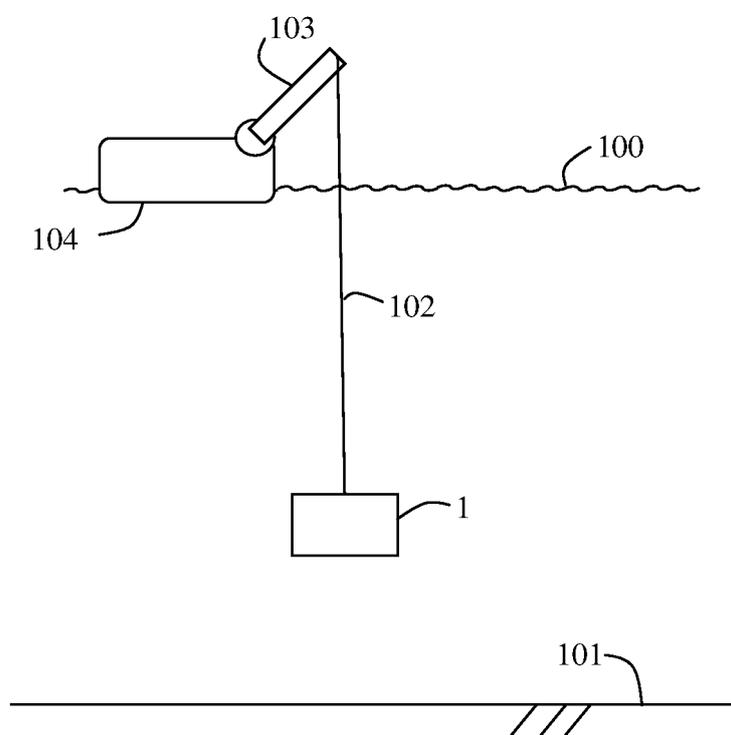


FIGURE 3



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 773312
FR 1258852

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	GB 2 451 008 A (BP EXPLORATION OPERATING [GB]; BP CORP NORTH AMERICA INC [US]) 14 janvier 2009 (2009-01-14) * pages 6-8; figure 1 * * page 11, ligne 7-10 * * page 22 * * le document en entier * -----	1-23	B01D61/02 E21B43/36 E21B43/16
X	WO 2007/138327 A1 (NATCO UK LTD [GB]; BP EXPLORATION OPERATING [GB]; WESTON ROBERT [GB];) 6 décembre 2007 (2007-12-06) * pages 7-9; figure 1; tableaux 1,2 * * le document en entier * -----	1-23	
X	US 2011/132842 A1 (SALYER IVAL O [US]) 9 juin 2011 (2011-06-09) * alinéas [0018], [0027], [0029], [0032] * * le document en entier * -----	1-23	
X	CN 101 844 002 A (SOUTH CHINA SEA INST OCEANOLOG) 29 septembre 2010 (2010-09-29) * page 2 * * page 3, alinéa 2 * * le document en entier * -----	1-23	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) B01D E21B C02F
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
5 juin 2013		Hennebrüder, K	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		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.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1258852 FA 773312**

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 **05-06-2013**

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
GB 2451008	A	14-01-2009	AUCUN	

WO 2007138327	A1	06-12-2007	AUCUN	

US 2011132842	A1	09-06-2011	AUCUN	

CN 101844002	A	29-09-2010	AUCUN	
