

INSTALLATION ET PROCEDE DE TRAITEMENT D'EAU SUR MEMBRANES INTEGRANT UNE ADSORPTION SUR MATERIAU PULVERULENT ADSORBANT ET DES MOYENS PERMETTANT DE LIMITER L'ABRASION DES MEMBRANES

5 **1. Domaine de l'invention**

Le domaine de l'invention est celui du traitement de l'eau.

Plus précisément, l'invention concerne les procédés et installations correspondantes de traitement de l'eau visant à en abattre la teneur en polluants, mettant en œuvre au moins un réacteur membranaire.

10 On entend par « polluant », dans la description qui suit, toute substance présente dans l'eau à traiter dont il est nécessaire de limiter la teneur afin de rendre ladite eau à traiter propre à une utilisation donnée, voire à la consommation humaine ou animale. De telles substances comprennent des microorganismes, des matières en suspension, de la matière organique, des matières colloïdales, des pesticides et/ou
15 engrais des résidus de médicaments, des solvants, des perturbateurs endocriniens, ...

2. **Art antérieur**

Différents procédés sont mis en œuvre sur les eaux usées ou naturelles afin d'assurer leur épuration ou leur potabilisation. Leur objectif est de débarrasser les eaux,
20 en tout ou partie, de la matière organique, des micropolluants, des microorganismes, des matières en suspension... qu'elles contiennent. Les micropolluants qu'on retrouve dans l'eau peuvent avoir diverses origines : résidus de médicaments, perturbateurs endocriniens, résidus de pesticides, solvants chlorés...

De tels procédés mettent classiquement en œuvre une étape de coagulation-floculation suivie d'une étape d'adsorption consistant à mettre en contact l'eau à traiter
25 avec un matériau pulvérulent adsorbant tel que du Charbon Actif en Poudre (CAP), des résines échangeuses d'ions ou des zéolithes. Grâce à leur porosité et leur grande capacité d'adsorption, les matériaux pulvérulents adsorbants permettent de fixer, ou d'adsorber, les polluants. Ces matériaux pulvérulents et les réactifs de coagulation-floculation sont ensuite séparés de l'eau généralement au moyen d'un séparateur
30 gravitaire puis d'un filtre à sable et enfin de membranes de filtration. Les étapes de

coagulation-floculation et d'adsorption permettent d'abattre considérablement la pollution contenue dans l'eau. Ainsi l'eau parvenant aux membranes de filtration est déjà débarrassée de nombreuses substances susceptibles de colmater les membranes. Toutefois, ces procédés nécessitent pour être mis en œuvre une infrastructure, notamment un génie civil, importante et par conséquent onéreuse. De plus, de tels procédés impliquent la nécessité de maîtriser finement les conditions de leurs mises en œuvre, notamment en ce qui concerne les concentrations en matériau pulvérulent au sein du séparateur et la gestion des pertes de ce matériau en sousverse de celui-ci afin de minimiser les quantités de matériau neuf à ajouter pour minimiser ces pertes. Tous ces éléments impactent de manière négative le rendement global de tels installations de traitement de l'eau et le coût de production de l'eau traitée.

Ces inconvénients sont en grande partie palliés par la technique de traitement des eaux usées ou naturelles en vue d'en éliminer la teneur en polluants organiques dissous, décrite dans la demande de brevet portant le numéro FR-A1-2982255, qui consiste à mettre l'eau en contact avec du CAP dans un réacteur dans lequel elle circule à une vitesse comprise entre 5 et 50 m/h, puis à filtrer le mélange obtenu directement à travers une unité de filtration mécanique non membranaire.

D'autres procédés alternatifs consistent à mettre en contact l'eau à traiter avec du CAP, avant de séparer l'eau traitée du CAP par une filtration membranaire selon une filtration externe-interne. Les membranes utilisées dans ce cadre peuvent notamment être des membranes de nanofiltration ou des membranes d'ultrafiltration ou des membranes de microfiltration. Le CAP est ensuite récupéré et recyclé en amont des membranes de filtration.

De tels procédés se révèlent être particulièrement efficaces. Ils peuvent toutefois être encore améliorés.

Lors de la filtration par membranes immergées par microfiltration ou par ultrafiltration ou par nanofiltration, au cours de laquelle l'eau est aspirée à travers les membranes, le matériau pulvérulent tel que le CAP, vient boucher les pores de celles-ci. Les membranes tendent ainsi à se colmater progressivement, induisant une augmentation de perte de charge et une réduction du flux de filtration à travers les membranes, et par conséquent une augmentation de la consommation en énergie. Le

colmatage des membranes par le CAP, qui peut être en partie irréversible, tend également à réduire la durée de vie des membranes.

Le décolmatage des membranes immergées nécessite la mise en œuvre de lavages quotidiens ou hebdomadaires, utilisant principalement des produits chimiques tels que des solvants chlorés. Or, ces solvants réduisent la capacité d'adsorption du CAP. Pour pallier cette diminution d'efficacité du CAP, il est nécessaire de réinjecter fréquemment du CAP neuf dans l'eau à traiter.

De l'air est donc souvent injecté dans le réacteur pour participer au décolmatage des membranes. Cet air injecté permet aussi d'agiter le contenu du réacteur.

Toutefois, le CAP, combiné à l'injection d'air dans les membranes de filtration et/ou aux produits chimiques utilisés pour le décolmatage, tend à abraser la surface des membranes. Ces membranes sont en effets constituées, en tout ou partie, de matériaux organiques, principalement des polymères, présentant des duretés inférieures à celle du CAP. Ce phénomène d'abrasion a pour première conséquence de diminuer la durée de vie des membranes de microfiltration ou d'ultrafiltration ou de nanofiltration et, corollairement l'efficacité de la filtration.

Il est donc nécessaire de remplacer souvent les membranes de filtration. Dans certains cas, ce remplacement des membranes doit ainsi avoir lieu annuellement.

Ces procédés engendrent donc d'importantes consommations en énergie et en réactifs. Il est de plus nécessaire de remplacer les membranes de filtration assez fréquemment ce qui oblige l'arrêt de l'installation. Tout ceci participe à augmenter le coût de production de l'eau traitée.

3. Objectifs de l'invention

L'invention a notamment pour objectif de pallier tout ou partie de ces inconvénients de l'art antérieur.

Plus précisément, un objectif de l'invention est de proposer, dans au moins un mode de réalisation, un procédé de traitement d'eau combinant une adsorption sur matériau pulvérulent adsorbant, tel que notamment le charbon actif en poudre, et une filtration membranaire, notamment sur membrane de nanofiltration ou de

microfiltration ou d'ultrafiltration, constituée au moins en partie par un matériau organique, qui permette d'optimiser la durée de vie de ces membranes.

En particulier, un objectif de l'invention est de fournir un procédé de traitement membranaire de l'eau permettant de limiter l'usure de telles membranes de filtration par abrasion du matériau les constituant.

L'invention a également pour objectif de mettre en œuvre, dans au moins un mode de réalisation, un tel procédé qui permette de réduire la consommation en réactifs nécessaires au décolmatage des membranes et plus généralement la consommation en réactifs mis en œuvre pour assurer le traitement de l'eau.

Un autre objectif de l'invention est de fournir une telle technique qui soit, dans au moins un mode de réalisation, simple de conception et/ou simple à mettre en œuvre et/ou compacte et/ou économique.

4. Exposé de l'invention

Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont atteints à l'aide de l'invention qui concerne un procédé de traitement d'eau comprenant :

une étape de mise en contact de ladite eau avec un matériau pulvérulent adsorbant à une concentration comprise entre 0,1 et 5 g/L dans un réacteur membranaire contenant au moins une membrane immergée de filtration ;

une étape de filtration par membrane immergée de ladite eau contenant ledit matériau pulvérulent adsorbant dans ledit réacteur membranaire, ladite membrane étant au moins en partie constituée par un matériau organique ;

caractérisé en ce qu'il inclut des étapes visant à limiter l'abrasion de ladite au moins une membrane immergée par ledit matériau pulvérulent adsorbant, lesdites étapes consistant en :

la mise en contact dans ledit réacteur membranaire de ladite eau contenant ledit matériau pulvérulent adsorbant avec un matériau polymérique particulière constitué de particules à une concentration comprise entre 1 g/L et 10 g/L, lesdites particules présentant un diamètre moyen compris entre 1 mm et 5 mm et une densité comprise entre 1,05 et 1,5 ; et,

l'agitation dudit mélange constitué d'eau, de matériau pulvérulent adsorbant et de matériau polymérique particulaire au sein dudit réacteur membranaire contenant ladite au moins une membrane de filtration.

5 L'invention propose donc une technique de traitement d'eau combinant une adsorption sur matériau pulvérulent, suivie d'une filtration sur membrane incluant une étape consistant à prévoir un matériau polymérique particulaire spécifique dans le réacteur de traitement de l'eau au sein duquel est générée une agitation, et ce dans le but de résoudre le problème technique résultant du pouvoir abrasif du matériau pulvérulent adsorbant sur le matériau organique constituant, au moins en partie, les
10 membranes de filtration.

On notera que l'invention ne se limite pas au cas où le matériau pulvérulent adsorbant est du CAP mais couvre également le cas où ce matériau pulvérulent adsorbant est un autre matériau, tel que par exemple une zéolithe, dès lors que ce dernier présente une dureté supérieure au matériau organique constituant au moins en
15 partie les membranes de filtration mises en œuvre. L'invention trouvera aussi son application lorsque le matériau adsorbant sera constitué par une résine, dans la mesure où les fines de résine peuvent présenter un tel pouvoir abrasif.

L'homme de l'art était enclin à penser, en toute logique, que l'ajout d'un matériau particulaire dans le réacteur contenant les membranes de filtration accentuerait, sous l'effet de l'agitation qui y règne, le phénomène d'abrasion desdites
20 membranes et/ou le phénomène de colmatage de celles-ci. Or, les inventeurs ont constaté que l'ajout d'un matériau polymérique particulaire n'amplifie en rien le phénomène d'abrasion. Bien au contraire, le matériau polymérique particulaire protège la surface des membranes de l'usure mécanique provoquée classiquement par le
25 matériau pulvérulent adsorbant. Plus précisément, les inventeurs ont constaté que le rôle protecteur du matériau polymérique particulaire tient au fait que les particules composant ce matériau ainsi que la turbulence induite par ces particules forment un écran protecteur autour de la ou des membranes de filtration. Cet écran protecteur empêche :

30 - le matériau pulvérulent adsorbant de coller à la surface des membranes, et ainsi d'éviter, ou à tout le moins de limiter, le colmatage des pores des membranes, et

- le matériau pulvérulent adsorbant de venir frotter contre la surface des membranes de filtration, et ainsi d'éviter, ou à tout le moins de limiter, le phénomène d'abrasion des membranes.

La technique selon l'invention permet ainsi de réduire la fréquence des lavages à l'aide de produits chimiques des membranes en vue de leur décolmatage.

L'impact négatif de tels produits chimiques sur la capacité d'adsorption du matériau pulvérulent adsorbant est ainsi réduit, induisant une réduction de la consommation de ce dernier.

L'agitation au sein du réacteur permet en outre de créer dans celui-ci un milieu propice à la mise en suspension du matériau pulvérulent adsorbant et du matériau polymérique particulaire de manière telle que leurs concentrations y soient, en tout point, essentiellement homogènes. Ceci participe à optimiser le traitement de l'eau.

De plus, le matériau polymérique particulaire en suspension dans le réacteur induit dans celui-ci des turbulences supplémentaires qui participent à homogénéiser encore davantage la concentration en matériau adsorbant dans le réacteur. Par conséquent, l'efficacité du traitement de l'eau est plus régulière, la qualité de l'eau traitée est plus reproductible.

Pour toutes ces raisons, le procédé selon l'invention permet de réaliser d'importantes économies sur les membranes, sur l'utilisation de matériau pulvérulent adsorbant, sur l'utilisation de produits chimiques de décolmatage et aussi d'importantes économie en matière d'énergie tout en produisant une eau d'aussi bonne qualité, voire de meilleure qualité, qu'avec les procédés actuels.

La technique selon l'invention permet notamment d'allonger la durée de vie des membranes ; la fréquence de remplacement des membranes de filtration est ainsi réduite en comparaison des techniques actuelles.

Selon une variante, ladite agitation dudit mélange constitué d'eau, de matériau polymérique particulaire et de matériau pulvérulent adsorbant au sein dudit réacteur membranaire résulte, au moins en partie, de l'injection préférentiellement séquencée d'air dans ledit mélange. L'avantage de séquencer l'injection d'air est de provoquer les turbulences par régimes transitoires et ainsi d'économiser de l'énergie.

Alternativement ou complémentairement, ladite agitation dudit mélange constitué d'eau, de matériau polymérique particulaire et de matériau pulvérulent adsorbant au sein dudit réacteur membranaire résulte, au moins en partie, d'une recirculation d'au moins une partie dudit mélange constitué d'eau et de matériau pulvérulent adsorbant dans ledit réacteur.

L'agitation ainsi provoquée permet d'une part d'améliorer l'homogénéité des concentrations du matériau pulvérulent adsorbant et du matériau polymérique particulaire dans le réacteur et d'autre part, de favoriser le rôle protecteur du matériau polymérique particulaire vis à vis du matériau pulvérulent adsorbant.

Préférentiellement, le matériau pulvérulent adsorbant est du charbon actif en poudre (CAP), c'est-à-dire du charbon actif constitué de particules d'un diamètre moyen compris entre 5 μm et 200 μm et préférentiellement entre 15 et 35 μm .

Avantageusement, ledit matériau polymérique particulaire est choisi parmi le groupe comprenant les billes de polypropylène, les billes de polypropylène carbonaté les billes de polypropylène creuses remplies de minéraux, les billes de polycarbonate, les billes de polyuréthane, les billes de polyméthylméthacrylate, les billes de polybutylène téréphtalate, les billes de polyoxyméthylène, les billes de polyéthylène, et les billes de polychlorure de vinyle.

Ces billes présentent l'avantage d'être chimiquement inertes vis-à-vis des membranes et peu onéreuses. La surface de ces billes est de préférence lisse de manière à ne pas abraser les membranes ni à servir de support de fixation de la biomasse que l'eau à traiter pourrait contenir.

Dans un mode de réalisation avantageux, ladite eau à traiter circule dans le réacteur membranaire à une vitesse comprise entre 3 et 15 m/h.

Une telle mise en œuvre permet de créer un environnement dans le réacteur favorisant la mise en suspension du matériau adsorbant et du matériau polymérique particulaire. Ainsi, l'effet de turbulence induit par le mouvement des billes du matériau polymérique particulaire permet d'éviter, ou à tout le moins de fortement limiter le phénomène d'abrasion des membranes par le matériau pulvérulent adsorbant. Ce mouvement de turbulence permet également de détacher de manière douce la matière qui se serait collée aux membranes de filtration et qui risque d'en boucher les pores.

Avantageusement, ladite membrane est choisie parmi le groupe des membranes immergées de microfiltration et d'ultrafiltration et de nanofiltration.

Dans un mode de réalisation particulièrement avantageux, le procédé selon l'invention comprend en outre une étape d'injection d'ozone dans l'eau à traiter, ladite
5 étape d'injection d'ozone pouvant être faite en amont ou dans ledit réacteur membranaire.

Une telle étape permet d'améliorer l'efficacité du traitement de l'eau en oxydant une partie des molécules à éliminer. Cette étape permet notamment d'améliorer l'élimination des perturbateurs endocriniens et résidus de médicaments. L'ozonation
10 permet en outre de fragmenter des molécules organiques de taille importante en molécules plus petites, ce qui facilite leur adsorption et leur élimination ultérieures. L'ozonation permet enfin d'éliminer certaines toxines algales ou des molécules malodorantes.

De préférence, le procédé selon l'invention ne comprend pas d'injection de
15 coagulant et/ou de floculant dans ledit réacteur membranaire. En effet, certains procédés de traitement de l'eau comprennent des étapes de coagulation-floculation pour améliorer l'efficacité du procédé en éliminant les macromolécules organiques dans l'eau par exemple et pour permettre la séparation du matériau pulvérulent de l'eau traitée. Toutefois ces procédés impliquent de prévoir un séparateur permettant de
20 séparer le matériau adsorbant et les réactifs de floculation et coagulation de l'eau traitée. Or, une part du matériau pulvérulent adsorbant est perdue au cours d'une telle séparation ce qui implique de réinjecter du matériau adsorbant frais et une augmentation des coûts de traitement de l'eau. De plus, ces séparateurs ainsi que les cuves de coagulation/floculation etc... représentent un investissement en génie civil et
25 en maintenance non négligeable qui contribue d'autant à augmenter les coûts de traitement de l'eau. L'invention permet de ne pas mettre en œuvre de coagulation et/ou de floculation, puisqu'elle met en œuvre des membranes. Ceci est particulièrement appréciable, lorsque pour des raisons pouvant être réglementaires, l'utilisation de floculants et/ou de coagulants n'est pas autorisée. La taille et le coût des
30 installations selon l'invention s'en trouvent réduits. Les pertes en réactif adsorbant et par conséquent la consommation en celui-ci, sont également réduites.

L'invention a également pour objet une installation pour la mise en œuvre du procédé comprenant au moins un réacteur membranaire intégrant au moins une unité de filtration membranaire comprenant au moins une membrane de filtration ;

des moyens d'amenée d'eau à traiter dans ledit au moins un réacteur membranaire ;

5 des moyens d'injection d'un matériau pulvérulent adsorbant dans ladite eau à traiter ;

des moyens de recirculation d'au moins une partie du contenu dudit réacteur membranaire ;

un matériau polymérique particulaire constitué de particules présentant un diamètre moyen compris entre 1 mm et 5 mm et une densité comprise entre 1,05 et 1,5 présent

10 dans ledit réacteur membranaire à une concentration comprise entre 1 et 10 g/l ;

des moyens de rétention dudit matériau polymérique particulaire à l'intérieur dudit réacteur membranaire ;

des moyens d'agitation du contenu dudit réacteur membranaire ;

des moyens d'évacuation d'une eau traitée provenant de ladite unité de filtration membranaire,

15

des moyens de purge du mélange d'eau et de matériau pulvérulent adsorbant et des boues en excès provenant dudit réacteur membranaire.

Ainsi l'installation selon l'invention est compacte par rapport aux installations comprenant des étapes de coagulation/floculation car elle ne comprend ni cuve de coagulation-floculation, ni donc de moyens d'injection de réactifs de coagulation et de floculation et ni séparateur tel qu'un décanteur. Elle est également plus compacte en comparaison des installations mettant en œuvre une unité de filtration non membranaire.

20

Avantageusement, ledit matériau polymérique particulaire est choisi parmi le groupe comprenant les billes de polypropylène, les billes de polypropylène carbonaté, les billes de polypropylène creuses remplies de minéraux, les billes de polycarbonate, les billes de polyuréthane, les billes de polyméthylméthacrylate, les billes de polybutylène téréphtalate, les billes de polyoxyméthylène, les billes de polyéthylène, et les billes de polychlorure de vinyle.

25

Selon une variante intéressante, ledit réacteur membranaire comprend :

30

une zone de pré-contact de ladite eau avec ledit matériau pulvérulent adsorbant dans

laquelle débouchent lesdits moyens d'amenée de l'eau à traiter, lesdits moyens d'injection dudit matériau pulvérulent adsorbant débouchant dans ladite zone de mise en contact ou dans lesdits moyens d'amenée de l'eau à traiter ; et, une zone de filtration membranaire;

- 5 ladite zone de pré-contact et ladite zone de filtration étant physiquement séparées l'une de l'autre, ladite installation comprenant des moyens d'amenée du contenu de ladite zone de contact dans ladite zone de filtration.

Ce mode de réalisation permet de favoriser l'adsorption des polluants sur le matériau pulvérulent adsorbant en augmentant le temps de séjour de l'eau à traiter avec celui-ci. Une telle variante permet d'abattre de manière simple et satisfaisante la pollution dissoute dans l'eau à traiter.

Préférentiellement, lesdits moyens d'agitation du contenu dudit réacteur membranaire comprennent au moins une rampe d'injection d'air prévue à l'intérieur dudit réacteur membranaire, avantageusement dans sa partie inférieure ou dans ladite zone de pré-contact.

Alternativement ou complémentaiement, lesdits moyens d'agitation du contenu dudit réacteur membranaire comprennent lesdits moyens de recirculation d'au moins une partie du contenu dudit réacteur membranaire.

On pourra aussi prévoir un agitateur en guise de moyens d'agitation du contenu du réacteur, prévu dans la zone de pré-contact dudit réacteur membranaire.

L'un ou l'autre de ces modes de réalisation, ou leur combinaison, permet de générer une agitation de nature à maintenir le matériau pulvérulent adsorbant ainsi que le matériau polymérique particulaire en suspension dans le réacteur membranaire. Cette agitation permet d'une part d'homogénéiser la répartition desdits matériaux pulvérulent adsorbant et polymérique particulaire au sein du réacteur, et d'autre part d'empêcher le matériau adsorbant de coller aux membranes de filtration. La qualité de l'eau est donc meilleure et plus reproductible. Les phénomènes d'abrasion et de colmatage des membranes sont également réduits voire évités.

Avantageusement, l'installation selon l'invention comprend des moyens d'injection d'ozone dans ladite eau à traiter.

Les moyens d'injection d'ozone peuvent être positionnés au niveau des moyens d'amenée d'eau à traiter dans un réacteur de pré-contact, ou dans le réacteur membranaire lui-même. L'injection d'ozone peut également se faire en amont de l'injection du matériau pulvérulent adsorbant dans l'eau à traiter. Plus précisément, une

5 injection d'ozone préalable à l'étape de mise en contact avec le matériau adsorbant permet de fragmenter les macromolécules et d'oxyder en partie les polluants dissous dans l'eau avant l'adsorption. Ainsi, l'adsorption sur le matériau pulvérulent adsorbant est-elle facilitée et la qualité de l'eau traitée améliorée.

10 5. Liste des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante de deux modes de réalisation préférentiels, donnés à titre de simples exemples illustratifs et non limitatifs, et des dessins annexés, selon lesquels :

- 15 - la figure 1 illustre de manière schématique un premier mode de réalisation d'une installation pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention ;
 - la figure 2 illustre de manière schématique un second mode de réalisation d'une installation pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention ;
 - la figure 3 est un graphe montrant l'évolution de la perméabilité des membranes
- 20 de microfiltration d'une installation du type de celle selon la figure 1 mise en œuvre selon l'invention.

6. Description de modes de réalisation de l'invention

6.1. Rappel du principe de l'invention

25 Le principe général de l'invention repose sur une technique de traitement d'eau combinant une adsorption sur un matériau pulvérulent adsorbant et une filtration sur membranes selon laquelle un matériau polymérique particulière est ajouté dans le réacteur membranaire afin de limiter l'abrasion des membranes.

6.2. Description d'un premier mode de réalisation

30 On présente, en référence à la figure 1, un premier mode de réalisation d'une installation selon l'invention pour la mise en œuvre du procédé selon celle-ci.

Dans ce mode de réalisation, l'installation selon l'invention comprend une canalisation d'amenée d'eau 1 débouchant sur un réacteur de traitement de l'eau 40 de façon à introduire l'eau à traiter dans celui-ci.

Des moyens d'injection d'ozone 2, à savoir ici un injecteur, permettent d'injecter
5 de l'ozone dans l'eau à traiter afin de lui faire subir une étape d'ozonation. Cette étape d'ozonation permet d'oxyder en tout ou partie les polluants contenus dans l'eau à traiter. Elle permet également de fragmenter les macromolécules facilitant leur adsorption sur un matériau pulvérulent adsorbant. Dans ce mode de réalisation, l'injection d'ozone est réalisée au niveau de la canalisation d'amenée d'eau 1. Elle
10 pourrait toutefois dans d'autres modes de réalisation être effectuée au niveau du réacteur membranaire.

Le réacteur 40 loge un module de filtration membranaire 41. Ce module de filtration membranaire 41 est composé de membranes immergées ici de microfiltration, mais qui dans d'autres modes de réalisation pourraient être des membranes
15 d'ultrafiltration, ou de nanofiltration, réalisées au moins en partie dans un matériau organique. Les dimensions du réacteur 40 sont telles qu'il existe peu d'espace entre les parois internes du réacteur 40 et le contour externe du module de filtration 41.

Des moyens d'injection d'un matériau adsorbant particulaire 3, comme par exemple un injecteur, débouchent dans le réacteur 40. De préférence, ce matériau
20 adsorbant particulaire est du CAP et est distribué dans le réacteur 40 selon une quantité déterminée de manière telle que la concentration en CAP de l'eau dans le réacteur membranaire 40 soit comprise entre 0,1 g/L et 5 g/L.

Le réacteur 40 contient un matériau polymérique particulaire sous forme de billes 42. Les billes 42 présentent une surface lisse. Les billes convenant à la mise en
25 œuvre du procédé selon l'invention présentent un diamètre moyen compris entre 1 mm et 5 mm et une densité comprise entre 1,05 et 1,5. Elles peuvent préférentiellement être en un matériau polymérique particulaire choisi parmi le groupe comprenant les billes de polypropylène, les billes de polypropylène carbonaté, les billes de polypropylène creuses remplies de minéraux, les billes de polycarbonate, les billes de polyuréthane, les billes de polyméthylméthacrylate, les billes de polybutylène
30 téréphtalate, les billes de polyoxyméthylène, les billes de polyéthylène, et les billes de

polychlorure de vinyle.

De préférence, la quantité de billes est choisie de manière telle que la concentration en billes 42 de l'eau dans le réacteur 40 est d'environ 8 g/L.

5 L'installation comprend des moyens d'injection d'air, dans le réacteur 40. Ces moyens d'injection comprennent ici une rampe d'injection 43 située dans la partie inférieure du réacteur 40, sous le module de filtration membranaire, reliée à un réseau d'amenée d'air (non représenté). L'air injecté permet de mettre en suspension le CAP dans l'eau à traiter afin que sa répartition soit essentiellement uniforme au sein du réacteur membranaire et afin d'optimiser sa capacité d'adsorption des polluants. L'air
10 injecté permet également d'agiter les billes 42 dans le réacteur. Les billes 42 forment alors un écran protecteur à la surface des membranes permettant :

- de limiter l'usure des membranes par abrasion en empêchant le CAP de venir frotter contre la surface des membranes ;
- de décoller de manière douce les matières qui se seraient déposées à la surface
15 des membranes, sans altérer celles-ci, du fait des turbulences que le matériau génère dans le réacteur.

L'eau mélangée au CAP passe à travers le module de filtration afin de séparer l'eau traitée du CAP. L'eau traitée est ainsi évacuée par une canalisation 50 sur laquelle se trouve une pompe 51.

20 L'installation comprend également une boucle de recirculation 45 sur laquelle se trouve une pompe de recirculation 46 et une purge 47. La purge 47 permet d'évacuer le les boues en excès. L'entrée de la canalisation de recirculation 45 se trouve en partie supérieure du réacteur 40 alors que sa sortie débouche en partie inférieure de celui-ci. Cette boucle 45 permet de recirculer, au moins en partie, le mélange d'eau et de CAP
25 contenu dans le réacteur à l'intérieur de celui-ci, cette recirculation permet de générer une agitation dans le réacteur.

Une grille 44, placée entre le réacteur 40 et l'entrée la boucle de recirculation 45, permet de retenir les billes 42 dans le réacteur 40.

Dans ce mode de réalisation, l'agitation à l'intérieur du réacteur est maintenue
30 en continue.

6.3. Description d'un deuxième mode de réalisation

Un second mode de réalisation d'une installation pour la mise en œuvre d'un procédé selon l'invention est présenté à la figure 2. Dans ce mode de réalisation, les éléments ayant la même fonction que dans le mode de réalisation décrit en référence à la figure 1 portent les mêmes références.

5 Dans ce second mode de réalisation, l'installation comprend un réacteur membranaire 40 subdivisé en une zone de pré-contact 48 et une zone de filtration 49.

La zone de pré-contact 48 comprend ici une cuve de pré-contact 48, et la zone de filtration comprend ici une cuve de filtration 49, la cuve de pré-contact étant placée en amont de la cuve de filtration.

10 Cette cuve de pré-contact 48 loge des moyens d'injection d'air, comme par exemple une rampe d'injection 43, en partie inférieure de celle-ci. Cette rampe d'injection est reliée à un réseau d'amenée d'air (non représenté). La cuve de pré-contact 48 loge également une pompe 46 qui permet de faire circuler l'eau de la cuve 48 vers la cuve de filtration 49. La cuve 48 permet d'augmenter le temps de contact entre
15 l'eau à traiter et le matériau adsorbant. Ce mode de réalisation est particulièrement utile pour traiter des eaux chargées, afin de laisser davantage de temps aux composés pour être adsorbés par le CAP et ainsi accroître l'efficacité du procédé de traitement de l'eau.

On notera que dans d'autres modes de réalisation, l'agitation du contenu de la
20 cuve pourra être effectuée grâce à un ou plusieurs agitateurs prévus dans la cuve de pré-contact 48.

Dans ce mode de réalisation, la purge 47 permettant d'évacuer le mélange d'eau et de matériau adsorbant et les boues en excès est située dans la partie inférieure de la cuve de filtration 49. La purge 47 est précédée d'une grille 44 permettant de retenir les
25 billes à l'intérieur de la cuve de filtration 49.

L'installation selon ce second mode de réalisation comprend également une boucle de recirculation, permettant d'augmenter le temps de séjour moyen du mélange d'eau et de matériau adsorbant dans l'installation, et de participer à la génération d'une agitation tant dans la cuve de pré-contact que dans la cuve de filtration. Cette boucle de
30 recirculation comprend :

- une canalisation 45 de recirculation d'au moins une partie du contenu de la cuve

de filtration 49 dans la cuve de pré-contact 48, et

- la pompe 46 permettant d'acheminer le contenu de la cuve de pré-contact 48 dans la cuve de filtration 49.

De même que pour le premier mode de réalisation, l'injection d'ozone 3 se fait dans la canalisation d'amenée d'eau 1. Toutefois, il est possible de prévoir, dans d'autres modes de réalisation, ces moyens d'injection d'ozone au niveau de la cuve de précontact 48 ou au niveau de la cuve de filtration 49.

Dans ce mode de réalisation, l'agitation à l'intérieur du réacteur est maintenue en continue en sorte que le décolmatage des membranes soit continu.

6.4. Variantes

Dans les deux modes de réalisation précédemment décrits, le contenu du réacteur est mis en mouvement du fait d'une injection d'air dans le réacteur ou dans la zone de filtration de celui-ci et du fait d'une recirculation du contenu du réacteur ou de la zone de filtration. Dans des variantes, la mise en mouvement du contenu du réacteur pourrait être obtenue seulement par injection d'air ou seulement par recirculation.

Dans le second mode de réalisation, le réacteur 40 est subdivisé en une cuve de pré-contact 48 et une zone de filtration 49 au moyen d'une paroi séparatrice. Toutefois, dans un autre mode de réalisation non représenté, l'installation peut comprendre une cuve de pré-contact distincte du réacteur de traitement de l'eau logeant les moyens de filtration membranaire. Dans cet autre mode, la cuve de pré-contact est placée en amont du réacteur de traitement de l'eau. Une pompe permet d'envoyer le mélange d'eau à traiter et de CAP de la cuve de pré-contact vers le réacteur de traitement de l'eau grâce à une canalisation. Dans cette variante, les moyens d'injection du CAP et d'amenée de l'eau à traiter débouchent également dans la cuve de pré-contact. A l'instar du second mode de réalisation, l'agitation de la cuve de pré-contact peut être réalisée soit par injection d'air et/ou recirculation du mélange eau à traiter et de CAP du réacteur de traitement de l'eau vers la cuve de précontact.

7. Essais

Une installation de traitement d'eau en vue de sa potabilisation, comprenant un réacteur membranaire intégrant des membranes de microfiltration, a été mise en

œuvre avec injection de CAP, les membranes étant utilisées pour séparer le CAP de l'eau et pour abattre la teneur de celle-ci en micro-organismes.

Des mesures du paramètre dit « LRV » (Log Removal value), traduisant l'abattement en microorganismes, ont été effectuées en début d'essai et au bout d'un mois et demi selon deux méthodes distinctes (sur cultures et par RT-PCR). Les résultats de ces mesures, portées dans le tableau 1 ci-dessous, traduisent une diminution très significative de cet abattement. En pratique, le LRV observé au bout d'un mois et demi est 5 ou 7 fois plus faible, selon la méthode de mesure. Ceci met en évidence la diminution de l'efficacité des membranes résultant de leur abrasion par le CAP.

Type d'analyse	LRV initial	LRV après 1,5 mois
Culture	4,1	0,6
RT-PCT	3,8	0,8

Tableau 1

Une installation du même type a été mise en oeuvre pour traiter des eaux usées en vue de leur épuration, mais en prévoyant l'injection dans le réacteur membranaire de billes de matériau polymérique, à savoir du polypropylène carbonaté présentant un diamètre de 4 mm et une densité de 1,05. Aucun lavage des membranes à l'aide de produits chimiques n'a été pratiqué.

Après, 1,5 mois de fonctionnement, le critère LRV a été mesuré à 3,3, c'est-à-dire proche de sa valeur initiale. Ce LRV de 3,3 correspond à un abattement en micro-organisme proche du seuil de quantification. Ce résultat atteste de la forte minimisation du phénomène d'abrasion des membranes observé préalablement. En référence à la figure 3, la perméabilité relative des membranes, qui correspond au rapport de la perméabilité mesurée au cours du temps LP20 sur la perméabilité mesurée au début des essais LPi20, n'a que peu diminuée et ce malgré le fait qu'aucun lavage chimique des membranes n'a été opéré. L'abattement de la DCO (Demande Chimique en Oxygène), et du COT (Carbone Organique Total) a quant à lui été stable durant tout l'essai.

8. Conclusions

Ainsi, le procédé selon l'invention permet de produire une eau traitée de qualité équivalente, si ce n'est supérieure, à celle produite par la mise en œuvre des procédés existants. Le procédé selon l'invention permet de résoudre un problème fréquemment
5 rencontré lors de l'utilisation des membranes de filtration, à savoir l'usure mécanique précoce des membranes due au caractère abrasif du matériau adsorbant, le cas échéant combiné à l'action de l'air injecté dans le réacteur. En effet, loin d'aggraver le problème d'abrasion des membranes comme il était naturel de le concevoir, l'adjonction d'un matériau polymérique particulaire, inerte vis-à-vis des membranes, permet de protéger
10 la surface de celles-ci. Plus précisément, l'agitation du réacteur permet de mettre en suspension à la fois le matériau pulvérulent adsorbant et le matériau polymérique particulaire. Ainsi, le frottement du matériau adsorbant contre les membranes est limité : le procédé selon l'invention permet donc de réduire de manière effective le phénomène d'abrasion conduisant à l'usure mécanique de membranes.

15 De plus, les particules composant le matériau polymérique particulaire, par leur mouvement dans l'eau, mises en turbulence dans le milieu, empêchent le matériau pulvérulent adsorbant de coller aux membranes de filtration et d'obstruer les pores de celles-ci. En cela, le procédé selon l'invention permet aussi de participer à la limitation du colmatage des membranes.

REVENDICATIONS

1. Procédé de traitement d'eau comprenant :

5 une étape de mise en contact de ladite eau avec un matériau pulvérulent adsorbant à une concentration comprise entre 0,1 et 5 g/L dans un réacteur membranaire contenant au moins une membrane immergée de filtration ;

une étape de filtration par membrane immergée de ladite eau contenant ledit matériau pulvérulent adsorbant dans ledit réacteur membranaire, ladite membrane étant au
10 moins en partie constituée par un matériau organique ;

caractérisé en ce qu'il inclut des étapes visant à limiter l'abrasion de ladite au moins une membrane immergée par ledit matériau pulvérulent adsorbant, lesdites étapes
15 consistant en :

la mise en contact dans ledit réacteur membranaire de ladite eau contenant ledit matériau pulvérulent adsorbant avec un matériau polymérique particulaire constitué de particules à une concentration comprise entre 1 g/L et 10 g/L, lesdites particules
20 présentant un diamètre moyen compris entre 1 mm et 5 mm et une densité comprise entre 1,05 et 1,5 ; et,

l'agitation dudit mélange constitué d'eau, de matériau pulvérulent adsorbant et de matériau polymérique particulaire au sein dudit réacteur membranaire contenant ladite
25 au moins une membrane de filtration.

2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que ladite agitation dudit mélange constitué d'eau, de matériau polymérique particulaire et de matériau pulvérulent adsorbant au sein dudit réacteur membranaire résulte, au moins en partie,
30 de l'injection séquencée ou non d'air dans ledit mélange.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce que ladite agitation dudit mélange constitué d'eau, de matériau polymérique particulaire et de matériau pulvérulent adsorbant au sein dudit réacteur membranaire résulte, au moins en partie, d'une recirculation d'au moins une partie dudit mélange constitué d'eau et de matériau pulvérulent adsorbant dans ledit réacteur.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que ledit matériau pulvérulent adsorbant est du charbon actif en poudre (CAP).
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit matériau polymérique particulaire est choisi parmi le groupe comprenant les billes de polypropylène, les billes de polypropylène carbonaté, les billes de polypropylène creuses remplies de minéraux, les billes de polycarbonate, les billes de polyuréthane, les billes de polyméthylméthacrylate, les billes de polybutylène téréphtalate, les billes de polyoxyméthylène, les billes de polyéthylène, et les billes de polychlorure de vinyle.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que ladite eau à traiter circule dans ledit réacteur membranaire à une vitesse comprise entre 3 et 15 m/h.
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite membrane immergée est choisie parmi le groupe constitué par les membranes de nanofiltration, les membranes d'ultrafiltration et les membranes de microfiltration.
8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape d'injection d'ozone dans l'eau à traiter, ladite étape d'injection d'ozone pouvant être faite en amont ou dans ledit réacteur membranaire.
9. Installation de traitement de l'eau pour la mise en œuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 comprenant :

au moins un réacteur membranaire (40) intégrant au moins une unité de filtration membranaire (41) comprenant au moins une membrane de filtration ;

5 des moyens d'amenée (1) d'eau à traiter dans ledit au moins un réacteur membranaire (40) ;

des moyens d'injection (3) d'un matériau pulvérulent adsorbant dans ladite eau à traiter ;

10 des moyens de recirculation (45,46) d'au moins une partie du contenu dudit réacteur membranaire (40) ;

un matériau polymérique particulaire (42) constitué de particules présentant un diamètre moyen compris entre 1 mm et 5 mm et une densité comprise entre 1,05 et 1,5 présent dans ledit réacteur membranaire à une concentration comprise entre 1 et 15 10 g/l ;

des moyens de rétention (44) dudit matériau polymérique particulaire (42) à l'intérieur dudit réacteur membranaire (40) ;

20 des moyens d'agitation du contenu dudit réacteur membranaire (40) ;

des moyens d'évacuation (50,51) d'une eau traitée provenant de ladite unité de filtration membranaire (41),

25 des moyens de purge (47) du mélange d'eau et de matériau pulvérulent adsorbant et des boues en excès provenant dudit réacteur membranaire (40).

10. Installation selon la revendication 9 caractérisée en ce que ledit matériau polymérique particulaire est choisi parmi le groupe comprenant les billes de 30 polypropylène, les billes de polypropylène carbonaté, les billes de polypropylène creuses remplies de minéraux, les billes de polycarbonate, les billes de polyuréthane, les

billes de polyméthylméthacrylate, les billes de polybutylène téréphtalate, les billes de polyoxyméthylène, les billes de polyéthylène, et les billes de polychlorure de vinyle.

11. Installation selon l'une quelconque des revendications 9 ou 10, caractérisée en ce que ledit réacteur membranaire (40) comprend :

une zone de pré-contact (48) de ladite eau avec ledit matériau pulvérulent adsorbant dans laquelle débouchent lesdits moyens d'amenée (1) de l'eau à traiter, lesdits moyens d'injection (3) dudit matériau pulvérulent adsorbant débouchant dans ladite zone de mise en contact ou dans lesdits moyens d'amenée (1) de l'eau à traiter ; et,

une zone de filtration membranaire (49) ;

ladite zone de pré-contact (48) et ladite zone de filtration (49) étant physiquement séparées l'une de l'autre, ladite installation comprenant des moyens d'amenée (46) du contenu de ladite zone de contact (48) dans ladite zone de filtration (49).

12. Installation selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, caractérisée en ce que lesdits moyens d'agitation du contenu dudit réacteur membranaire (40) comprennent au moins une rampe d'injection (43) d'air prévue à l'intérieur dudit réacteur membranaire (40).

13. Installation selon les revendications 11 et 12 caractérisée en ce que ladite rampe d'injection d'air (43) est prévue dans ladite zone de pré-contact (48).

14. Installation selon l'une quelconque des revendications 9 à 13 caractérisée en ce que lesdits moyens d'agitation du contenu dudit réacteur membranaire (40) comprennent lesdits moyens de recirculation (45,46) d'au moins une partie du contenu dudit réacteur membranaire (40).

15. Installation selon l'une des revendications 9 à 14 caractérisée en ce qu'elle

comprend des moyens d'injections d'ozone (2) dans ladite eau à traiter.