

ROYAUME DU MAROC

OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIETE (19)
INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE



المملكة المغربية

المكتب المغربي
للملكية الصناعية والتجارية

(12) FASCICULE DE BREVET

(11) N° de publication :
MA 34550 B1

(51) Cl. internationale :
B01D 61/58

(43) Date de publication :
02.09.2013

(21) N° Dépôt :
35777

(22) Date de Dépôt :
27.03.2013

(86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT :
PCT/CN2010/001534 30.09.2010

(71) Demandeur(s) :
GENERAL ELECTRIC COMPANY, 1 RIVER ROAD SCENECTADY NEW YORK (US)

(72) Inventeur(s) :
WANG, Sijing ; ZHU, Yanrong ; HE, Gaorong

(74) Mandataire :
ABU-GHAZALEH INTELLECTUAL PROPERTY (TMP AGENTS)

(54) Titre : **PROCEDE DE FILTRATION SUR MEMBRANE PRESENTANT UNE RECUPERATION D'EAU ELEVEE**

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de filtration sur membrane comprenant le prétraitement d'une solution d'influent pour éliminer des solides en suspension, pour produire une solution prétraitée. Le pH de la solution prétraitée est ajusté à au moins 8,3 ou moins par injection de CO

ABREGE:

L'invention concerne un procédé de filtration sur membrane comprenant le prétraitement d'une solution d'influent pour éliminer des solides en suspension, pour produire une solution prétraitée. Le pH de la solution prétraitée est ajusté à au moins 8,3 ou moins par injection de CO₂ dans la solution prétraitée, pour produire une solution conditionnée. L'injection de CO₂ sert également à compléter le bicarbonate dans la solution conditionnée. La solution conditionnée est amenée à s'écouler à travers une unité de filtration sur membrane afin de produire une solution de perméat et une solution de rétentat. L'unité de filtration sur membrane comprend des membranes d'osmose inverse ou des membranes de nanofiltration ou les deux. La solution de rétentat est ensuite traitée pour provoquer une précipitation afin de produire une solution de surnageant et une solution de rejet. Au moins une partie de la solution de surnageant est recyclée par sa combinaison avec la solution d'influent avant l'étape de prétraitement.

02 SEPT 2013

PROCÉDÉ DE FILTRATION SUR MEMBRANE PRÉSENTANT UNE RÉCUPÉRATION D'EAU ÉLEVÉE

CHAMP DE L'INVENTION

5

[0001] Cette spécification concerne des procédés d'osmose inverse et de nanofiltration pour la purification de l'eau.

ARRIERE-PLAN

10

[0002] La discussion de fond suivante ne constitue pas une reconnaissance du fait que tout ce qui est cité ci-après peut être opposable à l'art antérieur ou aux connaissances générales courantes.

15

[0003] Les procédés d'osmose inverse à haute performance ("HERO"; voir par exemple, les brevets pour les Etats-Unis N° 5,925,255 et 6,537,456) peuvent atteindre des taux de récupération d'eau supérieurs en comparaison aux procédés conventionnels d'osmose inverse. Le procédé HERO dépend d'une série de phases de prétraitement antérieures à la filtration par osmose inverse, qui comprend l'utilisation de colonnes de résine de cations faiblement acides, le dégazage et l'ajustement du pH.

20

[0004] D'autres procédés peuvent impliquer l'utilisation de microfiltration, ultrafiltration, échange d'ions et précipitation chimique afin d'obtenir une plus grande récupération de l'eau (voir par exemple, les brevets pour les Etats-Unis N° 5,501,798, 6,113,797 et 6,461,514).

25

INTRODUCTION

30

[0005] La discussion suivante est destinée à introduire le lecteur dans la discussion plus détaillée ci-dessous sans pour autant limiter ou définir une quelconque revendication.

[0006] L'osmose inverse et la nanofiltration sont des méthodes de filtration qui peuvent s'utiliser pour purifier l'eau en éliminant ou en réduisant les solides dissous totaux (TDS)

et les composés organiques résiduels issus de plusieurs sources d'eau, comme des sources d'eau naturelles, des effluents municipaux ou industriels d'approvisionnement en eau. L'osmose inverse (RO) dépend d'un mécanisme diffusif destiné à séparer des molécules et des ions relativement grands d'une solution au moyen d'une pression appliquée à la solution sur un côté d'une membrane semi-perméable. La nanofiltration (NF) est généralement une technologie de filtration à écoulement transversal qui se trouve quelque part entre l'ultrafiltration (UF) et l'osmose inverse. Le procédé de filtration se réalise sur une couche de séparation sélective formée par une membrane semi-perméable. Aussi bien l'osmose inverse que la nanofiltration représente un procédé de séparation actionné par pression. L'élément moteur du procédé de séparation est la différence de pression entre le côté alimentation (rétentat) et le côté filtrat (perméat) dans la couche de séparation de la membrane.

[0007] Dans les procédés d'osmose inverse et de nanofiltration, le rendement et la récupération de l'eau sont souvent limités par la formation à l'échelle des minéraux à partir de composés de dureté, comme le calcium, le magnésium, le baryum, le fer, le fluorure, le sulfate, le carbonate et la silice ou les sels de silicate sur des surfaces de membrane. Les composés organiques résiduels et la prolifération biologique peuvent également provoquer l'encrassement des membranes. Dans un procédé de purification conventionnel de l'eau RO ou NF, le taux de récupération de l'eau (par rapport au pourcentage de récupération du perméat de l'eau d'approvisionnement) est souvent limité à la gamme comprise entre 65-80%, selon la qualité de l'eau affluente. A cet effet, une grande quantité du concentrat de membrane (ou "rejet") doit être en outre traité ou éliminé à des coûts élevés.

25

[0008] Comme décrit ici, un procédé de filtration sur membrane inclut en premier lieu le prétraitement d'une solution d'influent moyennant l'utilisation d'une méthode effective afin d'éliminer les solides en suspension, comme l'ultrafiltration, la microfiltration ou la filtration multimédia, dans le but de produire une solution prétraitée. Puis, le pH de la solution prétraitée est ajusté à au moins 8.3 ou moins par l'injection du CO₂ dans la solution prétraitée, pour provoquer une solution conditionnée. En plus de l'ajustement du pH de la solution prétraitée, l'injection de CO₂ sert également à augmenter la

30

concentration de bicarbonate dans la solution conditionnée. La solution conditionnée est amenée à s'écouler à travers une unité de filtration sur membrane, afin de produire une solution de perméat et une solution de rétentat. L'unité de filtration sur membrane comprend des membranes d'osmose inverse ou de nanofiltration. La solution de rétentat est ensuite traitée dans un clarificateur de précipitation pour provoquer la précipitation de solides, afin de produire une solution de surnageant et une solution de rejet. Au moins une partie de la solution de surnageant est recyclée en la combinant avec la solution d'influent avant l'étape de prétraitement.

10 [0009] Les étapes de conditionnement et de précipitation fournissent l'élimination des composants de dureté et d'encrassement liés à la silice; certaines parties des composés organiques peuvent également être éliminés pendant la précipitation dans le clarificateur de précipitation. Le procédé peut augmenter le taux de récupération de l'eau dans les procédés d'osmose inverse et de nanofiltration.

15

DESSINS

[0010] Les FIGS. 1 à 3 sont des vues schématiques d'exemples d'appareils de filtration.

20 [0011] Par souci de simplicité et de clarté d'illustration, le cas échéant, les signes de référence peut être répétés sur les dessins afin d'indiquer des éléments analogues ou correspondants.

DESCRIPTION DETAILLEE

25

[0012] En référence à la FIG. 1, un exemple d'appareil de filtration est représenté généralement par 100. L'appareil de filtration 100 inclut une solution d'influent 102. La solution d'influent 102 est introduite dans une chambre de prétraitement 104. La chambre de prétraitement 104 inclut des moyens appropriés efficaces pour éliminer les solides en suspension de la solution d'influent 102, moyennant l'usage d'ultrafiltration, microfiltration ou filtration multimédia, par exemple.

30

- [0013] Après le prétraitement, le pH de la solution prétraitée 106 est établi à au moins approximativement 8,3 ou moins en injectant du CO₂ 134. De manière facultative, un agent antitartre 112 peut être ajouté afin d'empêcher l'entartrage de la membrane. Des exemples d'agents antitartre incluent des acides polyacryliques, anhydride polymaléique hydrolysé, copolymère et terpolymère à base d'acide maléique ou d'acide acrylique, et des agents séquestrants pour métaux comme l'acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA), l'héxamétaphosphate de sodium (SHMP), 1-hydroxyéthylidène-1,1-diphosphonique (HEDP), et l'acide 2-phosphonobutane-1, 2,4-tricarboxylique (PBTC).
- 10 [0014] Après le conditionnement, une solution conditionnée 114 est amenée à s'écouler dans une unité de filtration sur membrane 116. L'unité de filtration sur membrane 116 inclut des membranes de filtration d'osmose inverse (RO) ou de nanofiltration (NF), ou les deux. L'unité de filtration sur membrane 116 produit une solution de perméat de grande pureté 118, et une solution de rétentat 120.
- 15 [0015] La solution de rétentat 120 est introduite dans un clarificateur de précipitation 122 et traitée pour provoquer la précipitation des solides. Dans le clarificateur de précipitation 122, le pH de la solution de rétentat 120 peut être augmenté entre approximativement 9.5 et 12.0, ou entre approximativement 10.0 et 11.5. Le pH peut être ajusté par l'addition d'un alcalin 124, par exemple, de l'hydroxyde de sodium ou de la chaux. De plus, un agent initial de précipitation 126, comme des poudres CaCO₃ et CaSO₄ ou de la boue, peut être ajouté initialement afin d'agir sous forme de germes de cristallisation pour accélérer la précipitation dans le clarificateur de précipitation 122.
- 20 [0016] De manière facultative, un agent coagulant et/ou agent flocculant 128 peut être ajouté, afin d'accélérer la séparation solide - liquide dans le clarificateur de précipitation 122. Dans le clarificateur de précipitation 122, une fois le "germe" précipitant formé, l'élimination des solides en suspension peut s'améliorer en utilisant un coagulant et/ou un flocculant. La coagulation et flocculation sont des mécanismes utilisés pour augmenter chimiquement la taille des particules afin d'améliorer la précipitation. La coagulation est une neutralisation des charges par un coagulant chargé positivement. Aussi bien les coagulants à base de polymère que ceux inorganiques peuvent être utilisés pour créer
- 25
- 30

une taille de particules en neutralisant les charges de surface négatives sur des particules à travers la compression à double couche et l'attraction électrostatique. La floculation est un mécanisme de pontage physique qui dépend beaucoup plus de la taille de la molécule floculante que de sa charge. Malgré la possibilité d'utiliser des
5 floculants cationiques, on préfère les floculants de charge anionique car le pH présent dans le clarificateur de précipitation 122 est très alcalin et qu'il existe une affinité entre les solides inorganiques et les floculants anioniques.

[0017] La précipitation dans le clarificateur de précipitation 122 peut fournir l'élimination
10 des composants de dureté significative et d'encrassement liés à la silice. Par exemple, avec un pH de 10.0 à 11.5 et une co-précipitation dans le clarificateur de précipitation 122, les ions comprenant du baryum, fer, manganèse, magnésium, aluminium, peuvent être éliminés à un niveau relativement très bas, le calcium peut être éliminé de la même manière que le carbonate de calcium et le sulfate de calcium, et une grande partie de la
15 silice ou des sels de silicate peut être éliminée en formant des précipités du complexe Si-Ca-Mg. L'augmentation de la température par chauffage ou injection de vapeur peut en outre améliorer l'élimination de la silice dans le clarificateur de précipitation 122.

[0018] Le clarificateur de précipitation 122 produit une solution de surnageant 130 et
20 une solution de rejet 132. La solution de rejet 132 peut être drainée, soit périodiquement ou bien de façon continue, d'une partie inférieure du clarificateur de précipitation 122 où les solides précipités s'accumulent.

[0019] Au moins une partie d'une solution de surnageant 130 du clarificateur de
25 précipitation 122 est recyclée par combinaison de la solution de surnageant 130 avec la solution d'influent 102, avant l'étape de prétraitement dans la chambre de prétraitement 104.

[0020] En plus de l'ajustement du pH de la solution prétraitée 106, l'injection de CO₂ 134
30 sert également à augmenter la concentration de bicarbonate dans la solution conditionnée 114 avant son écoulement dans l'unité de filtration sur membrane 116, ce qui va améliorer la précipitation du calcium dans la solution de rétentat 120 en aval une

fois le pH augmenté entre approximativement 9,5 et 12,0, ou entre approximativement 10,0 et 11,5 dans le clarificateur de précipitation 122.

[0021] Il existe d'autres avantages quant à l'utilisation d'une injection de CO₂ pour
5 réduire l'entartrage des surfaces de membrane en comparaison à l'utilisation d'acides chlorhydriques ou sulfuriques, par exemple. En général, le CO₂ n'est pas corrosif pour des tuyaux et des équipements, et il n'est pas stocké comme une solution acide. L'injection de CO₂ a deux objectifs: ajuster le pH et fournir le bicarbonate pour éliminer la dureté consécutive dans le clarificateur de précipitation. Le CO₂ est en outre plus
10 rentable et plus respectueux de l'environnement en comparaison avec l'utilisation d'un acide permettant de réduire le pH, puis de l'addition de carbonate de sodium au clarificateur de précipitation 122.

[0022] L'appareil de filtration 100 peut inclure en outre des composants omis dans la
15 FIG. 1. Par exemple, une ou plusieurs pompes peuvent être pourvues en amont de l'unité de filtration sur membrane 116 pour pressuriser la solution conditionnée 114, et/ou un échangeur de chaleur peut être pourvu en amont du clarificateur de précipitation 122 pour augmenter la température de la solution de rétentat 120 avant de l'introduire dans le clarificateur de précipitation 122.

20

[0023] En utilisant l'appareil de filtration 100, le taux de récupération de l'eau peut être augmenté en comparaison avec une disposition conventionnelle où il n'y a pas de recirculation. À des fins d'illustration, si le taux de récupération de l'eau d'osmose inverse est Y_P, le rapport de rejet de l'osmose inverse est Y_R, le rapport de drainage est
25 Y_D, et le rapport de recirculation de surnageant est R (et la partie rejetée de la chambre de prétraitement 104 est ignoré), alors:

$$Y_P = 100\% - Y_D \quad (1)$$

$$R = Y_R - Y_D \quad (2)$$

30 [0024] Pour des procédés normaux de purification de l'eau RO, il n'y a pas de recirculation (R = 0), donc le taux de récupération de l'eau est

$$Y_P = 100\% - Y_R \quad (3)$$

[0025] Si le rapport de rejet de l'osmose inverse est de 20%, alors le taux de récupération de l'eau est de 80%. Toutefois, en utilisant l'appareil de filtration 100, comme il existe une séparation solide - liquide dans le clarificateur de précipitation 122, la solution de surnageant 130 est amenée à recirculer vers l'arrière dans la chambre de prétraitement 104. En supposant que le rapport de rejet de l'osmose inverse est de 20%, et que le rapport de recirculation du surnageant R est de 10%, alors conformément à l'équation (3), le taux de récupération de l'eau Y_P sera de 90%. Ce rapport peut en outre augmenter si l'élimination de la dureté dans le clarificateur de précipitation 122 est efficace. Ainsi, sous forme d'approximation, un procédé utilisant l'appareil de filtration 100 peut augmenter les taux de récupération de l'eau d'approximativement 65 à 80% pour un procédé de filtration conventionnel jusqu'à approximativement 90 à 95%. L'augmentation de la récupération de l'eau réduit également les coûts relatifs à la disposition de la solution de rejet.

15

[0026] En référence à la FIG. 2, un autre exemple d'appareil de filtration est généralement représenté par 200. L'appareil de filtration 200 est similaire à l'appareil de filtration 100. Toutefois, avant d'être introduit dans la chambre de prétraitement 204, la solution d'influent 202 peut être injectée avec du CO_2 234a afin de réduire le pH de la solution d'influent 202 avant le prétraitement. De plus, la solution de surnageant 230 peut être injectée avec du CO_2 234b pour réduire le pH de la solution de surnageant 230 avant de combiner la solution de surnageant 230 avec la solution d'influent 202. En réduisant le pH, les particules restantes dans la solution de surnageant 230 sont dissoutes avant d'être combinées avec la solution d'influent 202.

25

[0027] En référence à la FIG. 3, un autre exemple d'appareil de filtration est généralement représenté par 300. L'appareil de filtration 300 est similaire aux appareils de filtration 100 et 200. Toutefois, l'appareil de filtration 300 est un système à "double passage", où la solution de perméat 318 est amenée à s'écouler dans une unité de filtration sur membrane secondaire 316a. L'unité de filtration sur membrane secondaire 316a produit une solution secondaire de perméat de grande pureté 318a, et une solution secondaire de rétentat 320a. Au moins une partie de la solution de rétentat

30

secondaire 320a est combinée avec la solution de rétentat 320 avant d'être introduite dans le clarificateur de précipitation 322.

5 [0028] Dans certains exemples de cette disposition à "double passage", l'unité de filtration sur membrane 316 peut comprendre de membranes NF, suivi de l'unité de filtration sur membrane 316a, qui peut comprendre des membranes RO. Dans d'autres exemples, les unités de filtration sur membrane 316, 316a peuvent inclure chacune des membranes RO.

10 [0029] Généralement, les unités de filtration sur membrane 116, 216, 316, 316a peuvent inclure chacune un ou plusieurs modules de membranes RO ou NF, disposés parallèlement ou en série. Par exemple, l'unité de filtration sur membrane 116, 216, 316, 316a peut inclure des modules de filtration d'osmose inverse de deux phases ou multi-phases.

15

[0030] La sélection des points d'injection de CO₂ et des paramètres de contrôle du pH peut influencer en grande mesure la rentabilité du procédé de filtration. Dans un système en environnement ouvert, le fait de réduire le pH au-dessous de 8.0 avant la filtration de RO/NF dans l'unité de filtration sur membrane 116, 216, 316 peut résulter
20 peu économique, étant donné qu'une partie du CO₂ injecté peut s'échapper dans l'atmosphère. Toutefois, si le CO₂ est ajouté dans un système fermé sous pression, la pression forcera l'équation suivante vers la droite, permettant au pH de tomber à un niveau désiré.

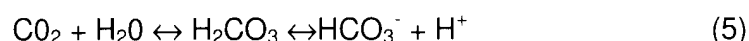
25



[0031] Ainsi, si la chambre de prétraitement 104, 204, 304 est conçue en forme de système ouvert (par exemple, MF/UF submergé), le CO₂ peut être injecté pour réduire le pH entre approximativement 8,0 à 8,5 avant d'entrer dans la chambre de prétraitement
30 104, 204, 304 (par exemple, C0₂ 234a).

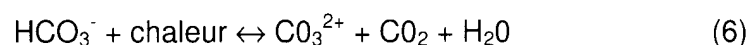
[0032] En outre, comme cela a été mentionné antérieurement, le CO₂ peut être injecté

dans un circuit fermée entre la chambre de prétraitement 104, 204, 304 et l'unité de filtration de membrane 116, 216, 316 à 134, 234, 334 afin de réduire le pH et simultanément en ajoutant également une quantité suffisante de carbonate/bicarbonate pour une précipitation ultérieure du calcium dans le clarificateur de précipitation 122, 222, 322. Ainsi, dans la solution du rétentat 120, 220 320, le bicarbonate sera dominant
5 comme cela est représenté dans l'équation suivante:



10 [0033] Comme susmentionné, la solution de rétentat 120, 220, 320 est conduite vers le clarificateur de précipitation 122, 222, 322 pour l'élimination de la dureté et de la silice. Il peut être plus approprié et désirable de convertir autant de bicarbonate possible en carbonate, par chauffage ou réduction de la pression, ou les deux, avant d'utiliser un alcalin pour augmenter le pH dans le clarificateur de précipitation 122, 222, 322.

15



[0034] Comme représenté dans l'équation (6), la chaleur force le bicarbonate à produire du carbonate et du CO₂. La pression de la solution de rétentat 120, 220, 320 peut chuter
20 substantiellement lors de son écoulement depuis l'unité de filtration sur membrane 116, 216, 316 vers le clarificateur de précipitation 122, 222, 322, et le CO₂ peut ainsi s'évaporer/se volatiliser. La conversion du bicarbonate en carbonate, par chauffage ou par chute de pression, ou les deux, peut réduire la nécessité de dosage avec un alcalin afin d'augmenter le pH pour la précipitation. Le CO₂ volatilisé peut également être
25 collecté et recyclé pour une injection de CO₂ comme susmentionné.

[0035] Les enseignements présents ici peuvent être appropriés pour de nouvelles installations de purification de l'eau ou l'amélioration d'opérations existantes d'osmose inverse et de nanofiltration.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de filtration sur membrane, comprenant:
 - le prétraitement d'une solution d'influent afin d'éliminer les solides en suspension, pour produire une solution prétraitée;
 - l'ajustement du pH de la solution prétraitée à au moins 8.3 ou moins en injectant du CO₂ dans la solution prétraitée, afin de produire une solution conditionnée;
 - l'écoulement de la solution conditionnée à travers une unité de filtration sur membrane d'osmose inverse ou de nanofiltration, afin de produire une solution de perméat et une solution de rétentat;
 - la récupération de la solution de perméat;
 - le traitement de la solution de rétentat pour provoquer la précipitation des solides, afin de produire une solution de surnageant et une solution de rejet; et
 - la recirculation d'au moins une partie de la solution de surnageant en combinant la portion de la solution de surnageant avec la solution d'influent avant l'étape de prétraitement.
2. Procédé selon la revendication 1, comprenant en outre, avant l'étape de prétraitement, l'injection de CO₂ dans la solution d'influent.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, comprenant en outre l'injection de CO₂ dans la solution de surnageant recyclée après l'étape de traitement.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, comprenant en outre, avant l'étape d'écoulement, l'addition d'un agent antitartre à la solution conditionnée.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, où l'étape de traitement comprend l'ajustement du pH de la solution de rétentat entre 9.5 et 12.0.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, où l'étape de traitement comprend l'ajustement du pH de la solution de rétentat entre 10.0 et 11.5.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, où, lors de l'étape de traitement, la solution de rétentat est traitée dans un clarificateur de précipitation.

8. Procédé selon la revendication 7, où l'étape de traitement comprend l'addition d'un alcalin à la solution de rétentat dans le clarificateur de précipitation.

9. Procédé selon la revendication 7 ou 8, où l'étape de traitement comprend l'addition d'un agent initial de précipitation à la solution de rétentat dans le clarificateur de précipitation.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, où l'étape de traitement comprend l'addition d'un agent coagulant à la solution de rétentat dans le clarificateur de précipitation.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, où l'étape de traitement comprend l'addition d'un agent floculant à la solution de rétentat dans le clarificateur de précipitation.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, où l'étape de traitement comprend le chauffage de la solution de rétentat.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, où l'étape de traitement comprend la réduction de la pression de la solution de rétentat.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, où l'étape de traitement comprend la récupération du CO₂.

15. Procédé selon la revendication 14, comprenant en outre l'injection du CO₂ récupéré dans la solution prétraitée, la solution d'influent, ou la solution de surnageant recyclée.

16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, où l'étape de

prétraitement comprend l'utilisation d'une microfiltration, ultrafiltration ou filtration multimédia.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, comprenant en outre:
 - l'écoulement de la solution de perméat à travers une unité secondaire de filtration sur membrane d'osmose inverse, afin de produire une solution secondaire et une solution de rétentat secondaire;
 - récupération de la solution de perméat secondaire; et
 - recirculation d'au moins une partie de la solution de rétentat secondaire en combinant la partie de la solution de rétentat secondaire avec la première solution de rétentat avant l'étape de traitement.

18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, où, lors de l'étape d'ajustement, l'injection de CO_2 dans la solution prétraitée produit une augmentation de la concentration en bicarbonate.

19. Procédé selon la revendication 2, où l'injection de CO_2 dans la solution d'influent produit l'accroissement de la concentration de bicarbonate.

20. Procédé selon la revendication 3, où l'injection de CO_2 dans la solution de surnageant recyclée produit l'accroissement de la concentration de bicarbonate.

14

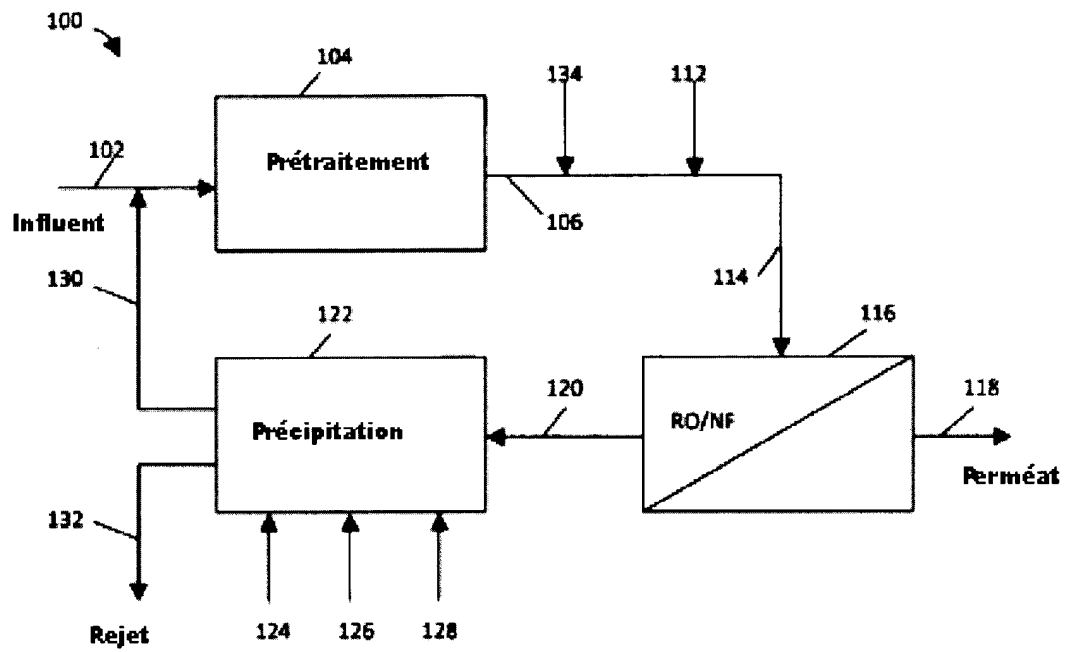


Fig. 1

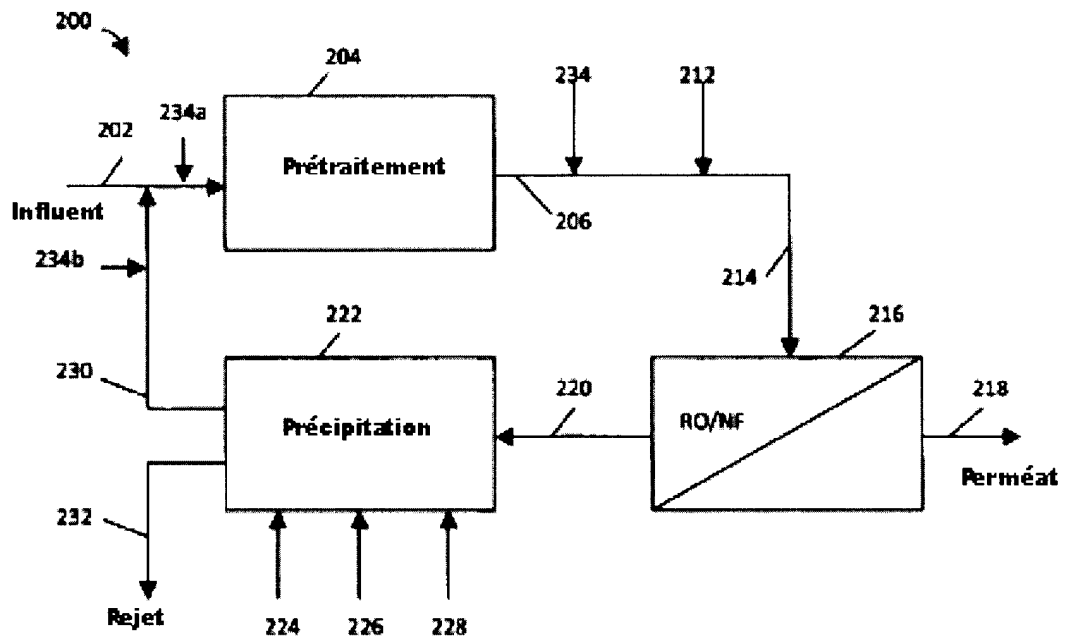


Fig. 2

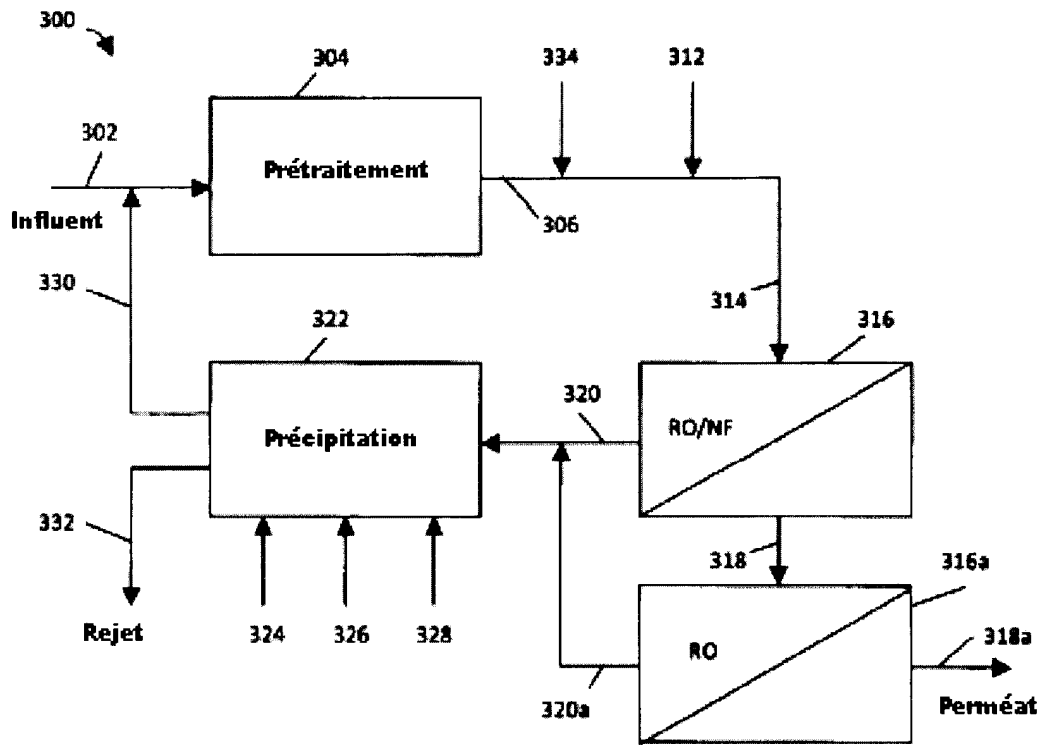


Fig. 3