

(19)



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

(11)

N° de publication :

LU503271

(12)

BREVET D'INVENTION**B1**

(21)

N° de dépôt: LU503271

(22)

Date de dépôt: 29/12/2022

(51)

Int. Cl.:

C02F 1/52, C02F 9/00, C05F 7/00, C02F 1/20, C02F 1/44,
C02F 1/66, C02F 11/12, C02F 1/00, C02F 101/10, C02F
101/16

(30)

Priorité:

(72)

Inventeur(s):

DE MARIE André – Luxembourg

(43)

Date de mise à disposition du public: 01/07/2024

(74)

Mandataire(s):

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

(47)

Date de délivrance: 01/07/2024

(73)

Titulaire(s):

J.WAGNER-SCHAFFNER & CIE –
7795 Bissen (Luxembourg)

(54)

Procédé et installation de traitement des eaux usées.

(57)

L'invention concerne un procédé de traitement d'une eau comprenant de l'azote et du phosphore, le procédé comprenant une étape de précipitation simultanée de l'azote et du phosphore, l'étape de précipitation se faisant par ajout de magnésium et de phosphore. L'invention concerne également une installation de traitement d'eaux usées, en particulier pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention, l'installation comprenant une cuve de précipitation avec une entrée d'eau et une sortie, un dispositif d'ajout de phosphore configuré pour introduire du phosphore dans la cuve de précipitation, et un dispositif d'ajout de magnésium configuré pour introduire du magnésium dans la cuve de précipitation.

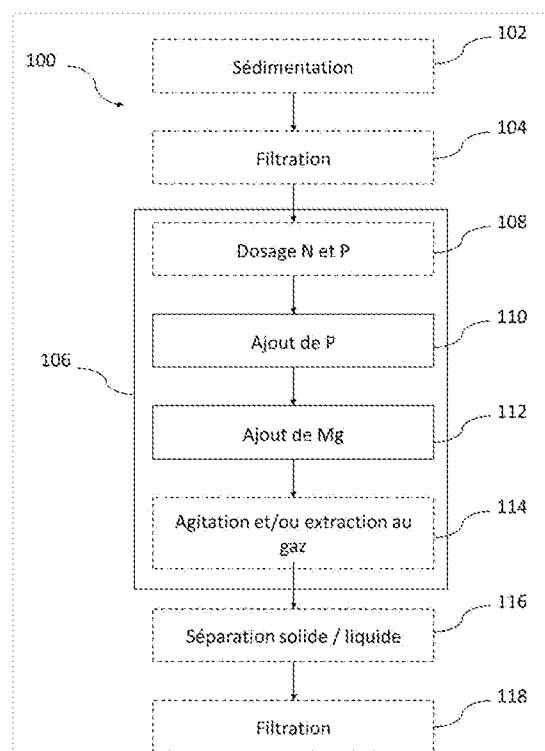


Figure 1

Procédé et installation de traitement des eaux usées

LU503271

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine du traitement des eaux usées, en particulier contenant des phosphates et des ammoniums, et plus particulièrement la récupération de composés utiles de phosphates et d'ammoniums lors du traitement des eaux usées.

Etat de la technique

[0002] Le phosphore est un constituant courant des engrais agricoles, du fumier et des déchets organiques dans les eaux usées et les effluents industriels. C'est un élément essentiel à la vie végétale, mais lorsqu'il y en a trop dans l'eau, il peut provoquer la croissance de plantes et d'algues et épuiser l'oxygène de l'eau à un rythme supérieur à ce que les écosystèmes peuvent supporter et peut avoir de graves effets écologiques, y compris la prolifération d'algues toxiques, la mort d'espèces aquatiques indigènes et la perte de biodiversité. On parle alors d'eutrophisation des milieux aquatiques.

[0003] De même, lorsque la teneur en phosphore est trop importante dans les sols, cela engendre un déséquilibre écologique dans le développement des végétaux terrestres, en favorisant par exemple la croissance des espèces à forte croissance et forte ramure aux dépens d'autres espèces privées, de fait, de lumière. On parle alors d'eutrophisation des sols.

[0004] L'azote, en particulier sous forme d'ammonium, contribue également à l'eutrophisation des sols et des milieux aquatiques. De plus, une fois dans le sol, l'ammonium – par un procédé de nitrification – va former de l'acide nitrique et ainsi contribuer également à l'acidification des sols.

[0005] Le phosphore et l'azote proviennent principalement des excréments humains et animaux, et se retrouvent dans les eaux usées à traiter par les stations d'épuration, ou dans les eaux extraites par exemple de fumier, lisier... dans des stations de biométhanisation. Du fait de leur effet néfaste sur l'environnement, leur rejet vers le milieu naturel est maintenant prohibé et il est nécessaire de développer des procédés permettant d'extraire ces éléments des eaux usées, d'autant plus que l'azote et le phosphore récupérés sont valorisables en tant qu'engrais.

[0006] Les eaux usées traitées dans une station d'épuration produisent des déchets LU503271 nommés boues d'épuration. Ces boues d'épuration sont, en grande majorité, incinérées. C'est une procédure onéreuse et des éléments comme le phosphore et l'azote sont perdus.

[0007] Pour minimiser ces volumes de boue d'épuration, les exploitants des stations d'épuration sont contraints de les déshydrater. La plupart du temps cette déshydratation se fait à l'aide de presses ou de centrifuges. Lors de cette étape des ions comme le phosphate, l'ammonium et autres transitent de nouveau en partie des boues vers les eaux de presse, qu'il faut alors retraiter afin d'éliminer ces éléments.

[0008] Des procédés de traitement des eaux de presses ont été développés dans lesquels ces eaux de presses comprenant de l'azote et du phosphore sont reconduits vers l'entrée du procédé d'épuration pour refaire à nouveau tout le parcours. De tels procédés permettent de limiter les rejets d'azote et de phosphore mais présentent le désavantage d'être onéreux, un volume relativement faible d'eau à haute concentration en azote et phosphore devant de nouveau passer toutes les étapes de la station d'épuration.

[0009] Ces dernières années, de nouveaux procédés permettant de réduire la teneur en phosphore et en azote des eaux usées tout en permettant le recyclage de ces éléments ont été développés. Par exemple, certains procédés se fondent sur la découverte que l'ajout de magnésium à l'eau à traiter permet de précipiter l'azote et le phosphore sous forme de struvite, un engrais à libération lente, valorisable en agriculture. De tels procédés sont connus par exemple de WO 2012/060768 A1 et de EP 4 023 611 A1.

[0010] Cependant, de tels procédés permettent la récupération, sous forme de struvite, d'une faible partie de l'azote présent dans l'eau à traiter. Afin de récupérer, i.e. éliminer le reste de l'azote présent dans l'eau, de nombreuses étapes de traitement ultérieures sont nécessaires. Ces étapes sont coûteuses en temps et en énergie et font par exemple intervenir la transformation d'azote sous forme d'ammonium en ammoniac suivie de la transformation inverse pour redonner de l'ammonium, que l'on fait par exemple précipiter sous forme de chlorure d'ammonium. Le passage de l'ammonium à l'ammoniac pour revenir à l'ammonium représente un gaspillage de temps, d'argent et de ressources qu'il est nécessaire de limiter voire

supprimer dans un monde où le recyclage et l'économie des ressources occupent une place de plus en plus importante. LU503271

Objet de l'invention

[0011] Un objet de la présente invention est de proposer un procédé de traitement des eaux usées ainsi qu'une installation de traitement des eaux usées améliorés permettant d'extraire le phosphore et l'azote sous une forme valorisable, et qui soient exempts des inconvénients mentionnés ci-dessus.

Description générale de l'invention

[0012] La présente invention propose, dans un premier aspect, un procédé de traitement d'une eau comprenant de l'azote, en particulier sous forme d'ammonium NH_4^+ , et du phosphore, en particulier sous forme de phosphate PO_4^{3-} , le procédé comprenant une étape de précipitation simultanée de l'azote et du phosphore. Selon l'invention, l'étape de précipitation se fait par ajout de magnésium et de phosphore.

[0013] Ainsi, lors de l'étape de précipitation, du phosphore est ajouté (i.e. introduit) dans l'eau à traiter, c'est-à-dire que l'on augmente intentionnellement, par ajout (i.e. introduction), la quantité de phosphore présente dans l'eau. En d'autres termes, l'eau à traiter comprend, lors de l'étape de précipitation, le phosphore qu'elle comprenait initialement (i.e. le phosphore contenu dans l'eau avant que celle-ci ne soit soumise au procédé selon l'invention) ainsi que du phosphore additionnel (ou phosphore supplémentaire) ajouté lors de l'étape de précipitation. L'étape de précipitation se fait donc par ajout de phosphore supplémentaire (i.e. additionnel) à l'eau à traiter.

[0014] De plus, il n'est pas exclu du cadre de la présente invention que l'eau à traiter comprenne également initialement du magnésium, de sorte que lors de l'étape de précipitation, la concentration en magnésium est augmentée par ajout (i.e. introduction) de magnésium additionnel (ou supplémentaire). En d'autres termes, l'eau à traiter comprend, lors de l'étape de précipitation, le magnésium qu'elle comprenait éventuellement initialement (i.e. le magnésium contenu dans l'eau avant que celle-ci ne soit soumise au procédé selon l'invention) ainsi que du magnésium additionnel (ou magnésium supplémentaire) ajouté lors de l'étape de précipitation. L'étape de précipitation se fait donc par ajout de magnésium supplémentaire (i.e. additionnel) à l'eau à traiter.

[0015] L'invention est basée sur l'identification que l'ajout de phosphore à l'eau à traiter, lors de l'étape de précipitation, permet d'améliorer le rendement de l'étape de précipitation et notamment d'augmenter le taux de précipitation de l'azote. En effet, les inventeurs ont découvert de manière surprenante qu'ajouter du phosphore à l'eau à traiter de sorte à augmenter la concentration en phosphore de cette eau – et bien que le phosphore constitue un des éléments à éliminer des eaux usées – permet de favoriser la précipitation de l'azote et ainsi sa séparation et donc son élimination. LU503271

[0016] En d'autres termes, la présente invention est fondée sur la découverte contre-intuitive par les inventeurs que l'ajout de phosphore à une eau à traiter permet d'augmenter significativement le taux de récupération d'azote et de phosphore présents dans ladite eau à traiter. L'ajout de phosphore permet ainsi de manière surprenante d'améliorer l'extraction sous forme solide, i.e. la précipitation, de l'azote et du phosphore présents dans l'eau. L'augmentation du taux de précipitation de l'azote, en particulier de l'azote présent sous forme d'ammonium, permet également avantageusement d'éliminer la nécessité d'étapes de traitement ultérieures faisant intervenir par exemple un acide comme dans EP 4 023 611 A1. Le procédé de traitement d'eau s'en trouve facilité et accéléré, et la quantité de déchets fortement diminuée (notamment par l'absence de génération d'eaux acides à retraiter).

[0017] Un autre mérite du procédé selon l'invention est qu'il peut être mis en œuvre facilement et à moindre coût dans une installation classique de traitement d'eaux usées, en particulier dans une station d'épuration conventionnelle, en nécessitant uniquement l'implémentation d'un dispositif configuré pour introduire (i.e. ajouter) du phosphore à l'eau à traiter, ainsi que, le cas échéant, l'implémentation d'un dispositif configuré pour introduire (i.e. ajouter) du magnésium à l'eau à traiter.

[0018] Selon certains modes de réalisations, le phosphore est ajouté à l'eau à traiter sous forme de phosphate, par exemple sous forme de phosphate de calcium, de phosphate de magnésium ou de phosphate de sodium. Cependant, selon des modes de réalisations préférés, le phosphore est introduit sous forme de phosphate d'hydrogène, ou acide phosphorique. L'affinité du phosphore avec l'azote, en particulier sous forme d'ammonium, est maximale lorsque le phosphore est sous forme de phosphate, ce qui facilite la co-précipitation, i.e. la précipitation simultanée dans un solide, de ces deux éléments (azote et phosphore).

[0019] De préférence, le phosphore est ajouté à l'eau à traiter en une quantité telle LU503271 que le nombre de moles de phosphore dans l'eau après ajout correspond au nombre de moles d'azote. En d'autres termes, après ajout de phosphore, l'eau à traiter comprend autant de phosphore que d'azote, c'est-à-dire que le phosphore et l'azote sont présents en quantité stœchiométrique, ou encore que l'azote et le phosphore sont équimolaires dans l'eau à traiter. Avantageusement, cela permet d'augmenter le taux de précipitation de l'azote.

[0020] Selon d'autres modes de réalisation également préférés, le phosphore est ajouté en quantité telle que le phosphore est présent en quantité sous-stœchiométrique par rapport à l'azote, i.e. que l'eau à traiter comprend moins de phosphore que d'azote. En particulier, le nombre de moles de phosphore – après ajout – peut être inférieur au nombre de moles d'azote de 1 %, 5 %, 10 % ou 15 %.

[0021] Ainsi, selon certains modes de réalisation, le procédé de traitement d'eau comprend en outre une étape de dosage (c'est-à-dire de quantification) de l'azote et du phosphore présents dans l'eau à traiter. Le dosage de chacun de ces éléments peut se faire selon des méthodes bien connues de l'homme du métier. Selon certains modes de réalisation, le dosage (i.e. la quantification) peut se faire au sein de l'installation dans laquelle le présent procédé de traitement d'eau est réalisée. Alternativement, le dosage peut être effectué en amont et la teneur en azote et phosphore de l'eau à traiter sont connues lorsque l'eau pénètre l'installation dans laquelle le présent procédé de traitement d'eau est réalisée. Avantageusement, la quantité de magnésium présent dans l'eau à traiter (i.e. la teneur en magnésium de l'eau) peut également être déterminée.

[0022] Selon les mêmes ou d'autres modes de réalisation, le magnésium est ajouté à l'eau à traiter sous forme d'un sel de magnésium, par exemple sous forme de chlorure de magnésium (MgCl_2), de chlorure de magnésium basique ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{NaOH}$) ou d'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). De préférence, le magnésium est ajouté sous forme d'hydroxyde de magnésium. Ainsi, le pH adéquat à la précipitation peut être obtenu uniquement à l'aide de l'introduction du magnésium, sans nécessiter l'ajout, à l'eau à traiter, d'un autre composé afin de modifier le pH, ce qui facilite la mise en œuvre du procédé et réduit les coûts, notamment les coûts liés aux adjuvants nécessaires à la précipitation.

[0023] Selon les études préliminaires réalisées, il est particulièrement avantageux d'introduire le phosphore sous forme d'acide phosphorique et le magnésium sous forme d'hydroxyde de magnésium. En effet, l'hydroxyde de magnésium se dissout mal à pH élevé mais bien à pH faible. L'ajout d'acide phosphorique entraîne une diminution du pH de l'eau à traiter et favorise la dissolution de l'hydroxyde de magnésium, ce qui fait remonter le pH. LU503271

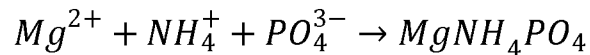
[0024] De préférence, le magnésium est ajouté à l'eau à traiter en quantité sur-stœchiométrique par rapport à l'azote contenu dans l'eau, afin de favoriser la précipitation de celui-ci. Le nombre de moles de magnésium peut être supérieur au nombre de moles d'azote de 1 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % ou 25 %. En effet, lors de la précipitation de l'azote et du phosphore, le magnésium rivalise avec du calcium potentiellement présent dans l'eau à traiter, et il doit avantageusement être introduit en quantité sur-stœchiométrique afin de favoriser la précipitation du magnésium au détriment de la précipitation du calcium.

[0025] Selon certains modes de réalisation, le magnésium et le phosphore sous forme de phosphate sont ajoutés à l'eau à traiter de manière à obtenir une équimolarité du phosphore (en particulier sous forme de phosphate) et de l'azote (en particulier sous forme d'ammonium) et une sur-molarité du magnésium dans l'eau à traiter, c'est-à-dire que le nombre de moles d'azote est sensiblement identique au nombre de moles de phosphore et inférieur au nombre de moles de magnésium dans l'eau à traiter au cours de l'étape de précipitation.

[0026] Selon d'autres modes de réalisation, le phosphore est introduit en quantité sous-stœchiométrique par rapport à l'azote présent dans l'eau à traiter, de sorte à minimiser la quantité de phosphore résiduel après précipitation du solide. Le nombre de mole de phosphore – après ajout – dans l'eau à traiter peut être inférieur au nombre de moles d'azote de 1 %, 5 %, 10 % ou 15 %.

[0027] Selon les modes de réalisation préférés, la précipitation simultanée de l'azote et du phosphore est une co-précipitation pour former un solide comprenant de l'azote et du phosphore. De manière particulièrement préférée, le solide obtenu lors de la co-précipitation comprend également du magnésium. De manière encore plus préférée, le solide obtenu lors de la co-précipitation est de la struvite.

[0028] La struvite se forme selon la réaction suivante entre les trois espèces mentionnées ci-dessus : LU503271



[0029] Un des avantages à produire de la struvite est que ce minéral précipite sous forme de cristaux bien définis, facilement séparables de l'eau à traiter. De plus, la struvite précipitée constitue un sous-produit de réaction valorisable sous forme d'engrais à libération lente, et permet de recycler le phosphore et l'azote retiré de l'eau à traiter.

[0030] Selon certains modes de réalisation préférés, le phosphore, en particulier sous forme de phosphate, est ajouté à l'eau à traiter avant le magnésium. En d'autres termes, le procédé comprend, dans cet ordre lors de l'étape de précipitation, une sous-étape d'ajout de phosphore puis une sous-étape d'ajout de magnésium, c'est-à-dire que le magnésium est ajouté seulement une fois que l'eau à traiter contient la quantité désirée de phosphore. Selon des modes de réalisation particulièrement préférés, le phosphore est ajouté à l'eau à traiter en quantité telle que l'eau comprenne la quantité de phosphore nécessaire à la précipitation de la totalité de l'azote, notamment sous forme de struvite, avant l'ajout du magnésium.

[0031] Il n'est cependant pas exclu du cadre de la présente invention que le phosphore et le magnésium soient ajoutés simultanément à l'eau à traiter, ou que le magnésium soit ajouté avant le phosphore.

[0032] Le pH de l'eau à traiter lors de l'étape de précipitation dépend de la composition de l'eau et notamment de son origine (station d'épuration, usine de biométhanisation,...) et des étapes de pré-traitement éventuelles. Avantageusement, le pH de l'eau lors de l'étape de précipitation est compris entre 6,5 et 10,0, de préférence entre 7,5 et 9,0, ce qui permet avantageusement d'avoir une eau basique favorisant la précipitation de la struvite et empêchant sa dissolution, qui a lieu principalement en milieu acide.

[0033] Selon certains modes de réalisation, le pH de l'eau à traiter n'est pas constant au cours de l'étape de précipitation mais varie. Par exemple, et sans que ce soit limitatif, le pH de l'eau à traiter peut varier globalement lors de l'ajout du magnésium et/ou du phosphore, ou le pH peut varier localement lors d'une agitation de l'eau pendant l'étape de précipitation. Ainsi, les gammes de valeurs de pH mentionnées ci-

dessus se réfèrent à des valeurs maximales et minimales du pH de l'eau au cours de l'étape de précipitation, sans supposer que ce pH soit constant ni dans le temps (i.e. durée de l'étape de précipitation) ni dans l'espace (i.e. le volume d'eau à traiter). LU503271

[0034] De manière avantageuse, l'eau à traiter peut être soumise à des phases alternées d'agitation et de repos pendant l'étape de précipitation, la durée d'une phase d'agitation étant de préférence sensiblement égale à la durée d'une phase de repos. Les phases d'agitation peuvent avantageusement permettre d'homogénéiser localement les concentrations en azote, phosphore et magnésium de sorte à favoriser la co-précipitation, dans un même solide, de ces trois éléments sous forme équimolaire.

[0035] Selon les mêmes ou d'autres modes de réalisation, l'eau à traiter est soumise à une extraction au gaz (également appelé stripping ou stripage), de préférence une extraction au gaz par injection de gaz comprimé, en particulier de l'air (air stripping ou stripage à l'air), au cours de l'étape de précipitation. Avantageusement, une telle extraction au gaz permet d'extraire du CO₂ de l'eau à traiter, ce qui permet d'augmenter son pH et donc favoriser la précipitation de l'azote et du phosphore sous forme solide, par exemple sous forme de struvite.

[0036] Le précipité formé au cours de l'étape de précipitation est de préférence séparé de l'eau traitée au cours d'une étape de séparation du solide précipité, réalisée après l'étape de précipitation. Selon certains modes de réalisation particulièrement préférés, l'étape de séparation du solide précipité se fait à l'aide d'un séparateur à lamelles, ou décanteur lamellaire. Le solide précipité, de préférence la struvite précipitée, peut ainsi être récupérée et valorisée, par exemple vendue, séparément de l'eau traitée.

[0037] Avantageusement, l'étape de séparation du solide précipité peut être suivie par une étape de filtration, en particulier de filtration par osmose inverse. L'osmose inverse peut être qualifié de processus membranaire à entraînement liquide, les membranes d'osmose inverse étant capables de laisser passer l'eau tout en rejetant les solutés, tels que des ions, des sels ou des matières organiques de faible poids moléculaire. L'étape d'osmose inverse permet de retenir l'azote et le phosphore résiduels dans l'eau issue de l'étape de précipitation, i.e. l'azote et le phosphore non précipités lors de l'étape de précipitation. L'étape d'osmose inverse permet ainsi

avantageusement d'augmenter le taux de réduction de la teneur en azote et phosphore dans l'eau à traiter. LU503271

[0038] L'étape de séparation du solide précipité sert également avantageusement de protection pour la membrane utilisée lors de l'étape d'osmose inverse, le solide séparé lors de l'étape de séparation étant abrasif pour ladite membrane.

[0039] Le présent procédé de traitement d'eau s'applique à toute type d'eau comprenant de l'azote et du phosphore, comme par exemple des eaux usées domestiques, industrielles, agricoles ou pluviales, et s'applique de manière particulièrement avantageuse aux eaux de presse de stations d'épuration ou d'installation de méthanisation.

[0040] Outre l'azote et le phosphore, l'eau à traiter peut ainsi comprendre d'autres polluants, par exemple des polluants solides comme des traces d'excréments, des graisses, ou des métaux. Avantageusement, le procédé de traitement d'eau comprend une étape de sédimentation, avant l'étape de précipitation, afin de séparer par sédimentation les polluants solides.

[0041] Selon ce mode de réalisation, le procédé peut également comprendre une étape de filtration membranaire entre l'étape de sédimentation et l'étape de précipitation, afin de retirer (i.e. extraire) de l'eau à traiter des composés solides trop petits pour précipiter, comme par exemple des métaux, des graisses, ou des agents de floculations ajoutés lors de l'étape de sédimentation pour favoriser la sédimentation des polluants solides importants en taille, ou ajoutés lors d'une étape de pré-traitement, par exemple lors d'une étape de presse d'eaux usées.

[0042] Dans un second aspect, la présente invention concerne également une installation de traitement d'eaux usées, en particulier pour la mise en œuvre d'un procédé selon l'invention, l'installation comprenant :

- une cuve de précipitation avec une entrée d'eau et une sortie,
- un dispositif d'ajout de phosphore configuré pour introduire du phosphore dans la cuve de précipitation, et
- un dispositif d'ajout de magnésium configuré pour introduire du magnésium dans la cuve de précipitation.

[0043] Les avantages et effets bénéfiques du procédé selon l'invention s'appliquent LU503271
mutatis mutandis à l'installation selon l'invention. La présente installation permet l'ajout (i.e. l'addition) de phosphore à une eau usée à traiter lors d'une étape de précipitation. L'ajout de phosphore, en plus de l'ajout de magnésium, permet avantageusement d'augmenter le taux de précipitation de certains éléments présents dans l'eau, notamment le phosphore et l'azote, et permet d'augmenter le taux de réduction de la teneur en azote et phosphore de ladite eau usée à traiter comparativement à une installation permettant uniquement l'ajout (i.e. l'addition de magnésium).

[0044] Les dispositifs d'ajouts de phosphore et de magnésium peuvent être réalisés sous toute forme adaptée et connue de l'homme du métier. Selon un mode de réalisation préféré, le dispositif d'ajout du magnésium est une vis sans fin, de préférence une vis sans fin avec un réservoir de stockage, apte à fonctionner à vitesse lente afin d'éviter toute formation de mousse lors de l'introduction du magnésium. Selon les mêmes ou d'autres modes de réalisation, le dispositif d'ajout du phosphore est une pompe doseuse, de préférence une pompe à membrane, apte à fonctionner à bas régime afin d'éviter toute formation de mousse lors de l'introduction du phosphore. En effet, la mousse piège, i.e. capture / comprend, du phosphore et du magnésium lors de l'introduction de ceux-ci, qui ne sont pas disponibles pour précipiter avec l'azote.

[0045] Dans le présent texte, « bas régime » fait référence à une vitesse d'introduction inférieure à 500 mL/min, de préférence inférieure à 250 mL/min, plus préférablement comprise entre 25 et 200 mL/min, de manière particulièrement préférée entre 50 et 150 mL/min.

[0046] Dans le présent texte, « vitesse lente » fait référence à une vitesse d'introduction inférieure à 500 g/min, de préférence inférieure à 350 g/min, plus préférablement comprise entre 50 et 300 g/min, de manière particulièrement préférée entre 100 et 300 g/min.

[0047] Selon certains modes de réalisation, la cuve de précipitation peut en outre comprendre au moins l'un parmi :

- un dispositif d'agitation permettant d'agiter l'eau présente dans la cuve de précipitation ;

- une sonde de mesure du pH ;
- une sonde de mesure de niveau d'eau dans la cuve ;
- un compresseur à air configuré pour injecter un flux d'air comprimé dans la cuve.

[0048] Selon certains modes de réalisation, l'installation de traitement d'eaux usées peut en outre comprendre au moins l'une parmi :

- une unité configurée pour doser (i.e. quantifier) l'azote, en particulier sous forme d'ammonium, présent dans une eau à traiter à l'aide de ladite installation ;
- une unité configurée pour doser (i.e. quantifier) le phosphore, en particulier sous forme de phosphate, présent dans une eau à traiter à l'aide de ladite installation.

[0049] Selon les mêmes ou d'autres modes de réalisation, l'installation de traitement d'eaux usées peut en outre comprendre au moins l'un parmi :

- un bassin de sédimentation agencé en aval de la cuve de précipitation, le bassin de sédimentation comprenant une sortie en communication fluide avec l'entrée d'eau de la cuve de précipitation ;
- un dispositif de filtration, de préférence un dispositif de filtration membranaire, comprenant une entrée de filtration en communication fluide avec la sortie du bassin de sédimentation et une sortie d'eau filtrée en communication fluide avec l'entrée d'eau de la cuve de précipitation ;
- un dispositif de séparation du solide précipité, de préférence un séparateur à lamelles, comprenant une entrée en communication fluide avec la sortie de la cuve de précipitation ;
- une installation d'osmose inverse agencée en communication fluide avec une sortie du dispositif de séparation du solide précipité.

Brève description des dessins

[0050] D'autres particularités et caractéristiques de l'invention ressortiront de la description détaillée de quelques modes de réalisation avantageux présentés ci-dessous, à titre d'illustration, en se référant aux dessins annexés. Ceux-ci montrent :

[Fig. 1] les différentes étapes d'un procédé de traitement d'eau selon un mode de réalisation préféré ; LU503271

[Fig. 2] une représentation schématique d'une installation de traitement d'eau selon un mode de réalisation préféré pour la mise en œuvre du procédé de la Fig. 1.

Description d'exécutions préférées

[0051] Le principe de fonctionnement du procédé de traitement d'eau selon l'invention sera expliqué en référence aux Fig. 1 et 2. Comme mentionné précédemment, la présente invention propose, de manière surprenante, un procédé dans lequel du phosphore est ajouté à une eau à traiter dont on veut abaisser la teneur en phosphore et en azote.

[0052] En référence à la Fig. 1, il est décrit un mode de réalisation préféré mais non limitatif d'un procédé 100 selon l'invention. En référence à la Fig. 2, il est décrit un mode de réalisation préféré mais non limitatif d'une installation 10 de traitement d'eau permettant la réalisation d'un procédé 100 selon l'invention tel que présenté en référence à la Fig. 1.

[0053] Un bassin de sédimentation 14 est rempli d'une eau à traiter 12 comprenant de l'azote et du phosphore, par exemple une eau de presse d'une station d'épuration ou d'une installation de biométhanisation (par exemple, et sans s'y limiter, du lisier). Selon certains modes de réalisation, le bassin de sédimentation 14 est fabriqué en inox et est constitué de différents compartiments séparés par des chicanes. Afin de favoriser la sédimentation 102 de polluants solides (par exemple, et sans s'y limiter, des traces d'excréments, des graisses, ou des métaux), un agent de floculation (non représenté) peut être ajouté à l'eau dans le bassin de sédimentation.

[0054] A la fin de l'étape de sédimentation 102, l'eau surnageante 18 est amenée à un premier dispositif de filtration 20 tandis que les polluants solides sédimentés 16 sont éliminés. Par exemple, la partie liquide surnageante du bassin de sédimentation 14 peut être pompée vers le dispositif de filtration 20.

[0055] Le dispositif de filtration 20 est par exemple un dispositif de filtration membranaire et permet de filtrer l'eau surnageante lors de l'étape de filtration 104. Les polluants trop petits pour sédimenter au cours de l'étape 102, comme par exemple des agents de floculations, sont alors retenus (i.e. séparés) de l'eau filtrée 24. Selon

certaines modes de réalisation, la membrane peut être une membrane céramique dont le seuil de rétention (ou *Molecular Weight Cut-Off* MWCO) se situe entre la filtration et l'ultrafiltration. Un exemple de membrane est une membrane d'ultrafiltration, p.ex. de type UF50A, mais l'homme du métier saura adapter la membrane à utiliser à la nature des polluants à éliminer. La partie de l'eau surnageante 18 retenue par la membrane du dispositif de filtration 20 est appelée retentat 22 peut avantageusement être reconduite au début du procédé et ajoutée à l'eau à traiter 12. LU503271

[0056] Selon certains modes de réalisation, un échantillon d'eau filtrée 24 est prélevé et amené à une installation de dosage 26 (ou installation de quantification) de l'azote et du phosphore configurée pour déterminer la teneur en azote, en particulier sous forme d'ammonium, et en phosphore, en particulier sous forme de phosphate, de l'eau filtrée 24. Les méthodes de dosages de l'azote et du phosphore sont bien connues de l'homme du métier et ne seront pas décrites plus en détails.

[0057] L'eau filtrée 24, également appelée permeat, est introduite, par exemple à l'aide d'une pompe, dans la cuve de précipitation 28, dans laquelle l'étape de précipitation simultanée 106 de l'azote et du phosphore a lieu.

[0058] Selon certains modes de réalisations, la cuve, ou réacteur, de précipitation 28 peut comprendre un agitateur commandé par variateur de fréquence, des chicanes hydrauliques, une unité d'extraction au gaz 34 (ou unité de stripping ou de stripage) alimentée par air comprimé, un dispositif d'ajout de phosphore 30, un dispositif d'ajout de magnésium 32, une sonde de mesure de pH et une sonde de mesure de niveau.

[0059] La sonde de mesure de niveau mesure le niveau de remplissage de la cuve de précipitation 28 et peut être configurée pour communiquer avec un dispositif de remplissage, par exemple une pompe, et arrêter le remplissage de la cuve (ou réacteur) de précipitation une fois un certain niveau atteint.

[0060] Le dispositif d'ajout du phosphore 30 peut être de tout type connu de l'homme du métier. De préférence, il s'agit d'une pompe doseuse à membrane configurée pour fonctionner à bas régime pour limiter voire empêcher la formation de mousse. La pompe doseuse 30 introduit de l'acide phosphorique dans la cuve de précipitation 28 au cours de l'étape 110 d'ajout du phosphore.

[0061] Le dispositif d'ajout du magnésium 32 peut être de tout type connu de l'homme du métier. De préférence, il s'agit d'une vis sans fin munie d'un réservoir de stockage

configurée pour fonctionner à faible vitesse pour limiter voire empêcher la formation de mousse. La vis sans fin 32 introduit de l'hydroxyde de magnésium dans la cuve de précipitation 28 au cours de l'étape 112 d'ajout du magnésium. LU503271

[0062] Les quantités de phosphore (sous forme d'acide phosphorique) et de magnésium (sous forme d'hydroxyde de magnésium) à ajouter sont déterminées à l'aide des résultats des dosages (i.e. quantifications) effectuées à l'étape 108 et sont définies de la manière suivante (n désignant un nombre de moles) :

$$n_{Mg^{2+}}(ajouté) = n_N(présent dans l'eau) - n_{Mg^{2+}}(présent dans l'eau)$$

$$n_P(ajouté) = n_N(présent dans l'eau) - n_P(présent dans l'eau)$$

[0063] Selon un mode de réalisation préféré, les quantités de phosphore à ajouter sous forme d'acide phosphorique et de magnésium à ajouter sous forme d'hydroxyde de magnésium sont définies ainsi :

$$n_{Mg(OH)_2}(ajouté) = n_{NH_4^+}(présent dans l'eau) - n_{Mg^{2+}}(présent dans l'eau)$$

$$n_{H_3PO_4}(ajouté) = n_{NH_4^+}(présent dans l'eau) - n_{PO_4^{3-}}(présent dans l'eau)$$

[0064] Les quantités ajoutées et à ajouter sont avantageusement contrôlées au cours du temps, de sorte à ce que les éléments se trouvent dans l'eau à traiter en quantité nécessaire et suffisante à la précipitation du solide comprenant l'azote et le phosphore.

[0065] Avantageusement, l'agitateur est enclenché dès que la cuve de précipitation 28 est remplie, de sorte à agiter l'eau contenue dans la cuve de précipitation lors des étapes d'ajout 110 du phosphore et d'ajout 112 du magnésium.

[0066] Selon un mode de réalisation préféré mais non limitatif, l'agitateur fonctionne jusqu'à ce que le pH de l'eau additionnée de phosphore et de magnésium dans la cuve de précipitation se stabilise ou commence à remonter. Le pH est déterminé à l'aide de la sonde de mesure de pH.

[0067] L'agitateur est ensuite arrêté pendant un temps prédéfini, de préférence compris entre 170 et 190 secondes, par exemple pendant 180 secondes puis des cycles d'agitation – repos successifs sont effectués à l'étape 114. Le nombre de cycles

dépend de la nature de l'eau à traiter et est avantageusement compris entre trois et dix, par exemple il peut être égal à six. Lors des cycles, la durée de la phase d'agitation est de préférence égale à la durée de la phase de repos. De préférence la durée de la phase d'agitation est comprise entre 170 et 190 secondes, par exemple elle est de 180 secondes et la durée de la phase de repos est de 180 secondes également. LU503271

[0068] Dans un deuxième temps, l'étape 114 est constitué de plusieurs cycles successifs constitués chacun d'une première phase pendant laquelle l'agitateur et l'unité d'extraction au gaz 34 alimentée par air comprimé sont mis en marche, et d'une deuxième phase pendant laquelle l'agitateur et l'unité 34 sont éteints. Le nombre de cycles est avantageusement compris entre trois et dix, par exemple il peut être égal à six. De préférence, les deux phases présentent la même durée, en particulier chaque phase a une durée comprise entre 170 et 190 secondes, de préférence chaque phase dure 180 secondes.

[0069] L'étape 114 est suivie d'une phase de repos d'une durée prédéterminée permettant aux cristaux formés pendant l'étape de précipitation simultanée, en particulier aux cristaux de struvite formés, de se déposer au fond de la cuve de précipitation 28. La durée de cette phase de repos dépend de la quantité de cristaux formée, et peut par exemple être égale à 170, 180 ou 190 secondes.

[0070] Afin de séparer les cristaux formés et déposés au fond de la cuve de l'eau contenue dans celle-ci, le contenu de la cuve (ou réacteur) de précipitation 28 est amené à dispositif de séparation du solide précipité 36. Le dispositif 36 peut prendre toute forme connue de l'homme du métier. Selon un mode de réalisation préféré il s'agit d'un séparateur à lamelles 36 configuré pour séparer le solide précipité 38, en particulier la struvite précipitée 38, de l'eau 40, lors d'une étape de séparation solide/liquide 116.

[0071] Le solide précipité 38 est collecté et stocké dans un contenant approprié pour être ensuite valorisé. L'eau 40 séparée du solide est collectée dans un réservoir d'une seconde installation de filtration 42. La seconde installation de filtration 42 est, selon un mode de réalisation préféré, une installation de filtration par osmose inverse comprenant, outre le réservoir, une pompe et une membrane d'osmose inverse, la pompe étant configurée pour aspirer l'eau 40 du réservoir et la faire passer au travers de la membrane d'osmose inverse. L'eau traversant la membrane d'osmose inverse

est filtrée au cours de l'étape 118, afin d'éliminer les ions ammoniums et phosphates résiduels, mais également d'autres ions possiblement présents (par exemple calcium, magnésium, fer, ...). L'eau traversant la membrane est une eau traitée 44 dont la teneur en azote et en phosphate est sensiblement nulle, et en tout cas très inférieure aux valeurs seuils autorisées pour les eaux rejetées. La partie de l'eau retenue dans le réservoir par la membrane d'osmose inverse est appelée concentré 46 (ou retentat d'osmose). Selon certains modes de réalisation, il peut être utilisé à des fins de nettoyage et/ou de rinçage des installations en amont, comme par exemple la cuve de précipitation 28, et/ou le cas échéant le bassin de sédimentation 14, le dispositif de filtration 20, ou le dispositif 36 de séparation du solide précipité. Cependant, selon un mode de réalisation préféré, le concentré 46 est avantageusement reconduit au début du procédé et ajoutée à l'eau à traiter 12. LU503271

[0072] Une eau comprenant du phosphore sous forme de phosphate et de l'azote sous forme d'ammonium, traitée à l'aide du procédé décrit ci-dessus, ou à l'aide de l'installation décrite ci-dessus, présente une réduction de sa teneur en ammonium de plus de 92 % et une réduction de sa teneur en phosphate de plus de 98 %.

Revendications

1. Procédé de traitement d'une eau comprenant de l'azote et du phosphore, le procédé comprenant une étape de précipitation simultanée de l'azote et du phosphore,

caractérisé en ce que l'étape de précipitation se fait par ajout de magnésium et de phosphore.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le phosphore est ajouté à l'eau à traiter sous forme de phosphate, de préférence sous forme de phosphate d'hydrogène.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le phosphore est ajouté à l'eau à traiter en une quantité telle que le nombre de moles de phosphore dans l'eau après ajout correspond au nombre de moles d'azote dans l'eau à traiter.
4. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le phosphore est ajouté à l'eau à traiter en une quantité telle que le nombre de moles de phosphore dans l'eau après ajout est inférieur au nombre de moles d'azote dans l'eau à traiter.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le magnésium est ajouté à l'eau à traiter sous forme d'hydroxyde de magnésium.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le magnésium est ajouté à l'eau à traiter en quantité sur-stœchiométrique par rapport à l'azote contenu dans l'eau.
7. Procédé l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la précipitation simultanée de l'azote et du phosphore est une co-précipitation pour former un solide comprenant de l'azote et du phosphore, de préférence le solide est de la struvite.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le pH de l'eau lors de l'étape de précipitation est compris entre 6,5 et 10,0, de préférence entre 7.5 et 9,0.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'eau à traiter est soumise à des phases alternées d'agitation et de repos pendant

l'étape de précipitation, la durée d'une phase d'agitation étant de préférence sensiblement égale à la durée d'une phase de repos. LU503271

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'eau à traiter est soumise à une extraction au gaz, de préférence une extraction au gaz par injection de gaz comprimé, au cours de l'étape de précipitation.
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le procédé comprend en outre une étape de sédimentation avant l'étape de précipitation.
12. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel le procédé comprend en outre une étape de filtration, en particulier de filtration membranaire, après l'étape de sédimentation et avant l'étape de précipitation.
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le procédé comprend en outre une étape de séparation du solide précipité, en particulier une étape de séparation du solide précipité à l'aide d'un séparateur à lamelles, après l'étape de précipitation.
14. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel le procédé comprend en outre une étape de filtration, en particulier une étape de filtration par osmose inverse, après l'étape de séparation du solide précipité.
15. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'azote est présent dans l'eau sous forme d'ammonium et/ou dans lequel le phosphore est présent dans l'eau sous forme de phosphate.
16. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'eau est une eau usée, en particulier une eau de presse.
17. Installation de traitement d'eaux usées, en particulier pour la mise en œuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, l'installation comprenant :
 - une cuve de précipitation avec une entrée d'eau et une sortie,
 - un dispositif d'ajout de phosphore configuré pour introduire du phosphore dans la cuve de précipitation, et

un dispositif d'ajout de magnésium configuré pour introduire du magnésium dans la cuve de précipitation. LU503271

18. Installation selon la revendication 17, dans laquelle le dispositif d'ajout du phosphore est une pompe doseuse, de préférence une pompe à membrane.
19. Installation selon la revendication 17 ou 18, dans laquelle le dispositif d'ajout du magnésium est une vis sans fin, de préférence une vis sans fin avec un réservoir de stockage.
20. Installation selon l'une quelconque des revendications 17 à 19, dans laquelle la cuve de précipitation comprend un dispositif d'agitation et/ou une sonde de mesure de pH et/ou une sonde de mesure de niveau et/ou un compresseur à air.
21. Installation selon l'une quelconque des revendications 17 à 20, comprenant en outre un bassin de sédimentation agencé en aval de la cuve de précipitation, le bassin de sédimentation comprenant une sortie en communication fluidique avec l'entrée d'eau de la cuve de précipitation.
22. Installation selon la revendication 21, comprenant en outre un dispositif de filtration, de préférence un dispositif de filtration membranaire, comprenant une entrée de filtration en communication fluidique avec la sortie du bassin de sédimentation et une sortie d'eau filtrée en communication fluidique avec l'entrée d'eau de la cuve de précipitation.
23. Installation selon l'une quelconque des revendications 17 à 22, comprenant en outre un dispositif de séparation du solide précipité, de préférence un séparateur à lamelles, comprenant une entrée en communication fluidique avec la sortie de la cuve de précipitation.
24. Installation selon la revendication 23, comprenant en outre une seconde installation de filtration, de préférence une installation d'osmose inverse, agencée en communication fluidique avec une sortie du dispositif de séparation du solide précipité.

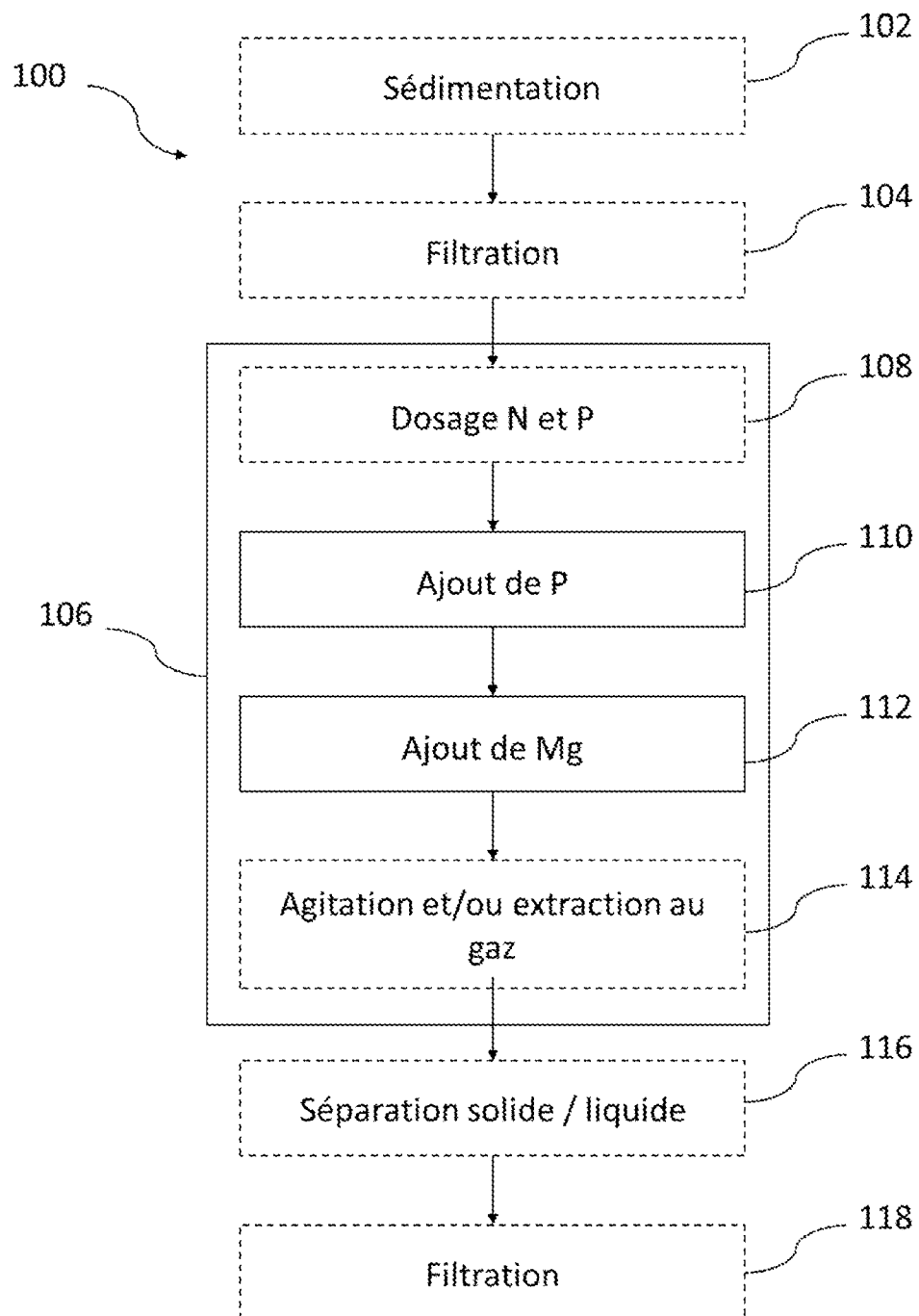


Figure 1

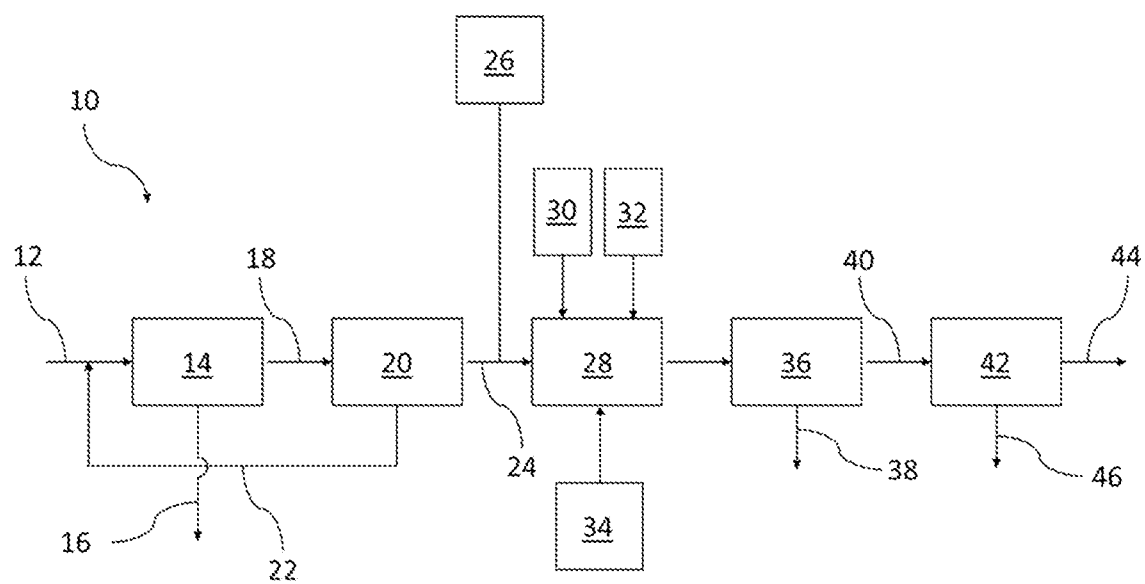


Figure 2