

PROCEDE DE TRAITEMENT D'UN EFFLUENT D'EAUX RESIDUAIRES PAR BOUES DENSIFIEES DANS UN REACTEUR BATCH SEQUENCE

[0001] L'invention se situe dans le domaine technique du traitement biologique des eaux résiduaires municipales et industrielles et concerne plus spécifiquement la technologie dite Réacteur Biologique Séquencé (aussi connue sous son acronyme anglo-saxon SBR pour Sequencing Batch Reactor).

[0002] Un SBR fonctionne de façon séquencée avec différentes étapes de traitement, et notamment une phase de décantation qui permet de séparer les boues dites « activées » de l'eau traitée.

[0003] Un procédé dit « à boues activées » utilise l'épuration biologique dans son traitement des eaux usées. C'est un mode d'épuration par cultures libres. Le principe est de faire dégrader la matière organique, en suspension ou dissoute dans les eaux usées, par des bactéries. Un bon niveau de biodégradation est obtenu grâce à une homogénéisation du milieu permettant aux bactéries d'accéder aux particules et une bonne aération. Ensuite, les boues se déposent dans le fond du réacteur lors de la phase de décantation.

[0004] Un procédé à boues activées vise à éliminer la pollution carbonée et la pollution azotée, éliminer ou récupérer le phosphore compris dans la pollution phosphorée. Pour assurer l'élimination de la pollution carbonée, il faut donc une culture bactérienne riche en cellules hétérotrophes. Mais la croissance bactérienne nécessite la présence d'éléments nutritifs, notamment des sources d'azote et de phosphore, tels que ceux contenus dans les effluents et dont l'élimination est également nécessaire.

[0005] Le traitement de l'azote fait généralement appel aux procédés de nitrification puis de dénitrification (N/DN). La nitrification est une réaction d'oxydation par des bactéries autotrophes, de l'azote ammoniacal ou ammonium, souvent noté $N-NH_4$, en :

- azote nitreux, aussi connu comme nitrite, $N-NO_2$,
- puis azote nitrique, aussi connu comme nitrate, $N-NO_3$.

[0006] De manière connue, le traitement biologique de nitrification est réalisé en conditions aérobies par des micro-organismes autotrophes aptes à oxyder les ions ammonium (NH_4^+) en ions nitrites (NO_2^-) puis en ions nitrates (NO_3^-). Cette étape est habituellement réalisée en deux sous étapes de nitritation et nitratisation :



[0007] La dénitrification, consiste en une réduction en azote gazeux (ou diazote noté aussi N_2), par des bactéries dénitrifiantes, des nitrates produits lors des réactions de nitrification. Le traitement biologique de dénitrification est typiquement réalisé en conditions anoxiques, par des micro-organismes hétérotrophes aptes à réduire les ions nitrates produits lors du premier traitement en ions nitrites, puis les ions nitrites en azote gazeux (N_2).

[0008] De manière plus précise, la nitrification se compose de deux sous-étapes : une première étape de nitritation en présence d'oxygène suivie d'une deuxième étape de nitratisation en présence d'oxygène également. La nitritation consiste en l'oxydation de l'ammonium en nitrite par des bactéries autotrophes nitritantes, connues comme AOB ou « Ammonia Oxidizing Bacteria » dont le genre prédominant est *Nitrosomonas*. La nitratisation consiste en l'oxydation du nitrite en nitrate par d'autres bactéries autotrophes, connues comme NOB ou « Nitrite Oxidizing Bacteria » dont le genre prédominant est *Nitrobacter*.

[0009] La dénitrification peut également se décomposer en deux sous étapes : une étape de dénitratisation qui va transformer les nitrates en nitrites, et une étape de dénitrification qui va transformer ces nitrites en azote gazeux. Chacune de ces deux sous étapes est réalisée par des bactéries hétérotrophes et nécessite de grandes quantités de carbone biodégradable. La dénitrification requiert en effet environ 2,9 kilogrammes de carbone sous forme de Demande Biologique en Oxygène 5 jours (DBO_5) pour réduire un kilogramme de N-NO_3 en diazote.

[0010] Pour réduire les quantités d'énergie et de carbone utilisées pour le traitement de l'azote, d'autres voies métaboliques peuvent être envisagées : la nitritation-dénitrification et la nitritation partielle-dé-ammonification.

[0011] Le procédé de nitritation-dénitrification, aussi appelé « shunt des nitrates », cherche à stopper l'oxydation de l'azote au stade des nitrites en évitant la production de nitrates, d'où le shunt de la « partie Nitrate » du cycle. Pour mettre en œuvre la

nitritation-dénitritation, il faut donc réprimer les NOB (Nitrite Oxidizing Bacteria) au profit des AOB (Ammonia Oxidizing Bacteria). Selon l'état de l'art, ce procédé permet une économie de 25% sur le besoin en oxygène et ne requiert que 1,7 kilogrammes de carbone sous forme de DBO5 pour réduire un kilogramme de N-NO2 en diazote. Cela représente une économie d'environ 40 % sur les besoins en carbone par rapport à un procédé classique de nitrification-dénitrification.

[0012] De manière connue, le traitement de nitritation est réalisé en conditions aérobies par des micro-organismes autotrophes aptes à oxyder les ions ammonium (NH_4^+) en ions nitrites (NO_2^-). Le traitement de dénitrification est réalisé en conditions anoxiques par des micro-organismes hétérotrophes aptes à réduire les ions nitrites (NO_2^-) en diazote (N_2).

[0013] Un autre procédé, appelé déammonification ou nitritation partielle/Anammox (NP/A) utilise la réaction de nitritation décrite précédemment mais met ensuite en jeu des bactéries autotrophes anaérobies, dites Anammox pour « ANaerobic AMMonium Oxidation », qui consomment l'ammonium et le nitrite pour produire du N_2 sans avoir besoin d'oxygène et de carbone biodégradable.

[0014] La première étape de la déammonification est la nitritation partielle (NP). Elle consiste en l'oxydation d'une fraction (57%) de l'ion ammonium en nitrite. La deuxième étape est réalisée par les bactéries anaérobies Anammox. Dans cette réaction, environ 11 % de la charge azotée est transformée en nitrate, ce qui porte le taux d'élimination maximal théorique à 89 %.

[0015] La même population bactérienne, les bactéries oxydantes aérobies (AOB), que celle de la N/DN, est impliquée pour la nitritation partielle. Dans ce cas, (i) seule une fraction de l'ammonium est oxydée, contrairement au procédé N/DN qui nécessite une oxydation à 100 % du NH_4 et (ii) le niveau d'oxydation est réduit car la molécule ciblée est le NO_2 et non le NO_3 . Selon l'état de l'art, les économies d'oxygène pour cette voie de traitement atteignent environ 50 % par rapport à un traitement classique de nitrification et dénitrification.

[0016] Par ailleurs, comme les bactéries AOB et Anammox sont des populations autotrophes, l'ensemble du processus NP/A peut être réalisé sans aucun carbone biodégradable. Aucun ajout de carbone externe (ou exogène) n'est nécessaire pour

réaliser le traitement de l'azote. Ce traitement ne permet donc pas d'éliminer le carbone éventuellement présent.

[0017] De manière connue, le traitement de nitrification partielle est réalisé en conditions aérobies par des micro-organismes autotrophes aptes à oxyder les ions ammonium (NH_4^+) en ions nitrites (NO_2^-). Le traitement d'oxydation anaérobie est réalisé en conditions anaérobies par des micro-organismes autotrophes aptes à oxyder les ions ammonium (NH_4^+) en diazote (N_2) en présence d'ions nitrites (NO_2^-) (bactéries Anammox).

[0018] La déphosphatation biologique (*i.e.* traitement du phosphore par voie biologique) est réalisée par la succession d'une étape de traitement en condition anaérobie et d'une étape de traitement en condition aérobie. En effet, certaines bactéries appelées organismes accumulateurs de polyphosphate (également connues sous l'acronyme anglo-saxon Polyphosphate-Accumulating Organisms ou PAO) ont la caractéristique de suraccumuler le phosphore lorsqu'elles sont soumises à une alternance de conditions anaérobie et aérobie. Les PAO relarguent des phosphates pendant leur séjour en condition anaérobie, et en passant ensuite en condition aérobie, ils accumulent une quantité de phosphates supérieure à celle relarguée en condition anaérobie.

[0019] Par conséquent, en adaptant les conditions anaérobie/aérobie de l'enceinte, la concentration de phosphates dans l'enceinte du SBR est contrôlable grâce à l'intervention des PAO chargés en phosphore.

[0020] Quelle que soit la technologie de traitement employée, la technologie SBR est limitée dans son dimensionnement par la décantabilité de la boue. En effet, un des facteurs limitant la concentration en boues activées dans un SBR, elle-même représentant un potentiel de traitement d'une charge polluante, est la décantabilité de la boue généralement exprimée par l'indice de Mohlman. L'indice de Mohlman est l'indice de l'aptitude à la décantation des boues. Cet indice définit le volume de boue activée décanté en une demi-heure par rapport à la masse de résidu sec (ou la concentration en matière en suspension, aussi notée MES) de cette boue : plus l'indice est bas et meilleure est la capacité de décantation de la boue.

[0021] Plus les boues sont denses, plus rapide est la phase de décantation et plus courte est la durée globale du cycle de traitement, ce qui permet de traiter dans une même journée plus de pollution en effectuant un nombre de cycles plus élevé.

[0022] Généralement, des boues plus denses permettent de travailler avec des concentrations plus élevées tout en permettant une bonne décantabilité (indice) et donc de traiter plus de pollution dans un même volume d'ouvrage.

[0023] Une première conception de réacteur dit séquencé (SBR) met en œuvre deux volumes différents qui sont alternativement utilisés en réaction et en décantation, l'eau étant transférée du compartiment réaction vers le compartiment décantation (procédé Unitank de Seghers). Cependant, ce type de réacteur SBR a été amélioré, et la plupart des réacteurs biologiques du type séquencé (SBR) sont actuellement conçus avec un seul volume, dans lequel les différentes étapes du traitement se déroulent successivement. Ces réacteurs sont généralement à niveau variable : la phase d'alimentation en eau brute et la phase de reprise de l'eau traitée sont dissociées dans le temps, si bien que lors de la reprise de l'eau traitée, le niveau d'eau dans le réacteur s'abaisse.

[0024] On connaît également des réacteurs SBR dits à niveau constant, qui permettent de réduire le temps de chaque séquence de traitement, tout en maintenant l'efficacité du traitement. Un tel réacteur est décrit par exemple dans le document WO2016020805.

[0025] Dans les réacteurs de type SBR, les boues décantant le plus facilement – c'est-à-dire les boues les plus lourdes - se retrouvent généralement en partie basse du lit de boue. Or, ce sont ces boues qui sont extraites à chaque cycle en fin de période de décantation, ce qui a tendance à sélectionner les boues les plus légères, qui sont également les moins décantables.

[0026] Le procédé SBR décrit dans WO2004/024638 vise à pallier ce problème. Il s'agit d'un procédé en SBR à niveau constant, qui met en œuvre des boues granulaires aérobies, dont la particularité est de décanter très rapidement (vitesse de décantation supérieure à 10 m/h). Cependant, la formation des granules avec un effluent urbain/municipal – c'est-à-dire peu concentré en pollution (carbone, azote, phosphore) - prend beaucoup de temps, et sa stabilité en fonction des charges entrantes et des variations de température n'est pas démontrée à ce jour.

[0027] La demande internationale WO2019/053114 propose d'améliorer encore le procédé SBR décrit dans WO2004/024638 en proposant un réacteur SBR permettant, à l'aide de moyens de détermination d'un niveau minimum et d'un niveau maximum d'extraction des boues dans l'enceinte SBR, d'extraire sélectivement les boues granulaires présentant la meilleure décantabilité.

[0028] Il existe donc un besoin pour un procédé de traitement des boues activées par SBR plus compétitif, c'est-à-dire plus intense, et capable de fonctionner avec tout type de boues, y compris des boues non granulaires. En outre, le procédé de l'invention permet avantageusement de traiter un volume d'eaux usées identique, voire supérieur à ceux des procédés de l'art antérieur, mais avec une emprise au sol restreinte.

[0029] L'invention vise à pallier tout ou partie des problèmes cités plus haut en proposant un procédé dit de « boues densifiées », permettant d'obtenir des vitesses de décantation des boues élevées, quelle que soit la nature des boues (granulaires ou non), et avantageusement avec des boues non granulaires. La densification des boues est obtenue dans un SBR à niveau constant par optimisation de la production de microorganismes facilement décantables, grâce à la combinaison de plusieurs facteurs :

- une alimentation à travers le lit de boues,
- l'ordre des séquences mises en œuvre dans le traitement des eaux usées, permettant le développement de populations de microorganismes particulières, présentant une bonne décantabilité, notamment les PAO (Phosphate Accumulating Organisms), et
- la stratégie d'extraction des boues, qui permet de conserver dans le réacteur les boues avec la meilleure décantabilité, en extrayant les boues les moins décantables à chaque cycle.

[0030] A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de traitement d'un effluent d'eaux résiduelles comprenant une pollution carbonée, une pollution azotée et une pollution phosphorée, dans un réacteur batch séquencé (SBR), ledit SBR comprenant :

- une enceinte apte à contenir un mélange eaux résiduaires-boues comprenant différents niveaux, chaque niveau étant défini par une concentration et/ou une densité de boues,
- un lit de boues, comprenant des PAO, situé au fond de l'enceinte, au-dessus duquel est défini un niveau de voile de boue,
- des moyens de détermination d'un niveau minimum et d'un niveau maximum d'extraction des boues dans l'enceinte,
- des moyens d'extraction aptes à extraire des boues à des niveaux variables entre le niveau d'extraction minimum et le niveau d'extraction maximum,

ledit procédé comprenant :

- une étape d'alimentation du SBR, au cours de laquelle on introduit un volume d'effluent à traiter près du fond de l'enceinte, dans le lit de boues, de préférence par un réseau de distribution couvrant le fond de l'enceinte,
- une séquence réactionnelle comprenant :
 - o au moins une première étape anaérobie, lors de laquelle les PAO captent la pollution carbonée et relarguent des composés phosphorés,
 - o optionnellement, une deuxième étape, en anoxie, de dénitrification (partielle et/ou totale), cette étape n'étant mise en œuvre qu'en cas d'une concentration en NOx supérieure à un seuil prédéterminé,
 - o une troisième étape d'aération, permettant d'effectuer la déphosphatation de l'effluent par les PAO, l'aération étant contrôlée de manière à effectuer simultanément soit une nitrification (partielle ou totale), soit une nitrification (partielle ou totale),
- une étape de décantation, au cours de laquelle des boues se déposent au fond de l'enceinte et le contenu de l'enceinte se clarifie à proximité de sa surface,
- une étape de reprise, au cours de laquelle on évacue une fraction clarifiée du contenu de l'enceinte, lesdites étapes de reprise et d'alimentation ayant lieu simultanément, de manière à maintenir le niveau du contenu de l'enceinte sensiblement constant lors des étapes de reprise et d'alimentation, et

[0031] une étape d'extraction d'au moins une partie des boues légères à un niveau prédéfini entre le niveau d'extraction minimum et le niveau d'extraction maximum, préférentiellement à proximité du voile de boue. Selon un mode de réalisation

particulier, le procédé de l'invention est constitué des étapes ci-dessus, et le cas échéant d'une ou plusieurs étapes optionnelles décrites ci-après.

[0032] Avantageusement, le procédé de traitement selon l'invention comprend en outre une étape de mesure du voile de boue, et l'étape d'extraction d'au moins une partie des boues légères est réalisée lorsque la mesure du voile de boue est sensiblement égale à une distance prédéfinie du niveau d'extraction des boues.

[0033] Avantageusement, l'étape d'extraction d'au moins une partie des boues légères est réalisée pendant l'étape d'alimentation et/ou pendant l'étape de décantation.

[0034] Avantageusement, le procédé de traitement selon l'invention comprend pendant la séquence réactionnelle, une étape d'injection d'air dans l'enceinte.

[0035] Avantageusement, la troisième étape d'aération est suivie d'une étape, en anoxie, de post-dénitrification, préférentiellement mise en œuvre lorsque la troisième étape est une étape de nitrification totale ou partielle ; ou la troisième étape d'aération est suivie d'une étape, en anoxie, de dénitrification, préférentiellement mise en œuvre lorsque la troisième étape est une étape de nitrification totale ou partielle ; ou la troisième étape d'aération est suivie d'une étape, en anoxie, de déammonification, préférentiellement mise en œuvre lorsque la troisième étape est une étape de nitrification partielle.

[0036] Avantageusement, l'étape de décantation est précédée d'une étape d'injection d'air dans l'enceinte.

[0037] Avantageusement, le procédé de traitement selon l'invention comprend une étape de densification des boues par un dispositif de densification à l'intérieur de l'enceinte.

[0038] Avantageusement, le procédé de traitement selon l'invention comprend une étape d'asservissement de la durée de la troisième étape d'aération en fonction du niveau de pollution (notamment en pollution carbonée, azotée et phosphorée) de l'effluent d'eaux résiduaires.

[0039] Une « boue granulaire » est caractérisée par une vitesse de décantation supérieure à 10 m/h, et un indice de boues ("sludge volume index", mesuré selon la norme NF EN 14702-1 de juillet 2006) inférieur à 35 mL/g (comme mentionné

notamment dans la demande WO2004/024638, page 3). Une boue qui ne remplit pas ces deux conditions simultanément n'est pas considérée comme une boue granulaire. Par exemple, une boue non granulaire est une boue présentant une vitesse de décantation inférieure ou égale à 10m/h. Par conséquent, pour une boue granulaire, l'indice de boue à 5 minutes est égal à l'indice de boue à 30 minutes.

[0040] Une « boue densifiée », aussi appelée lourde, se caractérise par des indices de boues compris entre 35 et 100 mL/g, de préférence entre 40 et 80 mL/g, de manière encore préférablement entre 40 et 70 mL/g, et des vitesses de décantation comprises entre 2,0 et 9,0 m/h. Elle se caractérise également par une proportion en masse de 10 à 50% (de préférence 20 à 40%) de particules de granulométrie supérieure à 100 μm (jusqu'à 1000 μm , de préférence entre 200 μm et 500 μm), et une forte proportion massique (entre 50% et 90%) de floccs biologiques de granulométrie inférieure à 100 μm (avantageusement inférieure à 200 μm). On peut aussi caractériser cette boue densifiée par le critère de flux massique limite qui est supérieur ou égal à 8 kg MES. $\text{m}^{-2}.\text{h}^{-1}$, de préférence supérieur ou égal à 8,5 kg MES. $\text{m}^{-2}.\text{h}^{-1}$. Il s'agit d'un mélange de solides, de liquides et de microorganismes, lesdits microorganismes incluant des organismes accumulateurs de polyphosphate chargés en phosphore. Cette boue lourde présente une très bonne décantabilité.

[0041] Une « boue légère » se caractérise par des indices de boues supérieurs à 100 mL/g et des vitesses de décantation inférieures à 2 m/h. Elle se caractérise également par une proportion en masse de floccs biologiques de taille inférieure à 0,2 mm comprise entre 15 et 50%. On peut aussi caractériser cette boue légère par le critère de flux massique limite qui est inférieur à 8 Kg MES/ m^2/h . Il s'agit d'un mélange de solides, de liquides et de microorganismes. Cette boue comprend peu, voire pas de PAO. Cette boue légère est difficilement décantable.

[0042] La vitesse de décantation s'exprime en mètres / heure (m/h). Elle peut se déterminer à partir de la courbe de Kynch, qui est obtenue par observation de la décantation par gravité d'un échantillon dans une éprouvette de 1L. Il est à noter que la valeur à 30 minutes de la courbe de Kynch permet d'obtenir ce que l'on appelle l'Indice de Molhman (SVI en anglais, pour « Sludge Volume Index ») ou l'Indice de boue (dilution de la boue brute, DSVI en anglais, pour « diluted SVI »), selon la norme NF EN 14702-1 - Juillet 2006. Sur un réacteur pilote ou industriel, la vitesse de décantation peut être déduite de l'évolution de la hauteur du voile de boue au

cours du temps, pendant une séquence non-aérée. La mesure de la hauteur du voile de boue peut être effectuée en continu, par exemple à l'aide d'une sonde à ultrason. Alternativement, elle peut être discontinue, on pourra alors effectuer à intervalles prédéterminés des prélèvements manuels à différents niveaux sur la hauteur du réacteur.

[0043] Le flux massique limite s'exprime en $\text{kg.m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Il caractérise la quantité de matière solide en suspension (aussi noté MES) décantable par unité de surface et de temps, et mesure la vitesse de chute qu'est capable d'avoir une boue à une concentration donnée. Le flux massique limite se détermine à partir de la courbe de Kynch, en effectuant plusieurs dilutions ou concentrations successives des boues brutes.

[0044] La proportion de floccs biologiques s'exprime en % de poids de boues, associé à une taille – par exemple, le pourcentage inférieur à 0,2 mm. Cette valeur peut être obtenue par tamisage d'un échantillon de boue sur des tamis présentant différentes tailles de maille (par exemple 200 μm / 400 μm / 500 μm / 800 μm / 1 mm / 1,25 mm). On mesure alors la concentration en MES (Matières en suspension) du filtrat obtenu, que l'on rapporte ensuite à la concentration en MES de la boue brute (en %).

[0045] La taille des floccs biologiques, correspond à une granulométrie, notamment la taille maximale des particules. Elle peut se déterminer par une analyse statistique à partir de photographies en microscopie.

[0046] Avantageusement, le procédé de l'invention ne comprend pas d'étape de recirculation de la boue légère dans le réacteur batch séquencé.

[0047] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description détaillée d'un mode de réalisation donné à titre d'exemple, description illustrée par le dessin joint dans lequel :

[0048] La figure 1 représente schématiquement un exemple de réacteur batch séquencé adapté à la mise en œuvre du procédé de traitement de l'invention ;

[0049] La figure 2 représente un organigramme des étapes du procédé de traitement d'un effluent d'eaux résiduelles selon l'invention ;

[0050] La figure 3 représente schématiquement les étapes du procédé de traitement d'un effluent d'eaux résiduelles selon l'invention ;

[0051] La figure 4 représente schématiquement un réacteur batch séquencé mis en œuvre selon le procédé de l'invention ;

[0052] Les figures 5A, 5B, 5C, 5D illustrent la sélection de la population bactérienne en fonction de la séquence réactionnelle par des mesures effectuées lors du procédé de traitement selon l'invention ;

[0053] La figure 6 représente schématiquement l'enceinte du SBR et des moyens de reprise pendant les étapes d'alimentation et de reprise ;

[0054] La figure 7 représente schématiquement l'enceinte du SBR et des moyens de reprise pendant l'étape de décantation.

[0055] Sur ces figures, dans un souci de clarté, les échelles ne sont pas respectées. Par ailleurs, les mêmes éléments porteront les mêmes repères dans les différentes figures.

[0056] La figure 1 représente schématiquement un exemple de réacteur batch séquencé adapté à la mise en œuvre du procédé de traitement de l'invention. Le procédé de l'invention vise le traitement d'un effluent d'eaux résiduaires 20 comprenant une pollution carbonée, une pollution azotée et une pollution phosphorée, dans un réacteur batch séquencé (SBR 10). Le SBR 10 comprend une enceinte 11 apte à contenir un mélange 12 eaux résiduaires-boues comprenant différents niveaux, chaque niveau étant défini par une concentration et/ou une densité de boues. A chaque hauteur dans l'enceinte 11 correspond une concentration et/ou densité de boues du contenu 12. Par exemple, il est possible de définir plusieurs niveaux notés N1, N2, N3, N4, N5, N6. Chacun des niveaux peut avoir une concentration et/ou densité de boues différente des autres niveaux, ou plusieurs niveaux peuvent avoir la même concentration et/ou densité de boues. Enfin, pendant une phase du procédé de traitement, comme cela sera expliqué plus en détail ci-dessous, tous les niveaux dans l'ensemble ont la même concentration et/ou densité de boues. L'enceinte 11 est alimentée en effluent à traiter 20 avantageusement par un réseau de distribution 21, couvrant préférentiellement le fond de l'enceinte, et en air 8 par un réseau de distribution 27, couvrant préférentiellement le fond de l'enceinte.

[0057] Le SBR 10 comprend un lit de boues 13, représenté schématiquement, comprenant des PAO 14, situé au fond de l'enceinte 11, au-dessus duquel est défini

un niveau de voile de boue 15. Le SBR 10 comprend des moyens 16 de détermination d'un niveau minimum 17 et d'un niveau maximum 18 d'extraction des boues dans l'enceinte 11. Sur la figure 1, ces niveaux sont représentés schématiquement. Leur détermination sera détaillée ci-dessous.

[0058] Lors du traitement des eaux résiduaires, l'enceinte 11 contient un mélange 12 eaux résiduaires-boues. Lorsque la boue a décanté, l'eau traitée se trouve en partie haute de l'enceinte du réacteur. L'eau peut être soutirée via une ouverture sous le niveau de la surface 24 de l'enceinte 11 par un système de prélèvement 200 apte à prélever la fraction clarifiée, et comprend ou consiste en un tuyau immergé par lequel l'eau peut être aspirée et prélevée à l'extérieur de l'enceinte (flèche A). Une autre variante de moyens de reprise est détaillée ci-dessous.

[0059] Les particules de boues les plus lourdes et/ou denses se retrouvent au fond de l'enceinte 11 et elles peuvent être soutirées au niveau de la paroi de fond de l'enceinte. Entre les deux, il y a le reste du mélange, qui se présente sous la forme d'une stratification, c'est-à-dire qui présente plusieurs niveaux N_1 , N_2 , N_3 , N_4 , N_5 , N_6 ..., chaque niveau étant défini par une concentration et/ou une densité de boues dans le mélange 12.

[0060] Le voile de boue 15 est le niveau à partir duquel se trouve de la boue. Il est défini par la hauteur entre la surface 24 du contenu de l'enceinte et la présence de boue dans l'ensemble. Le niveau du voile de boue 15 peut être déterminé par les moyens 16 de détermination, préférentiellement en continu. Alternativement, il peut être mesuré manuellement en utilisant un disque de Secchi. La mesure du voile de boue peut se faire en permanence. Toutefois, il n'est pas utile d'effectuer la mesure pendant les phases d'homogénéisation puisque le contenu de l'enceinte est mélangé, et les boues en présence n'ont pas encore décanté.

[0061] Le réacteur 10 selon l'invention permet d'extraire de manière sélective les boues les moins aptes à décanter qui se retrouvent dans le mélange 12.

[0062] Le SBR 10 comprend des moyens d'extraction 19 aptes à extraire des boues 23 (représentées schématiquement à des fins de compréhension) à des niveaux variables entre le niveau d'extraction minimum 17 et le niveau d'extraction maximum 18 (flèche B). A titre d'exemple et de manière non-limitative, les moyens d'extraction 19 peuvent comprendre un extracteur 191 comprenant au moins une première partie

présentant au moins une ouverture 191a à l'intérieur de l'enceinte 11 et une seconde partie 191b apte à faire sortir les boues en dehors de ladite enceinte. Les moyens d'extraction 19 peuvent comprendre des moyens de variation 192 aptes à faire varier la position de l'ouverture 191a dudit extracteur 191, en particulier le niveau de ladite ouverture entre le niveau d'extraction minimum 17 et le niveau d'extraction maximum 18. L'extracteur 191 comprend avantageusement une pompe (d'aspiration) ou une vanne gravitaire (non représentées) pour l'extraction des boues. Avantageusement, l'extracteur 191 peut comprendre un ensemble de tubes disposés à différents niveaux dans l'enceinte 11, chaque tube présentant une première extrémité présentant une ouverture à l'intérieur de l'enceinte 11 et une seconde extrémité reliée à la seconde partie 191b de l'extracteur 191, et des moyens de variation 192 comprenant un ensemble de vannes aptes à ouvrir ou fermer lesdits tubes. Les moyens d'extraction permettent ainsi l'extraction des boues à un ou des niveaux variables. Pour une meilleure lisibilité de la figure, les moyens d'extraction 19 sont représentés sur la partie gauche du SBR, mais la seconde partie 191b de sortie des boues est à relier aux boues extraites 23.

[0063] Les moyens 16 de détermination du niveau minimum 17 et du niveau maximum 18 d'extraction des boues 23 dans l'enceinte 11 peuvent comprendre des moyens 161 de mesure aptes à mesurer la concentration à différents niveaux d'un mélange eaux résiduaires-boues. Par exemple, une sonde voile de boue permet de mesurer la surface du lit de boue. Une sonde MES (Matières En Suspension) permet de mesurer la concentration de la boue. Plusieurs sondes peuvent être disposées sur la hauteur de l'enceinte afin de mesurer la concentration en Matières en suspension à différents niveaux. Ces mesures sont utilisées pour déterminer les niveaux 17, 18. Les moyens 16 peuvent comprendre des moyens 162 de sélection aptes à sélectionner une valeur de concentration de boues maximum et une valeur de concentration de boues minimum. La sélection peut être faite par un opérateur ou sur la base d'un calcul lié à l'âge de boue. Les moyens 16 peuvent comprendre des moyens 163 de déduction apte à déduire un niveau minimum d'extraction correspondant à la valeur de concentration maximum sélectionnée et un niveau maximum d'extraction correspondant à la valeur de concentration minimum sélectionnée.

[0064] Les moyens 161 de mesure peuvent comprendre par exemple une ou plusieurs sonde(s) de mesure, notamment de concentration. Ladite sonde de mesure permet de mesurer la concentration de boue dans le mélange. La sonde de mesure 161 est immergée dans le mélange comme illustré. Elle peut être à une profondeur d'immersion fixe ou variable selon le type de sonde choisi. Ou comme dit plus haut, il peut y avoir plusieurs sondes de mesure sur la hauteur de l'enceinte. La sonde de mesure 161 est reliée aux moyens de sélection 162, qui permettent de vérifier si la mesure correspond à des boues à extraire ou non, et aux moyens de déduction 163 qui permettent de relier la mesure au niveau correspondant. Ces moyens de détermination 16 sont reliés à des moyens d'extraction 19 des boues, plus particulièrement aux moyens de variation 192 du niveau d'extraction, principalement pour sélectionner le niveau d'extraction. Les moyens de variations 192 font varier le niveau de l'ouverture 191a de l'extracteur 191, ou on peut extraire sélectivement à des niveaux fixes d'extraction et à des instants variables selon l'évolution du contenu, par exemple pendant l'étape de décantation, l'attente, alimentation/reprise, anaérobie, suivant la mesure du voile de boue, voire de manière non-sélective pendant l'étape d'aération.

[0065] Par exemple et de manière non-limitative, les moyens de mesure 161 des moyens de détermination 16 comprennent un capteur à ultrasons immergé en dessous de la surface du mélange eaux résiduaires-boues. Le capteur à ultrasons permet d'envoyer une onde ultrasonore dans ledit mélange (il fonctionne alors comme émetteur) puis à recevoir une onde ultrasonore en retour après avoir parcouru une distance donnée dans le mélange eaux résiduaires-boues (il fonctionne alors comme récepteur). Le capteur est relié aux moyens de sélection 162 et aux moyens de déduction 163.

[0066] La figure 2 représente un organigramme des étapes du procédé de traitement d'un effluent d'eaux résiduaires selon l'invention. Le procédé de traitement selon l'invention comprend :

- une étape 101 d'alimentation du SBR 10, au cours de laquelle on introduit un volume d'effluent à traiter 20 près du fond de l'enceinte 11, dans le lit de boues 13, de préférence par un réseau de distribution 21 couvrant le fond de l'enceinte 11, afin de mélanger l'eau résiduaire à traiter avec les boues du lit de boues,

- une séquence réactionnelle 102 comprenant :
 - o au moins une première étape 103 anaérobie, lors de laquelle les PAO 14 captent la pollution carbonée et relarguent des composés phosphorés,
 - o optionnellement, une deuxième étape 104, en anoxie, de (pré)-dénitrification, cette étape étant avantageusement mise en œuvre en cas d'une concentration de NOx supérieure à un seuil prédéterminé,
 - o une troisième étape 105 d'aération, permettant d'effectuer la déphosphatation de l'effluent par les PAO 14, l'aération étant contrôlée de manière à effectuer simultanément soit une nitrification (partielle ou totale), soit une nitrification (partielle ou totale),
- une étape 106 de décantation, au cours de laquelle des boues se déposent au fond de l'enceinte 11 et le contenu de l'enceinte 11 se clarifie à proximité de sa surface 24,
- une étape 107 de reprise, au cours de laquelle on évacue une fraction clarifiée 22 du contenu de l'enceinte, lesdites étapes de reprise 107 et d'alimentation 101 ayant lieu simultanément, de manière à maintenir le niveau du contenu de l'enceinte 11 sensiblement constant lors des étapes de reprise 107 et d'alimentation 101, et
- une étape 108 d'extraction d'au moins une partie des boues 23 légères à un niveau prédéfini entre le niveau d'extraction minimum 17 et le niveau d'extraction maximum 18, préférentiellement à proximité du voile de boue 15.

[0067] Typiquement, l'étape 101 d'alimentation est réalisée en conditions anaérobies, ou bien anoxie. Dans ce dernier cas, l'étape 101 en anoxie permet de dénitrifier ou de dénitrer. L'étape 103 anaérobie est réalisée en anaérobie, l'étape 105 d'aération est réalisée en aérobie. De préférence, l'étape 106 de décantation est réalisée au moins partiellement en anoxie.

[0068] La deuxième étape 104 peut être liée à une étape 117 de mesure de la concentration de NOx dans l'enceinte.

[0069] Le procédé de traitement selon l'invention peut en outre comprendre optionnellement une quatrième étape 111 anoxie de dénitrification ou de dénitrification ou de déammonification. Plus spécifiquement, on envisagera essentiellement trois variantes : selon la première variante, la troisième étape 105 comprend une

nitrification totale ou partielle, et l'étape 111 anoxie est une dénitrification (procédé de post-dénitrification) ; selon une deuxième variante, la troisième étape 105 comprend une nitrification totale ou partielle, et l'étape 111 anoxie est une dénitrification (procédé de post-dénitrification) ; enfin, selon une troisième variante, la troisième étape 105 comprend une nitrification partielle, et l'étape 111 anoxie est une déammonification (procédé dit « ANAMMOX »). La quatrième étape 111 peut être liée à une étape 117bis de mesure de la concentration de NO_x dans l'enceinte.

[0070] L'étape 101 d'alimentation à travers le lit de boues permet une mise en contact des boues avec l'eau brute à traiter. Le volume d'eau résiduaire à traiter 20 est introduit à travers le lit de boues où se trouvent les PAO. Ainsi, les particules et la fraction soluble du volume introduit sont rendues accessibles aux bactéries. Grâce à l'étape 103 anaérobie, les PAO captent la pollution carbonée et relarguent des composés phosphatés. L'étape 105 d'aération permet la déphosphatation du contenu de l'enceinte par les PAO. La séquence réactionnelle 102 contribue au développement des PAO qui présentent une bonne décantabilité. Lors de l'étape 106 de décantation, les boues se déposent par gravité dans le fond de l'enceinte. Les boues lourdes et les PAO se déposent plus rapidement que les boues légères. Ils contribuent au lit de boues. Les boues légères présentent une moins bonne décantabilité. Elles restent plus longtemps en suspension dans le contenu de l'enceinte, au-dessus du lit de boue.

[0071] L'étape 108 d'extraction d'au moins une partie des boues légères permet d'extraire régulièrement ou à tout le moins à des moments prédéterminés, par exemple à chaque cycle, les boues les moins décantables. Toutefois, l'extraction n'a pas nécessairement lieu à chaque cycle selon les contraintes d'exploitation. Par exemple, il est possible de ne pas procéder à l'extraction les jours de week-end. De ce fait, seules les boues présentant une bonne décantabilité sont conservées dans l'enceinte du SBR. En plus de traiter la pollution présente dans l'effluent introduit, la combinaison de l'action des PAO produisant des boues plus denses et l'extraction des boues légères densifie les boues présentes dans l'enceinte. Il en résulte que le procédé de l'invention, procédé dit de boues densifiées, permet d'obtenir des vitesses de décantation des boues élevées, quelle que soit la nature des boues présentes dans l'enceinte du SBR.

[0072] Pendant la séquence réactionnelle 102, lorsque celle-ci comprend une deuxième étape 104, on peut avoir une étape 110 d'injection d'air dans l'enceinte 11. L'injection d'air dans l'enceinte avant l'étape 104 permet la mise en suspension de la biomasse pour un meilleur mélange avec le surnageant riche en azote oxydé (nitrate NO_3 et nitrite NO_2), ce qui améliore le rendement de la dénitrification de l'étape d'alimentation 104, et également le rendement de la première étape anaérobie 103. On peut noter que cette étape 110 est optionnelle, si la deuxième étape 104 optionnelle est activée, suivant la mesure de concentration de NO_x .

[0073] L'étape 106 de décantation peut être précédée d'une étape 112 d'injection d'air dans l'enceinte 11. L'injection d'air dans l'enceinte avant l'étape de décantation permet de réaliser une homogénéisation du contenu de l'enceinte et mise en contact des boues avec les espèces azotées oxydées. En outre, l'injection d'air permet aussi de dégazer le diazote présent dans le contenu du réacteur.

[0074] En outre, le procédé de traitement selon l'invention peut comprendre une étape 113 de densification des boues par un dispositif de densification 30 à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enceinte 11, de préférence à l'intérieur. Le dispositif de densification 30 peut être un tamis de taille adéquat en aval ou en amont des moyens d'extraction des boues afin de retenir les floccs les plus gros et d'améliorer ainsi la sélection, c'est-à-dire leur maintien dans l'enceinte, des particules décantant le plus facilement. Alternativement ou en complément, l'étape de densification des boues peut consister à ajouter des lestants (tels que des zéolithes).

[0075] Avantagusement, le procédé de traitement selon l'invention comprend une étape 114 d'asservissement de la durée de la troisième étape 105 d'aération en fonction du niveau de pollution de l'effluent d'eaux résiduaires 20, notamment en fonction de la concentration en NH_4 et/ou des NO_2^- et/ou des NO_3^- du contenu de l'enceinte. Plus précisément, c'est la pollution de l'eau brute qui est mesurée indirectement dès que le contenu de l'enceinte est aéré au moins une fois.

[0076] La figure 3 représente schématiquement les étapes du procédé de traitement d'un effluent d'eaux résiduaires selon l'invention. Pendant les étapes 101 d'alimentation du SBR en effluent à traiter et 107 de reprise d'une fraction clarifiée du contenu de l'enceinte, l'enceinte est remplie avec de l'eau résiduaire 20 et forme un mélange 12 et la pollution subit un traitement biologique. Pendant cette phase, l'eau

résiduaire est introduite dans l'enceinte. Le niveau de liquide dans l'enceinte est maintenu constant en ouvrant une vanne d'eau traitée (fraction clarifiée) par exemple. Autrement dit, la récupération de l'eau traitée se fait en même temps que l'alimentation en eau brute (eau résiduaire). Le débit d'eau traitée est toujours le même que le débit d'alimentation.

[0077] A ce stade, la dénitrification (dénitrification exogène en condition anoxie dans le fond du lit de boue et dénitrification endogène en condition anoxie au niveau supérieur de l'enceinte) et le processus de bio-déphosphatation commencent. Le traitement biologique de l'effluent a lieu principalement pendant la séquence réactionnelle 102 :

- Le carbone est éliminé et l'azote ammoniacal subit une nitrification pendant l'étape 105 d'aération ;
- Le phosphore est relargué lors de l'étape anaérobie 103, et réabsorbé lors de l'étape 105 d'aération ;
- La dénitrification a lieu pendant des périodes anoxiques spécifiques. Si la durée de sédimentation et d'alimentation n'est pas suffisante, il y a une période de pré-dénitrification (dénitrification exogène en conditions anoxiques) et/ou une période de post-dénitrification (dénitrification endogène).

[0078] Ensuite a lieu l'étape 106 de décantation. C'est au cours de cette étape que l'eau traitée est séparée des boues par sédimentation statique uniquement. Une certaine activité biologique a lieu lorsque le liquide subit une dénitrification endogène au contact de la couche de boue. Pendant cette étape, ne sont pas autorisées les étapes 101 d'alimentation et 107 de reprise dans l'enceinte. Le contenu de l'enceinte est au repos pour permettre la décantation des boues. A la fin de l'étape 106 de décantation, les boues présentant une bonne décantabilité (les boues lourdes) se retrouvent dans le fond de l'enceinte, et les boues à mauvaise décantabilité (les boues légères) se retrouvent en suspension dans le contenu de l'enceinte, entre le fond de l'enceinte et le voile de boue. La fraction clarifiée se situe dans la partie supérieure de l'enceinte, à proximité de sa surface 24. A la fin de l'étape 106 de décantation, les boues biologiques excédentaires peuvent être extraites pour maintenir l'âge des boues nécessaire à la nitrification et/ou la nitrification en fonction de la température, qui peut être mesurée lors d'une étape 118 de mesure de

température. Alternativement, les boues biologiques excédentaires peuvent être extraites sélectivement pendant l'étape de décantation 106, et/ou pendant l'étape d'alimentation 101 et l'étape de reprise 107, et/ou pendant l'étape anaérobie 103 et/ou attente 116. Les boues peuvent être extraites non sélectivement pendant l'étape d'aération 105.

[0079] L'étape 108 d'extraction d'au moins une partie des boues 23 légères est réalisée à un niveau prédéfini entre le niveau d'extraction minimum 17 et le niveau d'extraction maximum 18, préférentiellement à proximité du voile de boue 15. En effet, c'est au niveau du voile de boue que se trouvent les boues légères. Le niveau prédéfini d'extraction des boues légères n'est pas nécessairement un niveau fixe dans le temps. Ce niveau est amené à évoluer selon le traitement biologique et le débit d'eaux résiduaires introduites dans l'enceinte du SBR. Les moyens d'extraction 19 permettent l'extraction à n'importe quel niveau. L'extraction des boues légères peut ainsi se faire à des niveaux variables au cours de cycles du procédé de traitement. D'un point de vue pratique, il est possible de définir plusieurs niveaux fixes d'extraction, par exemple trois. Et selon la mesure de la concentration et/ou la densité de boues à différents niveaux du mélange eaux résiduaires-boues dans l'enceinte et/ou de la mesure de voile de boue, il peut être choisi auquel parmi les trois niveaux l'extraction se fait. Pour ce faire, le procédé selon l'invention peut comprendre une étape 109 de mesure du voile de boue 15, et l'étape 108 d'extraction d'au moins une partie des boues légères est réalisée lorsque la mesure du voile de boue 15 est sensiblement égale à une distance prédéfinie du niveau d'extraction des boues.

[0080] Le niveau du lit de boue pouvant varier dans le temps, des niveaux d'extraction des boues sont avantageusement installés dans la hauteur de l'enceinte entre le bas et le milieu de la hauteur pour les boues lourdes et entre deux niveaux sur la hauteur de l'enceinte pour les boues légères. Par exemple, un niveau d'extraction peut être situé à 50 cm au-dessus du fond de l'enceinte pour éliminer les boues trop vieilles (minéralisées), les autres points d'extraction pouvant être situés sur la hauteur de l'enceinte. Sur la figure 3, les flèches représentées en gras indiquent les entrées/sorties ouvertes permettant l'écoulement du flux correspondant selon la phase du procédé.

[0081] La figure 4 représente schématiquement un réacteur batch séquencé 10 mis en œuvre selon le procédé de l'invention. Les différentes phases présentées ci-dessus ont lieu dans la même enceinte et sont séparées dans le temps. Par conséquent, l'étape 101 d'alimentation en effluent de l'enceinte est gérée de manière intermittente. Toutefois, afin d'assurer un traitement continu des effluents, plusieurs enceintes fonctionnent en parallèle et sont alimentées en alternance. Le principe de l'invention s'applique similairement à plusieurs enceintes.

[0082] Pendant l'étape 101 d'alimentation, l'eau brute est distribuée au fond de l'enceinte, par exemple à travers un réseau 21 de canalisations perforées. Après l'étape 106 de décantation, et en même temps que l'étape 101 d'alimentation, l'eau clarifiée surnageante est soutirée en partie haute de l'enceinte à l'aide par exemple d'un réseau de canalisations perforées de récupération. Des moyens de reprise de la fraction clarifiée particulièrement avantageux sont décrits ci-dessous.

[0083] Les boues légères peuvent être extraites sélectivement au cours de l'étape 106 de décantation et/ou pendant l'étape 101 d'alimentation et 107 de reprise et/ou pendant la première étape 103 anaérobie juste au niveau du voile de boue pour effectuer l'élimination des particules de boues les plus légères.

[0084] Une extraction des boues non sélective (notamment lourdes mais aussi légères) est aussi envisageable pendant l'étape d'aération 105 et/ou pendant l'étape 110 et/ou pendant l'étape 112, lorsque le contenu 12 est homogène.

[0085] Les figures 5A, 5B, 5C, 5D illustrent la sélection de la population bactérienne en fonction de la séquence réactionnelle par des mesures effectuées lors du procédé de traitement selon l'invention.

[0086] L'alimentation en eau brute (carbone facilement biodégradable) à travers le lit de boues suivie d'une séquence anaérobie stricte puis d'une séquence aérobie entraîne la sélection de bactéries déphosphatantes (les PAO) capables d'accumuler des phosphates sous forme de granules de polyphosphates intracellulaires.

[0087] La figure 5A représente le relargage (anaérobie) suivi de la réabsorption du P-PO₄ en période d'aération (aérobie). La courbe référencée 40 met bien en évidence le fonctionnement de la déphosphatation biologique avec un relargage important de P-PO₄ dès que le réacteur est en condition anaérobie. Nous observons une croissance de la courbe suivie d'une décroissance dès que l'aération fonctionne,

décroissance qui correspond à la réabsorption du P-PO₄ relargué et de celui apporté par l'eau brute. Cela correspond à la suraccumulation biologique du phosphore.

[0088] La figure 5B représente la nitrification (décroissance de la courbe NH₄ et croissance de la courbe NO_x), avec la dénitrification endogène (première partie de la décroissance de la courbe NO_x) et la dénitrification exogène (deuxième partie de la décroissance de la courbe NO_x après alimentation). La courbe met bien en évidence l'intérêt de la dénitrification exogène pour l'intensification de la réaction de dénitrification par rapport à la dénitrification endogène avec une pente beaucoup plus pentue et donc une cinétique plus élevée après l'alimentation riche en carbone facilement biodégradable. Cette population bactérienne ainsi que les PAO génèrent des exopolymères qui ont tendance naturellement à densifier les floccs. Ces floccs denses ne sont pas des boues granulaires, la vitesse de décantation de ces boues se situe entre 2 à 10 m/h, préférentiellement entre 3 et 6 m/h et leur Indice de Mohlman (ou indice de boues) autour de 65 mL/g. Une boue granulaire possède des particules (ou granules) de taille toujours supérieure à 200 micromètres alors qu'ici les boues densifiées peuvent contenir une proportion de particules de taille inférieure à 200 micromètres.

[0089] Pour augmenter encore la fraction de floccs denses dans les boues, le procédé de traitement selon l'invention applique une stratégie d'extraction des boues qui permet d'éliminer les boues les plus légères. Il en résulte une vitesse de décantation plus rapide car seules les boues à bonne décantabilité restent dans l'enceinte.

[0090] Le procédé selon l'invention peut aussi comprendre une phase d'attente 116 couplée aux étapes d'alimentation, de décantation ou d'anaérobie.

[0091] En considérant que les boues légères se retrouvent en haut du lit de boues notamment en fin d'étape 106 de décantation et/ou pendant l'étape d'attente 116, et/ou pendant l'étape d'alimentation 101 et/ou pendant l'étape de reprise 107 et/ou pendant la première étape 103 anaérobie (les plus lourdes sont tombées au fond dès le début de la décantation), on extrait les boues au niveau du voile de boue (ou légèrement en dessous) en fin de décantation 106, et/ou pendant l'étape d'attente 116 et/ou pendant l'alimentation 101 et/ou pendant l'étape de reprise 107 et/ou pendant la première étape 103 anaérobie.

[0092] On peut aussi extraire les boues légères dès le début de la décantation mais à un niveau plus élevé dans le réacteur. Il est également possible de réaliser cette extraction en fin d'aération, à n'importe quel niveau de l'enceinte puisque le contenu est homogène sur toute la hauteur de l'enceinte et présente donc des boues légères. Il peut également être envisagé d'extraire les boues légères en tout début d'alimentation ou pendant l'alimentation car les boues légères sont les premières à remonter, ou pendant la séquence réactionnelle anaérobie.

[0093] Le procédé de l'invention repose sur le choix combinant le moment de l'extraction des boues légères et la hauteur à laquelle cette extraction est réalisée. La hauteur choisie est aussi en lien avec l'âge de boues que l'on souhaite maintenir au sein du réacteur par la durée et le débit d'extraction. L'âge de boue cible peut être déterminé à partir d'une mesure de la température du mélange eau/boues dans le réacteur.

[0094] Le procédé de traitement selon l'invention peut comprendre en outre une étape 109 de mesure du voile de boue 15, et l'étape 108 d'extraction d'au moins une partie des boues légères est réalisée lorsque la mesure du voile de boue 15 est sensiblement égale à une distance prédéfinie du niveau d'extraction des boues. La stratégie d'extraction des boues légères est améliorée par la mesure du voile de boue pour déclencher l'extraction des boues légères à un niveau donné, lorsque le niveau du voile de boue se situe à une distance prédéfinie du niveau d'extraction des boues, que ce niveau soit atteint durant l'étape de décantation ou durant l'étape d'alimentation ou pendant la séquence réactionnelle anaérobie. Grâce à cette mesure, et éventuellement celle de la température du mélange eau/boues dans le réacteur, on peut aussi tenir compte de la vitesse instantanée de chute (ou vitesse résiduelle en alimentation) et de la durée nécessaire à l'extraction pour parfaire ce mode d'extraction auto-optimisé, intégrant de préférence la notion d'âge de boue dynamique. En procédant de la sorte, l'extraction des boues permet d'éliminer à chaque séquence les boues les plus légères qui se trouvent légèrement au-dessus du voile de boue, sur sa partie haute plus précisément, en calibrant de façon adéquate la sonde de voile de boues.

[0095] Le procédé de l'invention permet de tenir compte des variations journalières de débit auquel l'enceinte peut être soumise. En période de nuit, le débit d'alimentation est faible, l'écart entre la vitesse d'alimentation et la vitesse de

décantation est important, le voile de boue se rapproche rapidement du point d'extraction. A l'inverse, lors des pics hydrauliques quotidiens, l'écart entre la vitesse d'alimentation et la vitesse de décantation est faible, la descente du voile de boue est freinée. L'asservissement du moment et de la durée de l'extraction à la mesure de voile de boues permet de s'assurer d'extraire à un niveau donné toujours les boues les plus légères en modifiant le moment d'extraction de cycle en cycle.

[0096] La combinaison des étapes d'alimentation et reprise, de la séquence réactionnelle et de l'étape de décantation avec l'étape d'extraction des boues légères entraîne l'obtention d'une boue plus dense que celle d'une boue activée conventionnelle. Le résultat est l'obtention de façon très stable d'une boue ayant une vitesse de décantation supérieure à 2 m/h et inférieure à 10 m/h, de l'ordre de 3 m/h à 6 m/h et un indice de Mohlman voisin de 65 mL/g (+/- 10 mL/g). Le procédé de l'invention repose sur cette combinaison qui permet d'obtenir une boue densifiée mais non granulaire.

[0097] La figure 5C illustre la stabilité de l'indice de boue au cours d'essais pilote à une valeur inférieure à 75 mL/g attestant de boues densifiées avec une bonne décantabilité. Les résultats sont représentés pour une période de 91 jours (axe des abscisses).

[0098] L'intérêt de cette densification est bien de pouvoir gérer de façon simultanée et sécuritaire deux flux opposés, l'alimentation en eau brute et la décantation de la boue, sans entrainer de la boue dans l'eau traitée tout en appliquant des vitesses d'alimentation en eau brute supérieures à 2 m/h.

[0099] L'expérimentation à différentes vitesses d'alimentation (inférieures à 4 m/h) montre que lors de l'alimentation, la vitesse de décantation est freinée mais que la décantation continue de se faire pendant l'alimentation en eau brute.

[0100] La figure 5D représente le voile de boues avec une alimentation à 17 m³/h soit 2.266 m/h. La courbe supérieure montre en partie décroissante l'abaissement du voile de boue dans la phase notée (*) au cours de la décantation et dans la phase notée (#) au cours de l'alimentation. Sur le graphique, on voit que la vitesse de décantation est bien supérieure à la vitesse d'alimentation et que le voile de boues continue à s'abaisser pendant l'alimentation.

[0101] Alors que la durée des différentes séquences d'un réacteur du type SBR est généralement fixe, le procédé selon l'invention permet également d'adapter grâce à la mise en place de capteurs et de sondes adéquates la durée de la séquence réactionnelle 102 en temps réel pour tenir compte des variations de concentration de la pollution et de débit hydraulique en fonction soit de l'heure dans la journée (pointe de charge) soit pour tenir compte de la dilution de l'effluent liée aux temps de pluie. En outre, une synchronisation des cycles par la mise en place d'une phase d'attente pourra être mise en place.

[0102] Notamment la mise en place d'une mesure de NH_4 , complétée ou non par une mesure de NO_x (notamment NO_2), dans le réacteur peut permettre de suivre son évolution au cours de la phase aérée de nitrification et de l'arrêter dès l'atteinte d'une valeur prédéfinie.

[0103] L'intérêt est de pouvoir réduire la période d'aération lorsque l'eau est diluée (période de nuit ou de pointe hydraulique de temps de pluie). La réduction de la durée de la période d'aération permet également l'optimisation de la consommation énergétique, et de réaliser plus de cycles par jour donc de traiter plus de pollution par rapport à un fonctionnement avec une période d'aération fixe. A l'inverse, lors des pics de pollution, la durée de la phase d'aération sera augmentée, tout en étant plus longue sur les pointes de charges que lors des faibles charges, pour permettre la transformation du NH_4 jusqu'à la valeur définie et sécuriser ainsi l'obtention des performances en cas de pics de concentration en NH_4 .

[0104] Enfin, le procédé de traitement selon l'invention peut comprendre une étape 117 de mesure de la concentration de NO_x dans l'enceinte afin de s'assurer que cette valeur est suffisamment basse avant de passer à l'étape d'alimentation et reprise pour permettre le relargage du phosphore en anaérobie par les bactéries déphosphatantes et s'assurer ainsi du bon fonctionnement de la déphosphatation biologique. Cette mesure sera alors effectuée à l'issue de l'étape 106, ou de préférence à l'issue de l'étape 105. Si la concentration de NO_x mesurée est encore trop élevée, on pourra effectuer une étape supplémentaire de traitement de l'azote pour atteindre le seuil de concentration en NO_x souhaité.

[0105] La durée totale d'un cycle et la durée d'alimentation sont généralement fixes afin de pouvoir gérer une alimentation en continue sur plusieurs enceintes. La durée

d'alimentation est également fixe, la durée totale du cycle étant généralement de quatre fois la durée d'alimentation. Cela veut dire que la somme de la durée de la séquence réactionnelle et de la durée de décantation est de trois fois la durée d'alimentation. Néanmoins, le procédé de l'invention s'applique aussi à une durée de cycle variable.

[0106] La méthode de l'invention permet ainsi une grande flexibilité. Il est notamment possible d'adapter la durée des étapes, notamment l'étape de décantation, l'étape d'alimentation et de reprise, et de l'étape anoxie, en fonction du régime hydraulique et de la charge à traiter.

[0107] L'invention concerne aussi une installation de traitement d'un effluent d'eaux résiduelles comprenant une pollution carbonée, une pollution azotée et une pollution phosphorée. L'installation comprend un réacteur batch séquencé, (SBR), ledit SBR 10 comprenant :

- une enceinte apte à contenir un mélange 12 eaux résiduelles-boues comprenant différents niveaux, chaque niveau étant défini par une concentration et/ou une densité de boues,
- un lit de boue 13, comprenant des PAO 14, situé au fond de l'enceinte, au-dessus duquel est défini un niveau de voile de boue 15,
- des moyens 16 de détermination d'un niveau minimum 17 et d'un niveau maximum 18 d'extraction des boues dans l'enceinte,
- des moyens d'extraction 19 aptes à extraire au moins une partie des boues 23 légères à un niveau prédéfini entre le niveau d'extraction minimum et le niveau d'extraction maximum,
- un dispositif d'alimentation du SBR par un volume d'effluent à traiter près du fond de l'enceinte, dans le lit de boues, de préférence par un réseau de distribution couvrant le fond de l'enceinte, préférentiellement à proximité du voile de boue,
- un dispositif de reprise d'une fraction clarifiée du contenu de l'enceinte,
- des moyens d'aération de l'enceinte.

[0108] L'installation est agencée et équipée pour la mise en œuvre du procédé de traitement décrit précédemment.

[0109] Dans la présente invention, le terme « reprise » est employé comme synonyme du terme « vidange », et vise essentiellement à indiquer l'évacuation de l'eau traitée de l'enceinte.

[0110] La figure 6 représente schématiquement l'enceinte du SBR et un mode de réalisation des moyens de reprise pendant les étapes d'alimentation et de reprise, et la figure 7 représente schématiquement l'enceinte du SBR et des moyens de reprise pendant l'étape de décantation. Dans ce qui suit, le terme reprise/reprendre est à comprendre comme évacuation/évacuer et/ou vidange/vidanger. L'aération du contenu de l'enceinte se fait avec de l'air 8 par un réseau de distribution 27, préférentiellement couvrant le fond de l'enceinte 11. Dans ce mode de réalisation de l'invention, les moyens de reprise 200 de la fraction clarifiée du contenu 12 de l'enceinte 11 comprennent :

- un conduit de reprise 201 s'étendant en-dessous de la surface 24 du contenu 12 de l'enceinte 11, entre l'intérieur 25 et l'extérieur 26 de l'enceinte, comprenant :
 - o au moins un canal 202 reliant hydrauliquement le contenu 12 de l'enceinte 11 et le conduit de reprise 201,
 - o un orifice de reprise 203 par lequel la fraction clarifiée du contenu 12 de l'enceinte 11 est destinée à être évacuée,
 - o un conduit d'air 204 reliant hydrauliquement ou aérauliquement le conduit de reprise 201 avec l'atmosphère,
- une vanne d'échappement 205 d'air sur le conduit d'air 204, apte à prendre une position ouverte ou une position fermée, par laquelle l'air bloqué dans le conduit de reprise peut être évacué à l'atmosphère,
- un dispositif de blocage air/eau 216 sur le conduit de reprise 201, apte à bloquer l'air dans le conduit de reprise 201 en amont du dispositif de blocage air/eau 216 et apte à bloquer l'eau en aval du dispositif de blocage air/eau 216,
- un injecteur d'air 207 relié au conduit de reprise 201 et destiné à alimenter le conduit de reprise 201 en air surpressé et/ou compressé.

[0111] Les moyens de reprise 200 peuvent comprendre un injecteur d'air 207 (disposant avantageusement d'un clapet anti-retour) relié au conduit d'air 204 entre

la vanne d'échappement 205 et le dispositif de blocage air/eau 216 et destiné à alimenter le conduit de reprise 201 en air surpressé/compressé.

[0112] Le dispositif de blocage air/eau 216 peut être une vanne, préférentiellement motorisée, pouvant prendre la position ouverte ou fermée ou un siphon en U pouvant être amorcé ou désamorcé. Dans la suite, le dispositif de blocage air/eau 216 est dit ouvert si la vanne est en position ouverte ou le siphon amorcé, et est dit fermé si la vanne est fermée ou le siphon désamorcé.

[0113] Les moyens de reprise 200 peuvent comprendre un injecteur d'air 207 relié au conduit d'air 204 entre la vanne d'échappement 205 et le dispositif de blocage air/eau 216 et être destiné à alimenter le conduit de reprise 201 en air surpressé/compressé. L'air permettant le blocage du conduit de reprise peut alternativement provenir de la source d'air utilisée dans le procédé de traitement. Plus précisément, l'injecteur d'air 207 peut être dédié au blocage d'air/eau. Dans ce cas, il comprend un clapet anti-retour. L'injecteur d'air 207 peut aussi être non dédié au blocage d'air/eau, c'est-à-dire que l'injecteur d'air peut provenir de l'alimentation en air de l'enceinte. Dans ce cas, les moyens de reprise 200 comprennent en outre une vanne de blocage 206 pour assurer la fonction de blocage. L'injecteur d'air 207 n'est pas forcément relié au conduit d'air 204 mais il est systématiquement relié au conduit de reprise 101 pour le bloquer en air/eau.

[0114] L'injecteur d'air 207 peut fonctionner de manière intermittente pendant l'étape d'aération 105 ou de manière continue.

[0115] La vanne d'échappement 205 correspond à une vanne de mise à l'atmosphère.

[0116] Les moyens de pilotage 210 des moyens de reprise 200 visent à remplir d'air le conduit de reprise 201 jusqu'à ce que le conduit de reprise 201 se vide complètement de la fraction clarifiée contenue dans le conduit de reprise 201, à maintenir le conduit de reprise 201 rempli d'air pendant l'étape 105 d'aération et pendant l'étape 106 de décantation, et à évacuer l'air contenu dans le conduit de reprise 201 par de la fraction clarifiée 22 pendant l'étape d'alimentation 101 et l'étape 107 de reprise. Plus précisément, les moyens de pilotage 210 sont configurés pour actionner la vanne 205 et le dispositif de blocage 216 selon les besoins afin que le conduit de reprise se vide de la fraction clarifiée présente dans le conduit de reprise

201 et maintiennent le conduit de reprise 201 rempli d'air pendant la phase d'aération et la phase de décantation. L'air peut être approvisionné en continu. Il peut aussi provenir d'une source d'air externe, c'est-à-dire non dédiée au blocage d'air/eau, et prévu pour l'aération de l'enceinte. Dans le cas d'une source d'air externe, une vanne d'isolement 206 est nécessaire. Dans le cas où les moyens de reprise 200 comprennent un injecteur d'air 207 dédié au blocage d'air/eau, celui-ci peut injecter de l'air surpressé et/ou comprimé dans le conduit de reprise 201. A noter que cet injecteur d'air dédié 207 dispose d'un clapet anti-retour (non représenté sur les figures). Autrement dit, le conduit de reprise 201 est alors bloqué en air : il est rempli d'air qui ne peut alors pas s'évacuer du fait de la fermeture du dispositif de blocage air/eau 216 et de la vanne d'échappement 205. Pendant la phase d'aération, le niveau du contenu de l'enceinte augmente du fait de l'introduction d'air dans l'enceinte et le niveau du contenu s'élève. Le niveau du contenu de l'enceinte monte. Mais le conduit de reprise étant rempli d'air, ce contenu ne peut pénétrer dans le conduit. Ceci a pour avantages d'éviter une perte en boues du système (la présence de boues étant importante pour densifier), et d'éviter la contamination du conduit de reprise et de l'eau clarifiée sortant de l'orifice 203 (cela est important vis-à-vis du traitement tertiaire qu'il faudrait mettre en œuvre en aval, et/ou vis-à-vis des normes de rejet), les canaux 202 permettent de compenser la rétention gazeuse élevant le niveau d'eau du réacteur en aération, ils compensent aussi une horizontalité imparfaite de la tuyauterie.

[0117] Le contenu s'élève dans les canaux 202 dans le cas d'une injection d'air discontinue, mais ne peut entrer dans le conduit de reprise 201. Cette configuration garantit, grâce au pilotage des moyens de reprise, de ne faire entrer uniquement de la fraction clarifiée dans le conduit de reprise, sans aucun risque que du contenu contenant des boues n'y pénètre.

[0118] Il est important de souligner que le conduit de reprise s'étend au-dessous de la surface 24 du contenu de l'enceinte. Il est donc immergé en permanence dans le contenu de l'enceinte. Les canaux 202, qui sont des tubes avec orifice d'entrée sont en permanence immergés et sont remplis avec le contenu de l'enceinte (en eau clarifiée (pendant l'alimentation/reprise et l'anaérobie) ou en air (étape de réaction dont étape aération, et étape de décantation). En d'autres termes, le contenu des canaux varie selon la séquence en cours. Les canaux 202 ont un double rôle : ils

forment un accès à la fraction clarifiée vers le conduit de reprise 201 lors de l'étape d'alimentation/reprise, et ils forment un volume tampon, sans accès au conduit de reprise 201, qui contient le contenu de l'enceinte lorsque le niveau du contenu de l'enceinte augmente du fait de l'aération. Le passage du rôle d'accès vers le conduit de reprise à celui de volume tampon se fait selon l'avancement du procédé de traitement, grâce à l'injection/échappement d'air surpressé et/ou compressé et l'ouverture/fermeture du dispositif de blocage et de la vanne d'échappement. L'injection/échappement d'air surpressé et/ou compressé et l'ouverture/fermeture du dispositif de blocage et de la vanne d'échappement sont contrôlés par les moyens de pilotage 210 des moyens de reprise 200.

[0119] Dans un mode de réalisation, le dispositif de blocage air/eau 216 comprend un siphon 208 en forme de U entre le conduit d'air 204 et l'orifice de reprise 203. Lorsque l'injection d'air a lieu, l'eau clarifiée contenue dans le siphon et dans le conduit de reprise est remplacée par de l'air jusqu'à une hauteur équivalente à l'extrémités du ou des canaux. Par ce moyen, le siphon vise à déconnecter hydrauliquement le contenu de l'enceinte de l'eau clarifiée en dehors de l'enceinte, il est ainsi désamorcé. En prolongeant la hauteur du siphon, il est aussi possible de compenser l'élévation du niveau de la surface 24 lors de l'étape d'aération. La présence d'un siphon n'est pas obligatoire et d'autres modes de réalisation sont possibles et seront présentés ci-dessous. Le siphon peut être associé à une vanne de blocage 206 qui est également pilotée par les moyens de pilotage 210 si l'air pour remplir le conduit de reprise provient de l'air pour le traitement (injecteur d'air 207 non dédié au blocage en air). L'orifice de reprise 203 est l'orifice par lequel l'eau traitée est évacuée.

[0120] L'orifice de reprise 203 est avantageusement positionné au-dessus du niveau du conduit de reprise 201. Et avantageusement, le conduit de reprise 201 comprend un conduit d'échappement 211 d'air. Là encore, d'autres modes de réalisation sont possibles et seront présentés ci-dessous.

[0121] Avec ce mode de réalisation des moyens de reprise, le procédé de l'invention comprend, suite à l'étape 106 de décantation, au cours de laquelle des boues se déposent au fond de l'enceinte 11 et le contenu de l'enceinte 11 se clarifie à proximité de sa surface 24, une étape 107 de reprise de la fraction clarifiée 22 du contenu de l'enceinte 11, lesdites étapes de reprise 107 et d'alimentation 101 ayant

lieu simultanément, de manière à maintenir le niveau du contenu de l'enceinte 11 sensiblement constant lors des étapes de reprise 107 et d'alimentation 101.

[0122] Le procédé de traitement selon l'invention peut aussi comprendre une phase d'attente 116 couplée aux étapes d'alimentation, de décantation ou d'anaérobie.

[0123] Selon l'invention, le procédé de traitement comprend :

- une étape 120 de pilotage des moyens de reprise 200 au cours de laquelle le conduit de reprise 201 est rempli d'air jusqu'à ce que le conduit de reprise 201 se vide complètement de la fraction clarifiée 22 contenue dans le conduit de reprise 201, et le conduit de reprise 201 est maintenu rempli d'air pendant la séquence réactionnelle 102 et préférentiellement aussi pendant l'étape 106 de décantation, et optionnellement d'attente, et
- une étape 123 d'expulsion de l'air contenu dans le conduit de reprise 201 par de la fraction clarifiée 22 pendant l'étape d'alimentation 101 et l'étape 107 de reprise.

[0124] Après l'étape 120 et avant l'étape 123, le procédé peut comprendre une étape 121 de remplissage, au moins partiel, du au moins un canal 202 par le contenu 12 de l'enceinte 11 pendant l'étape 105 d'aération, si l'injection d'air n'est pas continue pendant les étapes d'injection d'air.

[0125] En outre, le procédé de traitement comprend, entre l'étape 120 et l'étape 123, deux autres étapes de maintien du remplissage en air du conduit de reprise. Comme mentionné précédemment, l'étape 120 de remplissage en air du conduit de reprise 201 a lieu par injection d'air et vidange en eau clarifiée simultanément. La vanne 205 est fermée et le dispositif de blocage air/eau 216 est dit fermé, le dispositif d'injection d'air (l'injecteur d'air 207) est en fonctionnement, au début de la première étape d'aération 105.

[0126] Ensuite, le procédé comprend une étape 122 de maintien du remplissage en air du conduit de reprise 201 par injection d'air. La vanne 205 est fermée et le dispositif de blocage air/eau 216 est dit fermé, le dispositif d'injection d'air 207 est en fonctionnement, pendant l'étape d'aération 105.

[0127] Ensuite, le procédé comprend une étape 122bis de maintien du remplissage en air du conduit de reprise sans injection d'air. La vanne 205 est fermée et le

dispositif de blocage air/eau 216 est dit fermé, dispositif d'injection d'air 207 est à l'arrêt, pendant les étapes d'aération 105 et de décantation 106.

[0128] Ensuite vient l'étape 123 d'expulsion de l'air contenu dans le conduit de reprise et remplissage en eau clarifiée simultanément. La vanne 205 est ouverte et le dispositif de blocage 216 est dit ouvert, le dispositif d'injection d'air 207 est à l'arrêt, pendant les étapes d'alimentation 101, de reprise 107, anaérobie 103.

[0129] Et à la limite, si l'injection d'air n'est pas continue lors de l'étape 105 d'aération, notamment pour faire des économies d'énergie, une étape 121 de remplissage, au moins partiel, du au moins un canal 202 par le contenu 12 de l'enceinte 11 pendant l'étape 105 d'aération peut avoir lieu (mais cette étape n'est pas voulue en quelque sorte). Dans ce cas, il est possible de réinjecter de l'air pour remplir à nouveau le conduit de reprise 201, c'est l'étape 122. Ceci peut se réaliser de manière syncopée en réglant une fréquence et une durée d'injection d'air ou de manière plus fine en intégrant une sonde de mesure de niveau qui permet de détecter s'il y a lieu de réinjecter de l'air et de déclencher une étape 122 pendant l'étape d'aération 105.

[0130] Le conduit de reprise est maintenu rempli d'air pendant la séquence réactionnelle comprenant l'étape d'aération. Préférentiellement, il est aussi maintenu rempli d'air pendant l'étape de décantation. En effet, si le conduit de reprise n'était plus rempli d'air au début de la décantation, le voile de boue n'aurait pas suffisamment de temps pour descendre en dessous des orifices d'entrée des canaux 202, ce qui entrainerait la contamination du conduit de reprise par les boues.

[0131] La particularité de l'invention réside dans le positionnement du conduit de reprise 201 au-dessous de la surface 24 du contenu de l'enceinte, c'est-à-dire qu'il est toujours immergé. Pour autant, son contenu est contrôlé grâce à l'étape de pilotage (120, 122, 122bis, 123) des moyens de reprise 200 en fonction des étapes du procédé de traitement. Il en résulte que seule l'eau traitée peut pénétrer dans le conduit de reprise en vue d'être reprise. Le conduit de reprise est représenté sensiblement horizontal, c'est-à-dire parallèle à la surface 24 du contenu de l'enceinte, mais il pourrait également être incliné et s'étendre selon un axe sécant au plan dans lequel se trouve la surface 24. Le premier avantage est de ne pas limiter le volume de l'enceinte puisqu'il n'est pas nécessaire de réaliser un abaissement du plan d'eau en dessous du conduit de reprise pour éviter l'entrée d'eau non-traitée et

de boues pendant l'étape d'aération 105. Grâce au pilotage des moyens de reprise, le conduit de reprise est rempli d'air juste avant l'étape d'aération 105 du réacteur. Autrement dit, le conduit de reprise est rempli d'air, c'est-à-dire qu'il est bloqué en air et ainsi rendu inaccessible au contenu de l'enceinte pendant les phases où le contenu de l'enceinte à proximité du conduit n'est pas uniquement de l'eau traitée. Une autre particularité vient du canal (ou des canaux) 202 qui relie(nt) hydrauliquement le contenu de l'enceinte 11 au conduit de reprise 201. Ils sont représentés perpendiculairement à la surface 24, mais peuvent également être inclinés vers le bas. Le canal 202 joue un rôle prépondérant : tout en assurant la connexion hydraulique entre la fraction clarifiée et le conduit de reprise pour permettre la reprise de la fraction clarifiée, il permet également lors de l'étape d'aération de contenir l'élévation du niveau du contenu de l'enceinte. Le canal 202 présente deux extrémités (visibles sur la figure 4) : une première extrémité 221 et une seconde extrémité 222 en contact direct avec le conduit de reprise 201, permettant l'écoulement entre le conduit de reprise 201 et le canal 202. Le canal 202 peut avoir n'importe quelle section : circulaire, rectangulaire, polygonale,..., de même que le conduit de reprise 201.

[0132] L'étape 105 d'aération entraîne une variation du niveau du contenu de l'enceinte due à l'injection d'air dans l'enceinte. Pendant l'étape 105 d'aération, le canal (ou les canaux) 202 se remplit au moins partiellement du contenu de l'enceinte. Il s'agit du cas particulier de l'étape 121, pour un procédé dans lequel l'injection d'air dans le conduit de reprise n'est pas continue. La hauteur de remplissage des canaux 202 correspond à la hauteur d'élévation du contenu de l'enceinte. Comme les canaux 202 sont dimensionnés pour être suffisamment hauts afin de répondre au cas particulier de l'étape 121, le contenu 12 ne parvient pas jusqu'à la seconde extrémité 222 des canaux 202. Le conduit de reprise 201, lui, reste rempli d'air. Lors de l'étape 105 d'aération, le contenu de l'enceinte est homogène, même au niveau de la surface 24. Grâce aux canaux 202, ce contenu homogène contenant des boues ne pénètre pas dans le conduit de reprise 201. Les canaux 202 forment une zone de transition entre le conduit de reprise bloqué en air et le contenu de l'enceinte. Les extrémités 221 des canaux 202 peuvent être en contact avec l'eau et les boues. Les extrémités 222 des canaux 202 ne sont jamais en contact avec des boues. Ainsi, il

est garanti que le conduit de reprise, selon les phases, contient soit de l'air ou de l'eau traitée, mais jamais de boues.

[0133] Le conduit de reprise 201 est maintenu rempli d'air pendant la séquence réactionnelle 102 et préférentiellement l'étape 106 de décantation, et optionnellement la phase d'attente 116. C'est l'étape 122bis. En fin de décantation, les boues présentent dans l'enceinte se sont déposées au fond de l'enceinte 11 et le contenu de l'enceinte 11 se clarifie à proximité de sa surface 24. Le procédé comprend alors une étape 123 d'expulsion de l'air du conduit de reprise 201. La vanne 205 est en position ouverte et de l'eau clarifiée entre dans le conduit de reprise et permet de chasser l'air bloqué dans le conduit de reprise par la vanne 205 et par le conduit de mise à l'atmosphère. Il n'y a plus d'air bloqué dans le conduit de reprise.

[0134] Par la suite, le dispositif de blocage air/eau 216 se met en position dite ouverte et un nouveau cycle débute : l'étape 101 d'alimentation a lieu simultanément à l'étape 107 de reprise. En introduisant un volume d'effluent dans l'enceinte, le même volume est vidangé afin de maintenir un niveau sensiblement constant. Comme le conduit de reprise n'est plus bloqué en air, le conduit de reprise 201 et les canaux 202 se remplissent de ce volume du contenu 12 de l'enceinte 11 situé au niveau de la surface 24. Il s'agit de la fraction clarifiée que l'on souhaite reprendre.

[0135] Le pilotage de remplissage d'air du conduit de reprise (étape 120) et du blocage de l'air dans le conduit de reprise (étape 122bis, complétée éventuellement de l'étape 122 si l'injection d'air n'est pas continue) résulte en un contrôle précis de l'instant auquel on fait rentrer du contenu dans le conduit de reprise. Le conduit de reprise est accessible au contenu de l'enceinte quand le contenu de l'enceinte est clarifié au niveau de sa surface. Par contre, pendant l'étape d'aération où le contenu est homogène, c'est-à-dire quand le contenu de l'enceinte n'est pas clarifié au niveau du conduit de reprise, le conduit de reprise n'est pas accessible à ce contenu. En d'autres termes, le procédé selon l'invention permet de contrôler précisément ce qui entre dans le conduit de reprise. Selon les étapes du traitement des eaux résiduaires, il y a une succession de phases de blocage en air du conduit de reprise et de phases de connexion hydraulique libre lors desquelles le contenu de l'enceinte peut circuler dans le conduit de reprise.

[0136] Il en résulte que cette variante repose sur une étape de pilotage des moyens de reprise de l'enceinte du SBR au cours de laquelle, juste avant la mise en service de l'aération dans le SBR, le conduit de reprise est rempli d'air jusqu'à ce que le conduit se vide complètement de l'eau (clarifiée) contenue dans le conduit. Cette variante de l'invention garantit la non-contamination du conduit de reprise d'eau traitée par des boues activées au cours de l'aération grâce à un remplissage d'air contrôlé du conduit de reprise en fonction des étapes du procédé de traitement.

[0137] Il apparaîtra plus généralement à l'Homme du métier que diverses modifications peuvent être apportées aux modes de réalisation décrits ci-dessus, à la lumière de l'enseignement qui vient de lui être divulgué. Dans les revendications qui suivent, les termes utilisés ne doivent pas être interprétés comme limitant les revendications aux modes de réalisation exposés dans la présente description, mais doivent être interprétés pour y inclure tous les équivalents que les revendications visent à couvrir du fait de leur formulation et dont la prévision est à la portée de l'Homme du métier se basant sur ses connaissances générales.

REVENDICATIONS

1. Procédé de traitement d'un effluent d'eaux résiduaires (20) comprenant une pollution carbonée, une pollution azotée et une pollution phosphorée, dans un réacteur batch séquentiel (SBR 10), ledit SBR (10) comprenant :

- une enceinte (11) apte à contenir un mélange (12) eaux résiduaires-boues comprenant différents niveaux, chaque niveau étant défini par une concentration et/ou une densité de boues,
- un lit de boues (13), comprenant des PAO (14), situé au fond de l'enceinte (11), au-dessus duquel est défini un niveau de voile de boue (15),
- des moyens (16) de détermination d'un niveau minimum (17) et d'un niveau maximum (18) d'extraction des boues dans l'enceinte (11),
- des moyens d'extraction (19) aptes à extraire des boues (23) à des niveaux variables entre le niveau d'extraction minimum (17) et le niveau d'extraction maximum (18),

ledit procédé comprenant :

- une étape (101) d'alimentation du SBR (10), au cours de laquelle on introduit un volume d'effluent à traiter (20) près du fond de l'enceinte (11), dans le lit de boues (13), de préférence par un réseau de distribution (21) couvrant le fond de l'enceinte (11),
- une séquence réactionnelle (102) comprenant :
 - o au moins une première étape (103) anaérobie, lors de laquelle les PAO (14) captent la pollution carbonée et relarguent des composés phosphorés,
 - o optionnellement, une deuxième étape (104), en anoxie, de dénitrification (partielle et/ou totale), cette étape n'étant mise en œuvre qu'en cas d'une concentration en NO_x supérieure à un seuil prédéterminé,
 - o une troisième étape (105) d'aération, permettant d'effectuer la déphosphatation de l'effluent par les PAO (14), l'aération étant contrôlée de manière à effectuer simultanément soit une nitrification (partielle ou totale), soit une nitrification (partielle ou totale),

- une étape (106) de décantation, au cours de laquelle des boues se déposent au fond de l'enceinte (11) et le contenu de l'enceinte (11) se clarifie à proximité de sa surface (24),
 - une étape (107) de reprise, au cours de laquelle on évacue une fraction clarifiée (22) du contenu de l'enceinte, lesdites étapes de reprise (107) et d'alimentation (101) ayant lieu simultanément, de manière à maintenir le niveau du contenu de l'enceinte (11) sensiblement constant lors des étapes de reprise (107) et d'alimentation (101), et
 - une étape (108) d'extraction d'au moins une partie des boues (23) légères ayant un indice de boues supérieur à 100 mL/g et une vitesse de décantation inférieure à 2 m/h à un niveau prédéfini entre le niveau d'extraction minimum (17) et le niveau d'extraction maximum (18), préférentiellement à proximité du voile de boue (15).
2. Procédé de traitement selon la revendication 1, comprenant en outre une étape (109) de mesure du voile de boue (15), et dans lequel l'étape (108) d'extraction d'au moins une partie des boues légères est réalisée lorsque la mesure du voile de boue (15) est sensiblement égale à une distance prédéfinie du niveau d'extraction des boues.
3. Procédé de traitement selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, dans lequel l'étape (108) d'extraction d'au moins une partie des boues légères est réalisée pendant l'étape (101) d'alimentation et/ou pendant l'étape (106) de décantation.
4. Procédé de traitement selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, comprenant, pendant la séquence réactionnelle (102), une étape (110) d'injection d'air dans l'enceinte (11).
5. Procédé de traitement selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la troisième étape (105) d'aération est suivie d'une étape (111), en anoxie, de post-dénitrification, préférentiellement mise en œuvre lorsque la troisième étape (105) est une étape de nitrification totale ou partielle ; ou la troisième étape (105) d'aération est suivie d'une étape (111), en anoxie, de dénitrification, préférentiellement mise en œuvre lorsque la troisième étape (105) est une étape de nitrification totale ou partielle ; ou la troisième étape (105) d'aération est suivie d'une étape (111), en

anoxie, de déammonification, préférentiellement mise en œuvre lorsque la troisième étape (105) est une étape de nitrification partielle.

6. Procédé de traitement selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel l'étape (106) de décantation est précédée d'une étape (112) d'injection d'air dans l'enceinte (11).

7. Procédé de traitement selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant une étape (113) de densification des boues par un dispositif de densification (30) à l'intérieur de l'enceinte (11).

8. Procédé de traitement selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, comprenant en outre une étape (114) d'asservissement de la durée de la troisième étape (105) d'aération en fonction du niveau de pollution carbonée, azotée et phosphorée de l'effluent d'eaux résiduaires (20).