

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2012/104330 A1**

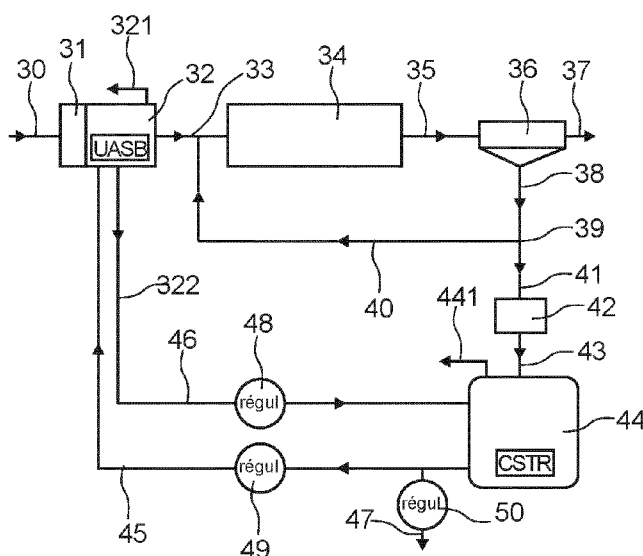
(43) Date de la publication internationale  
9 août 2012 (09.08.2012)

- (51) Classification internationale des brevets :  
C02F 3/00 (2006.01) C02F 3/28 (2006.01)  
C02F 3/30 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2012/051636
- (22) Date de dépôt international :  
1 février 2012 (01.02.2012)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
1150766 1 février 2011 (01.02.2011) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **VEOLIA WATER SOLUTIONS & TECHNOLOGIES SUPPORT** [FR/FR]; L' Aquarène, 1 place Montgolfier, F-94417 Saint-Maurice Cedex (FR).
- (72) Inventeur; et
- (75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **ARNAUD, Thierry** [FR/FR]; 350 cours Gambetta, F-84250 Le Thor (FR).
- (74) Mandataire : **LARCHER, Dominique**; Technopôle Atlantique, 16B rue de Jouanet, Bretagne, F-35703 Rennes Cedex 7 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : PLANT AND PROCESS FOR TREATING A LIQUID EFFLUENT COMPRISING A METHANE FERMENTATION, A BIOLOGICAL TREATMENT, A DIGESTION OF METHANE-FERMENTED SLUDGES AND OF BIOLOGICAL SLUDGES, AND A METHANE FERMENTATION OF DIGESTED SLUDGES

(54) Titre : INSTALLATION ET PROCEDE DE TRAITEMENT D'UN EFFLUENT LIQUIDE COMPRENANT UNE METHANISATION, UN TRAITEMENT BIOLOGIQUE, UNE DIGESTION DE BOUES METHANISEES ET DE BOUES BIOLOGIQUES, ET UNE METHANISATION DE BOUES DIGEREES



**Fig. 3**

(57) Abstract : The invention relates to a process for treating liquid effluent, said process comprising a step of methane fermentation of said effluent within a methane fermenter (32) producing biogas, methane-fermented sludges and a methane-fermented effluent, a step of biological treatment of said methane-fermented effluent within a biological treatment zone (34) producing biological sludges and a treated effluent, a step of extraction of thickened biological sludges from said biological treatment zone (34), a step of anaerobic digestion of at least one portion of said methane-fermented sludges and of said thickened biological sludges within a digester (44) producing biogas and digested sludges, a step of recirculating at least one portion of said digested sludges to said methane fermenter (21), and a step of extracting at least one portion of the digested sludges.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2012/104330 A1



---

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

---

L'invention concerne un procédé de traitement d'effluent liquide, ledit procédé comprenant une étape de méthanisation dudit effluent au sein d'un méthaniseur (32) produisant du biogaz, des boues méthanisées et un effluent méthanisé, une étape de traitement biologique dudit effluent méthanisé au sein d'une zone de traitement biologique (34) produisant des boues biologiques et un effluent traité, une étape d'extraction de boues biologique épaissies de ladite zone de traitement biologique (34), une étape de digestion anaérobie d'au moins une partie desdites boues méthanisées et desdites boues biologiques épaissies au sein d'un digesteur (44) produisant du biogaz et des boues digérées, une étape de recirculation d'au moins une partie desdites boues digérées dans ledit méthaniseur (21), et une étape d'extraction d'au moins une partie des boues digérées.

INSTALLATION ET PROCEDE DE TRAITEMENT D'UN EFFLUENT LIQUIDE COMPRENANT UNE METHANISATION, UN TRAITEMENT BIOLOGIQUE, UNE DIGESTION DE BOUES METHANISEES ET DE BOUES BIOLOGIQUES, ET UNE METHANISATION DE BOUES DIGEREES

**1. Domaine de l'invention**

5 Le domaine de l'invention est celui du traitement d'effluents en vue de leur épuration.

L'invention trouve plus précisément une application notamment dans le domaine du traitement des effluents résiduels urbains ou industriels.

**2. Art antérieur et ses inconvénients**

10 Les effluents résiduels urbains ou industriels sont classiquement traités en vue de leur épuration avant d'être rejetés dans le milieu naturel.

Une technique couramment mise en œuvre en vue d'épurer ce type d'effluent 10 consiste, en référence à la figure 1, à l'acheminer dans des moyens de prétraitement 11. Ces moyens de prétraitement 11 comprennent généralement des moyens de dégrillage, des moyens de dessablage, des moyens de déshuilage, et un réacteur de méthanisation de type UASB (pour Upflow Anaerobic Sludge Blanket en langue anglaise). La mise en œuvre de ces moyens de prétraitement 11 conduit à la production de boues primaires 12, de biogaz brûlé en torchère et d'un effluent prétraité. Ce dernier, en fonction du type de traitement amont, est acheminé vers des moyens de traitement biologique 13 comprenant par exemple un réacteur aérobique à boues activées, un biofiltre, des biodisques, des lagunes... L'effluent provenant des moyens de traitement biologique 13 est introduit dans un décanteur 14. La mise en œuvre du décanteur 14 permet de produire un effluent traité 15 qui peut être acheminé vers un traitement ultérieur ou rejeté dans le milieu naturel. Elle conduit également à produire des boues biologiques. Une première partie 16 des boues biologiques est recirculée en amont des moyens de traitement biologique 13 pour y réguler la concentration en boues et éventuellement dans le réacteur UASB. Une seconde partie 17 des boues biologiques est dirigée avec les boues primaires 12 vers des moyens de traitement 18 dont la mise en œuvre conduit à épaissir ou déshydrater les boues. Les boues

15  
20  
25  
30

traitées 19 sont ensuite généralement orientées vers des filières de valorisation agronomique.

La mise en œuvre d'une technique UASB est avantageuse dans la mesure où elle permet d'abattre, à bas coût énergétique, environ 50 à 80% de la DCO  
5 contenu dans l'effluent à traiter.

Cette technique présente néanmoins quelques inconvénients.

Le rendement d'une telle technique, en termes d'abattement de la DCO, baisse de manière importante lorsque la température de l'effluent à traiter se situe en dessous de 17 à 18°C. En outre, compte tenu des débits importants d'effluent à  
10 traiter, il est impossible, à tout le moins sans engager des dépenses énergétiques déraisonnables, de les chauffer de manière à les porter à une température à laquelle le rendement serait meilleur. Par conséquent, la mise en œuvre d'une telle technique, bien qu'elle permette en principe d'abattre de manière satisfaisante et à faible coût la DCO, n'est pas envisageable dans les régions du monde dans  
15 lesquelles la température des effluents à traiter se situe continuellement ou saisonnièrement en dessous de 15°C. Pour maintenir des rendements satisfaisants à des températures de moins de 15°C, le temps de séjour hydraulique des effluents dans le réacteur UASB devrait être porté à plus de 22 heures. Le volume du réacteur UASB devrait alors être multiplié par 2,5 ce qui remet en cause la  
20 viabilité économique de cette technique pour le traitement d'effluents dont la température est inférieure à 15°C.

Un autre inconvénient de cette technique de l'art antérieur réside dans le fait que son rendement en termes d'abattement de l'azote et du phosphore est quasiment nul. Il en résulte que le rapport entre la concentration en carbone et la  
25 concentration en azote d'un effluent traité en sortie du méthaniseur (ou réacteur UASB) est fortement déséquilibrée, les techniques classiques de dénitrification par zone d'anoxie ne permettant pas de rompre un tel déséquilibre. Par conséquent, la mise en œuvre d'une telle technique dans des régions du monde dans lesquelles les réglementations en termes de rejet d'azote sont  
30 particulièrement sévères est difficile voir impossible.

Par ailleurs, on estime que 15 à 50% du biogaz formé au cours de la méthanisation d'un effluent à traiter s'échappe en dehors du méthaniseur avec l'effluent traité puis est libéré dans l'atmosphère en aval du méthaniseur. Une partie du biogaz formé n'est donc pas valorisée mais est au contraire rejetée dans  
5 l'atmosphère où il participe à l'effet de serre. Il en résulte qu'une telle technique bénéficie d'un bilan carbone défavorable ce qui ternit son image sur le marché des techniques d'épuration.

Un autre inconvénient de cette technique de l'art antérieur est lié au fait qu'elle génère la production d'un volume relativement important de boues.

### 10 **3. Objectifs de l'invention**

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

Plus précisément, un objectif de l'invention est de fournir, dans au moins un mode de réalisation, une technique de traitement d'effluent liquide par  
15 méthanisation qui permette de diminuer la production de boues comparativement aux techniques de l'art antérieur.

Un autre objectif de l'invention est de mettre en œuvre une telle technique qui permette, dans au moins un mode de réalisation, d'augmenter la production de biogaz comparativement aux techniques de l'art antérieur.

20 L'invention a encore pour objectif de procurer, dans au moins un mode de réalisation, une telle technique qui puisse être mise en œuvre dans de nombreuses régions du monde, y compris celle dans lesquelles la température des effluents à traiter se situe continuellement ou saisonnièrement en dessous de 15°C.

L'invention vise également à offrir, dans au moins un mode de réalisation,  
25 une telle technique qui puisse être mise en œuvre dans un encombrement relativement réduit et qui soit simple, fiable et bon marché.

### **4. Exposé de l'invention**

Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont atteints à l'aide d'un procédé de traitement d'effluent liquide dont la température est  
30 comprise entre 5 et 15°C, qui selon l'invention comprend :

- une étape de méthanisation dudit effluent au sein d'un méthaniseur produisant du biogaz, des boues méthanisées et un effluent méthanisé ;
- une étape de traitement biologique dudit effluent méthanisé au sein d'une zone de traitement biologique produisant des boues biologiques et un effluent traité ;
- 5 - une étape d'extraction de boues biologiques épaissies de ladite zone de traitement biologique ;
- une étape de digestion anaérobie d'au moins une partie desdites boues méthanisées et desdites boues biologiques épaissies au sein d'un digesteur produisant du biogaz et des boues digérées ;
- 10 - une étape de recirculation d'au moins une partie desdites boues digérées dans ledit méthaniseur ;
- une étape d'extraction d'au moins une partie des boues digérées.

Ainsi, l'invention repose sur une technique tout à fait originale de traitement d'un effluent liquide comprenant une méthanisation de l'effluent au sein d'un méthaniseur, un traitement biologique de l'effluent méthanisé provenant du méthaniseur, une extraction des boues biologiques épaissies provenant du traitement biologique, une digestion anaérobie d'au moins une partie des boues méthanisées et des boues biologiques épaissies, et une recirculation d'au moins une partie des boues digérées vers le méthaniseur.

15

20

Dans Mahmoud, N. et Al (2003) Anaerobic sewage treatment in one-stage UASB and a combined UASB-digester system. Seventh International Water Technology Conference Egypt, 307-322, et Mahmoud, N. (2008) High strength sewage treatment in a UASB reactor and an integrated UASB-digester system. Bioresource Technology 99, 7531-7538, les auteurs prévoient, en référence à la figure 2, de traiter un effluent 20 en l'introduisant dans un méthaniseur de type UASB 21 pour produire un effluent traité 22, des boues primaires 23 et du biogaz 24. Les boues primaires 23 sont introduites dans un digesteur de type CSTR 26 dont la mise en œuvre permet de produire du biogaz et des boues digérées 27. Les boues digérées 27 sont ensuite réintroduites dans le méthaniseur 21. Ils indiquent

25

30

que cette mise en œuvre peut permettre d'augmenter l'abattement de la teneur en DCO de l'effluent à traiter, de réduire le volume de boues produites, d'améliorer la stabilité et la décantabilité des boues produites, d'augmenter la production de biogaz. L'attention du lecteur est toutefois attirée sur le fait que l'efficacité d'une telle mise en œuvre pour traiter des effluents à basse température, c'est-à-dire à une température inférieure à 15°C, reste à démontrer.

Au cours de la mise au point de la technique selon l'invention, les inventeurs ont mis en relation, sous couvert de confidentialité, le méthaniseur 11 d'une installation classique selon l'art antérieur illustré à la figure 1 avec un digesteur de type CSTR selon les enseignements de N. Mahmoud.

Ils ont ensuite, toujours sous couvert de confidentialité, réalisé des essais pour vérifier l'efficacité d'une telle mise en œuvre. Ils se sont alors aperçu qu'une installation de ce type nécessitait la mise en œuvre d'un digesteur dont le volume est tellement important, que sa mise en œuvre est en définitive non compétitive notamment à l'investissement et sur le plan énergétique du fait que le biogaz produit est insuffisant pour mettre en température le digesteur.

Les inventeurs ont dans ces conditions recherché une solution technique qui permettrait de mettre en œuvre, à basse température, une technique de traitement d'effluent intégrant une méthanisation dont on sait que la mise en œuvre à haute température présente l'avantage de permettre d'abattre de manière satisfaisante la teneur en DCO de l'effluent à traiter.

Les inventeurs ont alors pensé à recirculer au moins une partie des boues biologiques au sein du digesteur, et se sont aperçus que cette mise en œuvre conduisait, de manière tout à fait surprenante, notamment à :

- réduire de manière importante le volume du digesteur ;
- réduire la production de boues ;
- augmenter la production de biogaz.

Le fait de recirculer au moins une partie des boues biologiques dans le digesteur est contraire aux a priori de l'homme du métier qui, dans une installation du type de celle illustrée à la figure 1, ne met jamais en œuvre de digesteur pour

traiter les boues biologiques considérant que la digestion anaérobie est déjà mise en œuvre au cours de la méthanisation.

La mise en œuvre d'une technique selon l'invention permet de réduire le volume du digesteur. En effet, l'intégration de la technique de N. Mahmoud dans  
5 une installation de l'art antérieur selon la figure 1 conduit à mettre en œuvre une installation selon la figure 4 dont le volume du digesteur est 1,3 fois inférieur à celui du méthaniseur, alors que la mise en œuvre de la technique selon l'invention peut conduire à mettre en œuvre un digesteur dont le volume est entre 3 et 9 fois inférieur à celui du méthaniseur.

10 La mise en œuvre de cette technique permet de diminuer la production globale de boues. En effet, les boues produites sont digérées selon deux modes différents. Ainsi, une partie des boues qui est insensible à l'un des modes de digestion, le sera davantage à l'autre. En outre, la recirculation des boues vers le méthaniseur permet d'ensemencer ce dernier par de la biomasse anaérobie active  
15 provenant du digesteur. Cette biomasse, qui est active, ne nécessite aucun temps de maturation pour agir au sein du méthaniseur. Cette recirculation contribue par conséquent à augmenter le rendement de la méthanisation.

La mise en œuvre de la technique selon l'invention permet donc d'accroître la solubilisation de la fraction organique particulaire des boues ce qui  
20 contribue d'une part à diminuer la production de boues et d'autre part à augmenter la production de biogaz.

La fraction organique particulaire des effluents liquides à traiter est difficile à abattre par méthanisation psychrophile à basse température. La solubilisation de cette fraction organique est améliorée par l'apport des boues  
25 anaérobies mésophiles provenant du digesteur. Ceci permet donc de pallier aux limites de rendement de la méthanisation à basse température.

La technique selon l'invention permet ainsi de traiter de manière efficace un effluent dont la température est comprise entre 5 et 15°C.

Selon une caractéristique avantageuse, ladite digestion est de type  
30 mésophile ou thermophile.

Selon une autre caractéristique avantageuse, ladite méthanisation est de type psychrophile ou mésophile.

Les modes de fonctionnement de la digestion et de la méthanisation pourront ainsi être choisis avantageusement selon la nature de l'effluent à traiter.

- 5 Si l'effluent à traiter est une eau résiduaire urbaine, la méthanisation sera préférentiellement psychrophile et la digestion mésophile, alors que si l'effluent à traiter est une eau résiduaire industrielle, la méthanisation et la digestion seront préférentiellement mésophiles. Le régime thermophile sera appliqué seulement sur les digesteurs de boues et en fonction de paramètres locaux comme la
- 10 température des effluents et/ou les contraintes d'implantation. Ce régime permet généralement de réduire le volume du digesteur. Il est toutefois plus énergivore.

Selon un mode de réalisation préférentiel, ladite étape de traitement biologique comprend une étape de traitement biologique de type aérobie.

- Le traitement biologique aérobie pourra par exemple mettre en œuvre des
- 15 boues activées, un biofiltre, des biodisques, un réacteur biologique séquencé (SBR)...

- La méthanisation permet d'abattre environ 50 à 70 % de la DCO de l'effluent à traiter. Le traitement biologique aérobie permet d'éliminer la DCO résiduelle contenue dans l'effluent méthanisé afin d'atteindre des normes de rejet
- 20 acceptables pour le milieu naturel. Ainsi, en aval du traitement biologique, l'abattement total de la DCO et des MES est supérieur à 95%, l'abattement des MES étant obtenu en séparant les boues biologiques de l'effluent traité.

- Le traitement biologique peut également permettre d'éliminer au moins une partie de l'azote (par exemple par nitrification poussée) et/ou du phosphore
- 25 contenu dans l'effluent à traiter et qui n'a pas été éliminée par la méthanisation.

Dans une variante préférentielle, ladite étape de traitement biologique comprend une étape de traitement biologique de type anoxie.

- La mise en œuvre d'une telle étape de traitement biologique anoxie peut permettre d'éliminer au moins une partie de l'azote et/ou du phosphore contenu
- 30 dans l'effluent à traiter qui n'a pas été éliminée par le traitement biologique

aérobie.

Le phosphore pourra également être éliminé au moins en partie par simple voie physico-chimique par adjonction de chlorure ferrique ou d'un réactif équivalent.

5 La zone de traitement biologique comprendra des moyens permettant de séparer les boues biologiques de l'effluent traité. Ces moyens pourront par exemple comprendre un décanteur, un bloc membrane, un flottateur, des disques filtrants, etc.). Les boues biologiques séparées de l'effluent traité pourront classiquement être épaissies avant d'être extraites. À titre d'exemple, dans le cas  
10 d'un décanteur, les boues biologiques épaissies seront extraites en partie inférieure du décanteur, dans le cas d'un bloc membrane, les boues biologiques seront recueillies par rétrolavage... l'épaississement des boues permet de les pré-concentrer avant de les recirculer.

Un procédé selon l'invention comprend de manière préférée une étape de  
15 recirculation d'au moins une partie desdites boues biologiques épaissies en amont de la zone de traitement biologique qui comprendra par exemple un réacteur biologique sous aérobie ou sous anoxie (par exemple un réacteur de dénitrification). Il pourra donc être aéré ou non.

Un procédé selon l'invention comprend avantageusement une étape de  
20 contrôle du débit de recirculation des boues digérées dans ledit méthaniseur, une étape de contrôle du débit de recirculation des boues méthanisées dans ledit digesteur, et une étape de contrôle du débit d'extraction desdites boues digérées.

Lesdits débits de recirculation et d'extraction seront alors préférentiellement contrôlés de manière à maintenir la concentration de boues  
25 dans ledit méthaniseur et dans ledit digesteur respectivement comprises entre 10 et 100 gMVS/L et 30 et 100 gMVS/L selon la température dudit effluent à traiter. L'abréviation MVS signifie Matières Volatiles en Suspension.

Une telle mise en œuvre permet de traiter un effluent dont la température est comprise entre 5 et 15°C dans un encombrement réduit en maximisant la  
30 production de biogaz et en diminuant la production de boues.

La présente invention concerne également une installation de traitement d'effluent, ladite installation comprenant :

- 5 - un méthaniseur comprenant une entrée pour ledit effluent, une sortie de biogaz, une sortie de boues méthanisées et une sortie d'effluent méthanisé ;
- des moyens de traitement biologique comprenant une entrée pour ledit effluent méthanisé, et une sortie de boues biologiques ;
- une sortie d'effluent traité ;
- une sortie de boues biologiques épaissies ;
- 10 - des moyens de digestion comprenant une première entrée coopérant avec des moyens de recirculation de boues méthanisées, une deuxième entrée de boues biologiques épaissies, une sortie de biogaz et une sortie de boues digérées ;
- des moyens de recirculation d'au moins une partie desdites boues digérées
- 15 dans ledit méthaniseur ;
- des moyens d'extraction d'au moins une partie desdites boues digérées.

Une telle installation de traitement d'effluent comprend préférentiellement des moyens de régulation desdits moyens de recirculation et des moyens d'extraction.

- 20 Selon des variantes avantageuses, ledit méthaniseur pourra être de type UASB ou HUSB ou AnMBR, c'est-à-dire un bioréacteur anaérobie à membranes ou Anaerobic Membrane Bio Reactor en langue anglaise).

### 5. Liste des figures

25 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés, parmi lesquels :

- les figures 1 et 2 illustrent des schémas de deux types d'installation de traitement d'un effluent liquide selon l'art antérieur ;
- 30 - la figure 3 illustre le schéma d'une installation de traitement d'un effluent

liquide selon l'invention ;

- la figure 4 illustre le schéma d'une installation de traitement d'effluent comprenant un méthaniseur UASB et un digesteur CSTR en communication ;
- 5 - la figure 5 illustre le schéma d'une variante d'une installation selon l'invention mettant en œuvre un méthaniseur de type AnMBR en lieu et place d'un méthaniseur UASB.

## **6. Description d'un mode de réalisation de l'invention**

### **6.1. Rappel du principe de l'invention**

10 Le principe général de l'invention repose sur une technique tout à fait originale de traitement d'un effluent liquide comprenant une méthanisation de l'effluent au sein d'un méthaniseur, un traitement biologique de l'effluent méthanisé provenant du méthaniseur, une extraction de boues biologiques épaissies provenant du traitement biologique, une digestion anaérobie d'au moins  
15 une partie des boues méthanisées et des boues biologiques épaissies, et une recirculation d'au moins une partie des boues digérées vers le méthaniseur.

La mise en œuvre d'une telle technique permet :

- de traiter un effluent dont la température est comprise entre 5 et 15°C dans une installation compacte,
- 20 - de diminuer la production de boues, et
- d'augmenter la production de biogaz.

### **6.2. Exemple d'une installation de traitement d'effluent liquide selon l'invention**

On présente, en relation avec la figure 3, un mode de réalisation d'une  
25 installation de traitement d'un effluent liquide selon l'invention.

Ainsi que cela est représenté sur cette figure 3, une telle installation comprend une canalisation d'amenée d'un effluent à traiter 30. Cette canalisation 30 débouche à l'entrée de moyens de prétraitement.

Les moyens de prétraitement comprennent des moyens de dégrillage, 30 dessablage et déshuilage 31, et un méthaniseur 32.

Dans ce mode de réalisation, le méthaniseur 32 est du type à lit de boues anaérobies expansées (ou UASB pour Upflow Anaerobic Sludge Blanket en langue anglaise) prévu pour fonctionner en mode psychrophile. Dans une variante, il pourra fonctionner en mode mésophile. Dans une autre variante, il pourra s'agir  
5 d'un méthaniseur du type à lit de boues hydrolysées expansées (ou HUSB pour Hydrolysis Upflow Sludge Blanket en langue anglaise).

Le méthaniseur 32 loge un séparateur triphasique. Il comprend une sortie de biogaz 321 qui est reliée à des moyens de traitement, de stockage et de valorisation (non représentés) dont la mise en œuvre peut permettre la production  
10 de chaleur et d'électricité. Le méthaniseur 32 comprend également une sortie d'effluent méthanisé 33 et une sortie de boues méthanisées 322.

La sortie d'effluent méthanisé 33 est reliée à l'entrée d'un réacteur biologique 34 à boues biologiques activées. Dans des variantes, d'autres techniques de traitement biologique pourront être mises en œuvre comme par  
15 exemple les technologies à cultures fixées comme Biostyr®, MBBR AnoxKaldnes® ou autres à cultures fixées ou hybrides, à bioréacteur à membranes ou à disques, à réacteur biologique séquentiel...

Ce réacteur biologique 34 loge des moyens d'aération (non représentés). Il comprend une sortie qui est reliée par une canalisation 35 à l'entrée d'un  
20 décanteur 36.

Le décanteur 36 comprend une sortie d'effluent traité 37 et une sortie de boues biologiques épaissies 38. Dans une variante, d'autres moyens de séparation liquide/solide pourront être mis en œuvre, comme par exemple des moyens d'aéroflottation, des moyens de filtration...

25 La sortie 38 est reliée par une canalisation à un moyen de raccordement en forme de T 39.

Ce moyen de raccordement en forme de T 39 est relié à une canalisation 40 qui débouche dans la sortie 33 en amont du réacteur biologique 34. Le moyen de raccordement en forme de T 39 est également relié à une canalisation 41 qui  
30 débouche dans des moyens d'épaississement ou de déshydratation 42 des boues

biologiques.

Ces moyens d'épaississement ou de déshydratation 42 comprennent dans ce mode de réalisation un épaisseur. Dans des variantes, ils pourront par exemple comprendre un dispositif d'égouttage, de pressage, de centrifugation...

5 Les moyens d'épaississement ou de déshydratation 42 des boues biologiques comprennent une sortie de jus d'épaississement (non représentée) qui débouche en amont du réacteur biologique 34. Il comprend également une sortie de boues biologiques épaissies qui est reliée par une canalisation 43 à l'entrée d'un digesteur anaérobie 44.

10 Le digesteur anaérobie 44 est du type agité en permanence (ou CSTR pour Continuously Stirred Tank Reactor en langue anglaise) et est prévu pour fonctionner en mode mésophile. Dans une variante, il pourra fonctionner en mode thermophile. Il comprend une sortie de biogaz 441 qui est reliée aux moyens de traitement, de stockage et de valorisation. Il comprend en outre une sortie de  
15 boues digérées qui est reliée au méthaniseur 32 par une canalisation 45. Une canalisation d'extraction de boues digérées 47 est reliée à la canalisation 45.

La sortie de boues méthanisées 322 est reliée au digesteur 44 par une canalisation 46.

20 Les moyens de traitement de biogaz pourront être du type à dévisiculaire, à désulfuration ou à élimination de siloxanes. Les moyens de stockage de biogaz pourront être du type à compression pour permettre l'alimentation d'une chaudière ou d'un cogénérateur. Les moyens de valorisation pourront comprendre une chaudière ou un cogénérateur.

25 Le biogaz produit au sein du méthaniseur 32 et du digesteur 44 comprend approximativement 70% de méthane et 30% de dioxyde de carbone. Il peut être employé pour produire de la chaleur nécessaire à chauffer le digesteur 44 et de l'électricité utilisée par exemple pour mettre en œuvre l'installation de traitement d'effluent. En cas de présence de produits gênants (sulfure d'hydrogènes, siloxanes...), il pourra faire l'objet d'un traitement spécifique avant d'être  
30 valorisé. En cas de production importante, il pourra être exporté en dehors de

l'installation.

Cette installation comprend en outre un système de régulation. Ce système de régulation comprend des moyens de mesure :

- de la température de l'effluent à traiter ;
- 5 - du pH de l'effluent à traiter ;
- du débit de biogaz provenant du méthaniseur 32 et du digesteur 44 ;
- de la concentration en DCO à l'entrée du méthaniseur 32 et à l'entrée du digesteur 44 ;
- de mesure du débit de boues entrant dans le méthaniseur 32 et dans le
- 10 digesteur 44.

Le système de régulation comprend des vannes et/ou pompes à débits variables 48, 49 et 50 qui permettent respectivement de modifier le débit de boues méthanisées introduites dans le digesteur 44, de modifier le débit de boues digérées introduites dans le méthaniseur 32 et de modifier le débit de boues

15 digérées extraites de l'installation.

Le système de contrôle comprend également des moyens de commande auxquels sont reliés les moyens de mesure et les vannes 48, 49, 50.

Pour fonctionner de manière optimale, c'est-à-dire pour maximiser la production de biogaz, minimiser la production de boues, y compris pour des

20 effluents à traiter ayant une température comprise entre 5 et 15°C :

- la charge massique appliquée au méthaniseur 32 doit être comprise entre 0,05 et 0,6 Kg DCO/KgMVS/jour ;
- la charge massique appliquée au digesteur 44 doit être comprise entre 0,075 et 0,225Kg DCO/KgMVS/jour ;
- 25 - le pH de l'effluent à traiter doit être compris entre 6,5 et 7,5.

L'abréviation MVS signifie Matières Volatiles en Suspension.

À partir des données mesurées par les moyens de mesures et des contraintes énoncées ci-avant, les moyens de commande pilotent l'ouverture des vannes 48, 49, 50 pour ajuster les débits de recirculation et d'extraction de boues

30 de façon telle que la concentration en boues dans le digesteur 44 soit comprise

entre 30 et 100g MVS/L et que la concentration en boues dans le méthaniseur 32 soit comprise entre 10 et 100g MVS/L.

Lorsque la température de l'effluent baisse, l'activité de la biomasse au sein du méthaniseur 32 diminue. L'activité de la biomasse anaérobie dans le digesteur 44 doit alors être augmentée pour diminuer la charge massique. Les recirculations de boues méthanisées vers le digesteur 44 et de boues digérées vers le méthaniseur 32 sont alors augmentées alors que l'extraction de boues digérées est réduite.

L'extraction des boues depuis l'un ou les deux réacteurs 32, 44 permet d'adapter les charges massiques dans chaque réacteur de façon à ce qu'elles restent dans les intervalles mentionnés ci-dessus lorsque la recirculation de boues entre les réacteurs ne permet pas de compenser les variations brutales de température et de charge entrante.

L'activité méthanogène de la biomasse anaérobie est directement dépendante de la température, comme l'exprime le tableau ci-dessous :

Temperature °C	Activité méthanogène spécifique kg DCOméthanisée/kgMVS/j	Activité relative %
35	1.2	100
30	0.90	75
25	0.60	50
20	0.42(1)	35
15	0.21(1)	17

Note (1) Valeurs extrapolées à partir des données entre 20 et 25°C.

L'objectif des régulations est de maintenir le méthaniseur et le digesteur dans les conditions optimales d'activité méthanogène afin de diminuer la production de boues et d'augmenter la production de biogaz.

Le digesteur est toujours régulé à la température optimale, mais pas le méthaniseur. Donc ce dernier doit êtreensemencé en continu par de la biomasse provenant du digesteur afin de bénéficier d'une activité méthanogène optimale.

Plus la température des effluents est basse en entrée du méthaniseur, plus la recirculation de biomasse anaérobie provenant du digesteur devra être

importante pour compenser la baisse de température (donc la baisse d'activité méthanogène). Inversement, plus la température de l'effluent à traiter est élevée, plus la recirculation de biomasse anaérobie provenant du digesteur est faible.

Cependant, ces variations de recirculation des boues entre le méthaniseur  
5 et le digesteur doivent être effectuées dans le respect des charges massiques appliquées afin d'éviter une surcharge organique ou un excès de boues dans chacun des réacteurs. C'est pour cette raison que le débit d'extraction des boues en excès est également régulé en fonction des fluctuations des paramètres précédemment évoqués.

### 10           **6.3. Exemple d'un procédé de traitement d'un effluent liquide selon l'invention**

Le traitement d'un effluent au moyen d'une installation telle qu'elle vient d'être décrite consiste à acheminer via la canalisation 30 cet effluent vers les moyens de prétraitement 31 de manière telle qu'il soit débarrassé des sables et des  
15 huiles qu'il contient. L'effluent dessablé et déshuilé est ensuite introduit dans le réacteur de type UASB 32 au sein duquel il subit une méthanisation.

Pour le traitement des eaux résiduaires urbaines, le méthaniseur 32 fonctionnera en mode psychrophile, à la température ambiante des eaux résiduaires sans chauffage, avec un temps de séjour hydraulique des effluents  
20 compris entre 2 et 15 heures, avantageusement entre 2 et 12 heures, pour assurer leur méthanisation.

Pour le traitement des eaux résiduaires industrielles, le méthaniseur 32 fonctionnera en mode mésophile, à une température située autour de 37°C, avec un temps de séjour hydraulique des boues de quelques heures selon la charge  
25 volumique appliquée qui se situe généralement entre 5 et 30 Kg DCO/m<sup>3</sup>/j.

Cette méthanisation conduit à la production de biogaz qui est stocké, traité et revalorisé, et d'un effluent prétraité.

L'effluent méthanisé est introduit dans les moyens de traitement biologique 34 au sein desquels il subit un traitement biologique. Ce traitement  
30 biologique conduit à la production de boues biologiques.

Les boues biologiques sont acheminées vers le décanteur 36 dont la mise en œuvre permet la production d'un effluent traité 37 et de boues biologiques épaissies 38.

5 Les boues biologiques épaissies sont en partie recirculées à l'entrée des moyens de traitement biologique 34. Cette recirculation permet de réguler de manière classique la concentration en boues dans les moyens de traitement biologique 34. Le reste des boues biologiques épaissies est introduit dans les moyens de traitement de boues 42. Les boues biologiques y sont déshydratées et/ou épaissies avant d'être introduites dans le réacteur 44 de type CSTR.

10 Les boues biologiques épaissies sont mélangées dans ce réacteur 44 avec les boues provenant du méthaniseur 32. Ce mélange de boues subit une digestion anaérobie à l'intérieur du digesteur 44.

Pour le traitement des eaux résiduaires urbaines et industrielles, le digesteur 44 fonctionnera généralement en mode mésophile à une température comprise entre 35 et 37°C, avec un temps de séjour hydraulique des boues compris entre 15 et 20 jours.

Cette digestion conduit à la production de biogaz qui est stocké, traité et revalorisé, et de boues digérées.

20 Une partie des boues digérées est recirculée dans le méthaniseur 32 via la canalisation 45. L'autre partie est extraite de l'installation via la canalisation 47.

#### **6.4. Essais**

##### **6.4.1. Validation en termes de production de biogaz, de boues et de taille de l'installation**

25 Des essais ont été menés, sous le sceau de la confidentialité, pour valider l'efficacité d'une technique de traitement d'effluent selon l'invention.

Les caractéristiques de l'effluent traité au cours de ces essais étaient les suivantes :

- Débit : 250000 m<sup>3</sup>/j ;
- Concentration en DCO : 500 mg/L ;
- 30 - Concentration en DBO<sub>5</sub> : 245 mg/L ;

- Concentration en MES : 240 mg/L ;
- NGL (azote global) : 40 mg/L ;
- PT (phosphore total) : 10 mg/L ;
- Température 20°C.

5 Une première série d'essais a consisté à traiter un tel effluent dans une installation telle que celle qui est illustrée à la figure 4. Cette installation diffère de celle qui est illustrée à la figure 1 du fait que les boues méthanisées 12 sortant du méthaniseur 11 sont recirculées dans un digesteur de type CSTR 40 dont la mise en œuvre conduit à la formation de biogaz 42 et de boues digérées qui sont  
10 en partie recirculées 43 dans le méthaniseur 11 et en partie extraites 41. Dans ce cas, une partie des boues biologiques épaissies ainsi qu'une partie des boues digérées sont extraites directement de l'installation. Il existe donc deux points d'extraction de boues. Le prétraitement était de type méthanisation UASB avec un temps de séjour hydraulique de 8,5 heures à 20°C, le traitement biologique par  
15 boues activées à forte charge, la digestion CSTR de type mésophile en recirculation avec le réacteur UASB.

Une deuxième série d'essais a consisté à traiter un tel effluent dans une installation selon l'invention telle que celle qui est illustrée à la figure 3. Le prétraitement était de type méthanisation UASB avec un temps de séjour  
20 hydraulique de 8,5 heures à 20°C, le traitement biologique par boues activées à forte charge, la digestion CSTR de type mésophile traitant à la fois les boues fraîches provenant de la décantation et les boues biologiques, avec mise en œuvre d'une recirculation entre le réacteur UASB et le digesteur CSTR. Le volume du réacteur CSTR est 1,3 fois inférieur à celui du réacteur UASB.

25 Les résultats consignés dans le tableau suivant mettent en évidence le fait que la mise en œuvre de la technique selon l'invention permet d'augmenter la production de biogaz, de réduire la formation de boues au moyen d'une installation dont le volume du réacteur CSTR est fortement réduit.

Paramètres	Unités	Essais 1	Essais 2
Décanteur Primaire volume	m <sup>3</sup>	0	0
Boues Activées volume	m <sup>3</sup>	30 000	20 000
UASB volume	m <sup>3</sup>	88 800	88 800
CSTR volume	m <sup>3</sup>	68 000	17 600
CH <sub>4</sub> provenant de UASB	m <sup>3</sup> /d	2 093	2 163
CH <sub>4</sub> provenant de CSTR	m <sup>3</sup> /d	18 157	19 782
CH <sub>4</sub> total	m <sup>3</sup> /d	20 250	21 945
Boues produites	kg/d	33 399	26 666
Taux de recirculation UASB / débit entrée	%	23	3
Taux de recirculation CSTR / débit entrée	%	22	0,3

La taille importante du CSTR de l'installation de la figure 4 rend cette technique non compétitive à l'investissement et sur le plan énergétique du fait que le biogaz produit est insuffisant pour mettre en température de CSTR.

- 5 Les résultats consignés dans le tableau suivant mettent en évidence que la mise en œuvre de la technique selon l'invention permet de produire d'avantage d'énergie qu'elle n'en consomme.

	Essais 1	Essais 2
Puissance électrique consommée (Kw)	3172	2482
Energie électrique produite par cogénération avec un moteur à gaz alimenté par le biogaz provenant du méthaniseur et du digesteur (Kw)	2665	2665
Rendement	84%	107%

La diminution de la production globale de boues s'explique d'une part du fait que les temps de rétention des boues en phase anaérobie sont cumulés : soit 30 à 60 jours dans l'UASB et 10 à 20 jours dans le CSTR, donc un temps total de séjour des boues en conditions anaérobies de 40 à 80 jours sur l'ensemble de la station d'épuration.

Elle s'explique d'autre part du fait que la régulation de la recirculation des boues anaérobies entre les deux réacteurs UASB et CSTR permet :

- 15 - de maintenir dans chaque réacteur anaérobie, la charge massique optimale

- en fonction des fluctuations de T°C et de charges entrantes dans chaque réacteur ;
- d'adapter les temps de séjour de boues dans les réacteurs en fonction des fluctuations saisonnières de températures et de charges entrantes dans la station d'épuration ;
  - d'assurer une meilleure hydrolyse des matières organiques (celles qui ne sont pas hydrolysées dans l'UASB, le sont dans le digesteur) ;
  - d'assurer un meilleur rendement de l'UASB qui est régulièrement ensemencé par de la biomasse anaérobie active provenant du digesteur ;
  - d'assurer un meilleur rendement du CSTR qui reçoit, (en continu ou en séquencé), des boues biologiques provenant de l'étape de traitement de finition aérobie et du réacteur UASB.

Le fait de maintenir une production de biogaz optimale, tout en traitant jusqu'à 70 % de la DCO entrant dans la station par voie anaérobie, permet de réduire considérablement la consommation électrique liée principalement à l'alimentation des aérateurs de l'étage de traitement biologique aérobie. Ceci implique que la mise en œuvre d'une technique selon l'invention engendre une consommation électrique faible qui conduit à un bilan énergétique pouvant être positif.

#### 6.4.2. Validation en termes de régulation

Des essais ont été réalisés pour vérifier que la régulation proposée par l'invention était efficace.

Ces essais ont consisté à traiter au sein d'une installation selon l'invention un effluent présentant les caractéristiques suivantes :

- Débit : 250000 m<sup>3</sup>/j ;
- Concentration en DCO : 500 mg/L ;
- Concentration en DBO<sub>5</sub> : 245 mg/L ;
- Concentration en MES : 240 mg/L ;
- NGL (azote global) : 40 mg/L ;
- PT (phosphore total) : 10 mg/L ;

- Température 20°C.

De façon à observer ce qui se passe lorsque la charge entrante augmente, un effluent présentant les caractéristiques suivantes a ensuite été traité sans puis avec mise en œuvre de la régulation de recirculation :

- 5 - Débit : 250000 m<sup>3</sup>/j ;
- Concentration en DCO : 1000 mg/L ;
- Concentration en DBO<sub>5</sub> : 491 mg/L ;
- Concentration en MES : 435 mg/L ;
- NGL (azote global) : 40 mg/L ;
- 10 - PT (phosphore total) : 10 mg/L ;
- Température 20°C.

Les consignes de fonctionnement du réacteur UASB à 20°C étaient les suivantes :

- Temps de séjour hydraulique : 8,5 heures ;
- 15 - pH compris entre 6,5 et 7,5 ;
- charge massique (Cm) environ égale à 0,5 Kg DCO/KgMVS/j.

Les consignes de fonctionnement du réacteur CSTR à 20°C étaient les suivantes :

- Temps de séjour hydraulique : 20 jours ;
- 20 - pH compris entre 6,5 et 7,5 ;
- charge massique (Cm) comprise entre 0,1 et 0,15 Kg DCO/KgMVS/j.

Les résultats consignés dans le tableau suivant montre que si on souhaite maintenir les consignes de fonctionnement (notamment la charge massique et le pH afin d'éviter une acidification et une perte de rendement des réacteurs anaérobies) alors que la charge massique a doublé, la concentration de biomasse dans le réacteur CSTR augmente jusqu'à environ 150 gMVS/L. Cette concentration en MVS n'est pas admissible dans un tel réacteur et provoquerait à court terme un risque de colmatage des conduites hydrauliques et des problèmes de brassage interne.

30 La mise en œuvre de la régulation de recirculation selon l'invention

permet dans ce cas de réduire le débit de recirculation entre le CSTR et l'UASB et d'augmenter le débit d'extraction des boues du CSTR qui passe de 200 à 400 m<sup>3</sup>/h. Ceci permet de revenir à une concentration en MVS acceptable dans le CSTR tout en maintenant les consignes de pilotage des réacteurs.

DCO entrée station (mg/L)	Débit de recirculation CSTR → UASB (m <sup>3</sup> /h)	Débit d'extraction des boues	Concentration biomasse dans CSTR (gMVS/L)	Charge massique appliquée au CSTR (kg DCO/kgMVS/d)	pH CSTR	Charge massique appliquée à l'UASB (kg DCO/kgMVS/d)	pH UASB
500	740	200	76	0,11	6,9	0,5	6,74
1000	740	200	<b>150</b>	0,12	6,39	0,49	6,94
1000	<b>540</b>	<b>400</b>	86	0,15	6,37	0,55	6,93

### 5 6.5. Avantages

La technique selon l'invention permet :

- de réduire la formation de boues ;
- d'augmenter la production de biogaz ;
- d'assurer une mise en œuvre de manière autonome sur le plan énergétique (qui est par exemple impossible lors de la mise en œuvre de l'installation illustrée à la figure 4 du fait de la taille importante du réacteur CSTR et des taux importants de recirculation de boues requis) ;
- de mettre en œuvre une installation comprenant un digesteur CSTR et un méthaniseur UASB de petite taille (le rapport entre le volume du CSTR et le volume de l'UASB est compris entre 3 et 9, et préférentiellement entre 4,5 et 5,5 ce qui rend la technique selon l'invention économiquement viable) ;
- de mettre en œuvre de faibles taux de recirculation des boues ;
- de réguler la recirculation des boues pour adapter la charge massique aux variations saisonnières (fluctuation de charge au cours de la journée, changement de température entre le jour et la nuit, entre les différentes périodes de l'année)
- d'accélérer les phases de démarrage du fait de l'ensemencement continu du réacteur UASB en bactéries anaérobies ;
- de limiter la toxicité des bactéries sulfato-réductrices et les émissions

d'H<sub>2</sub>S.

### 6.6. Variantes

Comme cela a été indiqué précédemment, une technique selon l'invention peut alternativement mettre en œuvre un méthaniseur de type UASB ou de type  
5 HUSB.

À titre informatif, le temps de séjour moyens des effluents à traiter est d'environ 2,5 heures au sein d'un réacteur de type HUSB, et d'environ 8 heures au sein d'un réacteur de type UASB. Le rendement moyen en termes d'abattement de la DCO totale est d'environ 43% au sein d'un HUSB, et  
10 d'environ 50% et peut atteindre en fonctionnement optimum 70% au sein d'un UASB. Le rendement moyen en termes d'abattement des MES est d'environ 83% au sein d'un HUSB, et supérieur à 80% au sein d'un UASB. Les moyens de traitement aérobie des effluents méthanisés en sortie d'un UASB sont moins volumineux que ceux mis en œuvre pour traiter des effluents méthanisés  
15 provenant d'un HUSB. La DCO particulière est partiellement solubilisée et transformée en Acides Gras Volatils (AGV) au sein d'un HUSB. Elle est partiellement solubilisée et transformée en biogaz au sein d'un UASB. En d'autres termes, la dénitrification des effluents méthanisés provenant d'un HUSB est meilleure que celle des effluents méthanisés provenant d'un UASB.

20 Certes, un méthaniseur HUSB produit peu de biogaz. Il transforme néanmoins une partie de la DCO en AGV dont la présence dans les effluents méthanisés provenant de l'HUSB tend à améliorer leur dénitrification ultérieure. En outre, compte tenu de la recirculation entre les deux réacteurs anaérobies, une partie des AGV est quand même transformée en biogaz. Au final, la mise en  
25 œuvre d'un méthaniseur HUSB en substitution d'un réacteur UASB dans une technique selon l'invention conduit à produire une quantité de biogaz globalement satisfaisante. Par ailleurs, le volume d'un méthaniseur HUSB est environ trois fois plus faible que celui d'un méthaniseur UASB, ce qui peut présenter un intérêt sur le plan économique.

30 Tant la mise en œuvre d'un réacteur UASB que celle d'un réacteur HUSB

dans une technique selon l'invention est donc intéressante.

On présente, en référence à la figure 5, une variante d'une installation selon l'invention. Seules les différences entre cette variante et le mode de réalisation précédemment décrit sont ici détaillées.

5 Selon cette variante, le méthaniseur 32 UASB ou HUSB est remplacé par un méthaniseur de type AnMBR (Anaerobic Membrane Bio Reactor). Ce méthaniseur 32 est donc constitué d'un bioréacteur anaérobie à membranes. Un tel bioréacteur anaérobie à membranes peut par exemple être celui commercialisé par la Demanderesse sous la dénomination MEMTHANE ®.

10 Comme cela est représenté sur cette figure 5, un tel méthaniseur 32 comprend un bioréacteur sous anaérobie 320 ainsi qu'une unité de séparation membranaire 323.

Le bioréacteur 320 comprend une entrée d'effluent à traiter dans laquelle débouche une canalisation d'amenée d'un effluent à traiter éventuellement préalablement prétraité 51. Il comprend également une sortie de biogaz 321, une  
15 sortie de boues méthanisées 322 et une sortie d'effluent 324.

La sortie d'effluent 324 débouche à l'entrée de l'unité de séparation membranaire 323.

Cette unité de séparation membranaire 323 loge des membranes de  
20 filtration de micro ou d'ultrafiltration de type minérale, par exemple céramique, ou organique. Elle comprend une sortie d'effluent méthanisé 33 qui débouche dans la zone de traitement biologique 34. Dans ce cas, l'effluent méthanisé est un perméat. Elle comprend également une sortie de retentat reliée à une canalisation de recirculation 325, laquelle débouche dans le bioréacteur 320.

25 La sortie de boues méthanisées 322 du bioréacteur 320 est reliée à une canalisation 46 qui débouche dans le digesteur 44.

Le bioréacteur 320 comprend en outre une entrée de boues digérées dans laquelle débouche une canalisation 45 dont l'entrée est reliée à la sortie du digesteur 44.

30 Le traitement d'un effluent au moyen d'une installation selon la variante

qui vient d'être décrite va à présent être présenté. Seules les principales différences entre ce traitement et celui mettant en œuvre une installation selon le mode de réalisation décrit précédemment seront détaillées ici.

5 Dans ce cas, l'effluent dessablé et déshuilé provenant des moyens de prétraitement 31 est introduit dans le bioréacteur 320 du méthaniseur 32. Il y subit une méthanisation.

Pour le traitement des eaux résiduaires urbaines, le bioréacteur 320 fonctionnera en mode psychrophile, à la température ambiante des eaux résiduaires sans chauffage, avec un temps de séjour hydraulique des effluents  
10 compris entre 2 et 15 heures et avantageusement entre 2 et 12 heures pour assurer leur méthanisation.

Pour le traitement des eaux résiduaires industrielles, le bioréacteur 320 fonctionnera en mode mésophile, à une température située autour de 37°C, avec un temps de séjour hydraulique des boues de quelques heures selon la charge  
15 volumique appliquée qui se situe généralement entre 5 et 30 Kg DCO/m<sup>3</sup>/j.

L'effluent méthanisé généré au cours de cette méthanisation est introduit dans l'unité de séparation membranaire 323 dont la mise en œuvre conduit à la production d'un perméat méthanisé et d'un concentrat.

Le concentrat est recirculé dans le bioréacteur 320 via la canalisation 325.  
20 L'effluent ou perméat méthanisé est introduit via la canalisation 324 dans les moyens de traitement biologique 34 au sein desquels il subit un traitement biologique.

Des boues méthanisées provenant du bioréacteur 320 sont introduites dans le digesteur 44 via la canalisation 46.

25 Le mélange de boues présent dans le digesteur 44 y subit une digestion anaérobie.

Pour le traitement des eaux résiduaires urbaines et industrielles, le digesteur 44 fonctionnera généralement en mode mésophile à une température comprise entre 35 et 37°C, avec un temps de séjour hydraulique des boues  
30 compris entre 15 et 20 jours.

Des boues digérées provenant du digesteur 44 sont introduites dans le bioréacteur 320 via la canalisation 45.

Le traitement classique d'un effluent par méthanisation de type AnMBR ne permet pas de produire de bon résultat lorsque la température de celui-ci est inférieure à 15°C. La mise en œuvre de la technique selon l'invention autorise un traitement efficacement par méthanisation de type AnMBR d'un effluent à basse température, c'est-à-dire dont la température est inférieure ou égale à 15°C et notamment comprise entre 5°C et 15°C.

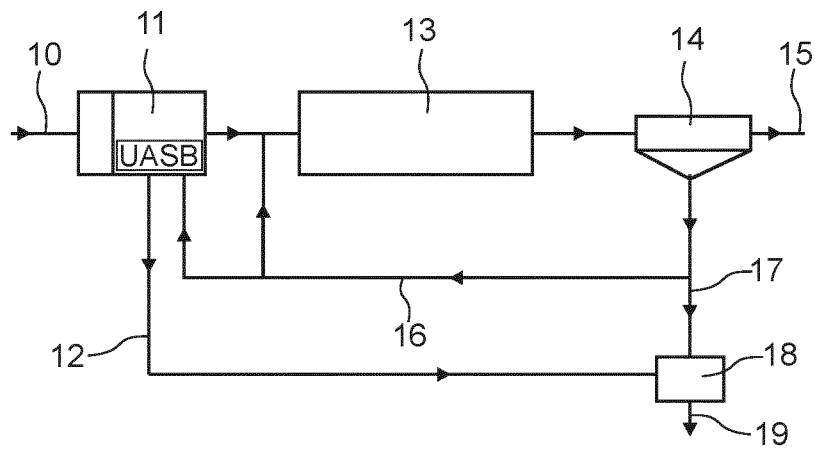
## REVENDICATIONS

1. Procédé de traitement d'effluent liquide dont la température est comprise entre 5 et 15°C, ledit procédé comprenant :
  - une étape de méthanisation dudit effluent au sein d'un méthaniseur (32) produisant du biogaz, des boues méthanisées et un effluent méthanisé;
  - une étape de traitement biologique dudit effluent méthanisé au sein d'une zone de traitement biologique (34) produisant des boues biologiques et un effluent traité ;
  - une étape d'extraction de boues biologiques épaissies de ladite zone de traitement biologique (34) ;
  - une étape de digestion anaérobie d'au moins une partie desdites boues méthanisées et desdites boues biologiques épaissies au sein d'un digesteur (44) produisant du biogaz et des boues digérées ;
  - une étape de recirculation d'au moins une partie desdites boues digérées dans ledit méthaniseur (21) ;
  - une étape d'extraction d'au moins une partie des boues digérées.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite digestion est de type mésophile ou thermophile.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que ladite méthanisation est de type psychrophile ou mésophile.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ladite étape de traitement biologique comprend une étape de traitement biologique de type aérobie.
5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que ladite étape de traitement biologique comprend une étape de traitement biologique de type anoxie.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de recirculation d'au moins une partie desdites boues biologiques épaissies en amont de ladite zone de traitement biologique (34).
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce

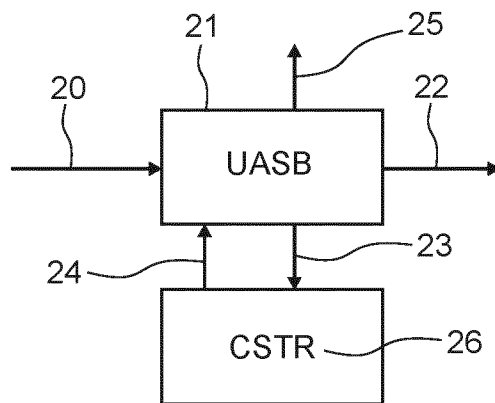
qu'il comprend une étape de contrôle du débit de recirculation des boues digérées dans ledit méthaniseur (32), une étape de contrôle du débit de recirculation des boues méthanisées dans ledit digesteur (44), et une étape de contrôle du débit d'extraction desdites boues digérées.

- 5 **8.** Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que lesdits débits de recirculation et d'extraction sont contrôlés de manière à maintenir la concentration de boues dans ledit méthaniseur (32) et dans ledit digesteur (44) respectivement comprises entre 10 et 100 gMVS/L et 30 et 100 gMVS/L selon la température dudit effluent à traiter.
- 10 **9.** Installation de traitement d'effluent, ladite installation comprenant :
- un méthaniseur (32) comprenant une entrée pour ledit effluent, une sortie de biogaz (321), une sortie de boues méthanisées (322) et une sortie d'effluent méthanisé (33) ;
  - des moyens de traitement biologique (34) comprenant une entrée pour ledit effluent méthanisé, et une sortie de boues biologiques ;
  - 15 - une sortie d'effluent traité (37),
  - une sortie de boues biologiques épaissies (38) ;
  - des moyens de digestion (44) comprenant une première entrée coopérant avec des moyens de recirculation (46) de boues méthanisées, une
  - 20 deuxième entrée de boues biologiques épaissies, une sortie de biogaz (441) et une sortie de boues digérées (47) ;
  - des moyens de recirculation (45) d'une partie desdites boues digérées dans ledit méthaniseur (32) ;
  - des moyens d'extraction (47) d'au moins une partie desdites boues
  - 25 digérées.
- 10.** Installation de traitement d'effluent selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'elle comprend des moyens de régulation desdits moyens de recirculation (46, 45) et des moyens d'extraction (47).
- 11.** Installation selon l'une quelconque des revendications 9 ou 10, caractérisé
- 30 en ce que ledit méthaniseur est de type UASB ou HUSB.

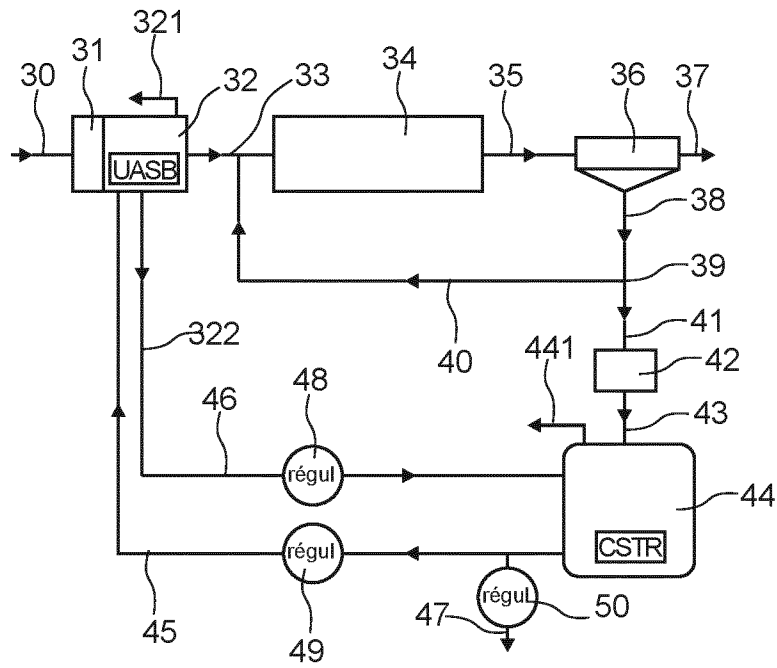
12. Installation selon l'une quelconque des revendications 9 ou 10, caractérisé en ce que ledit méthaniseur est de type AnMBR.



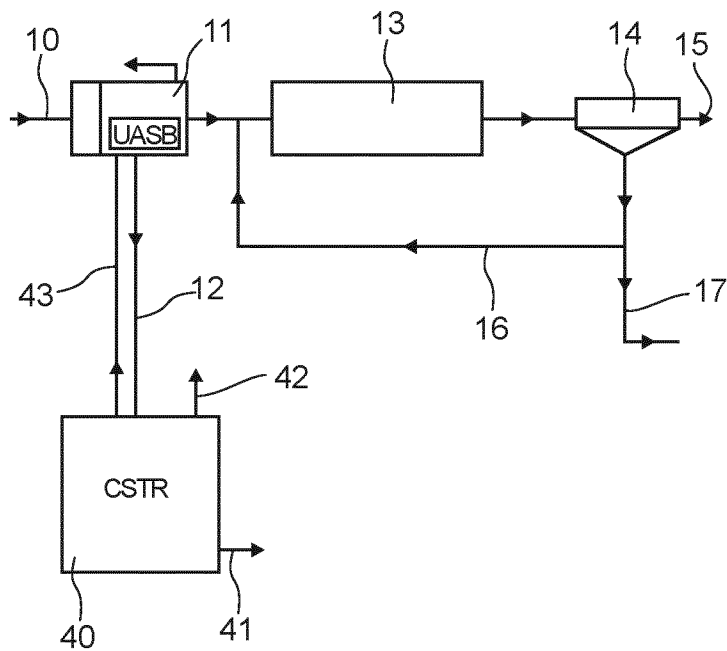
**Fig. 1**



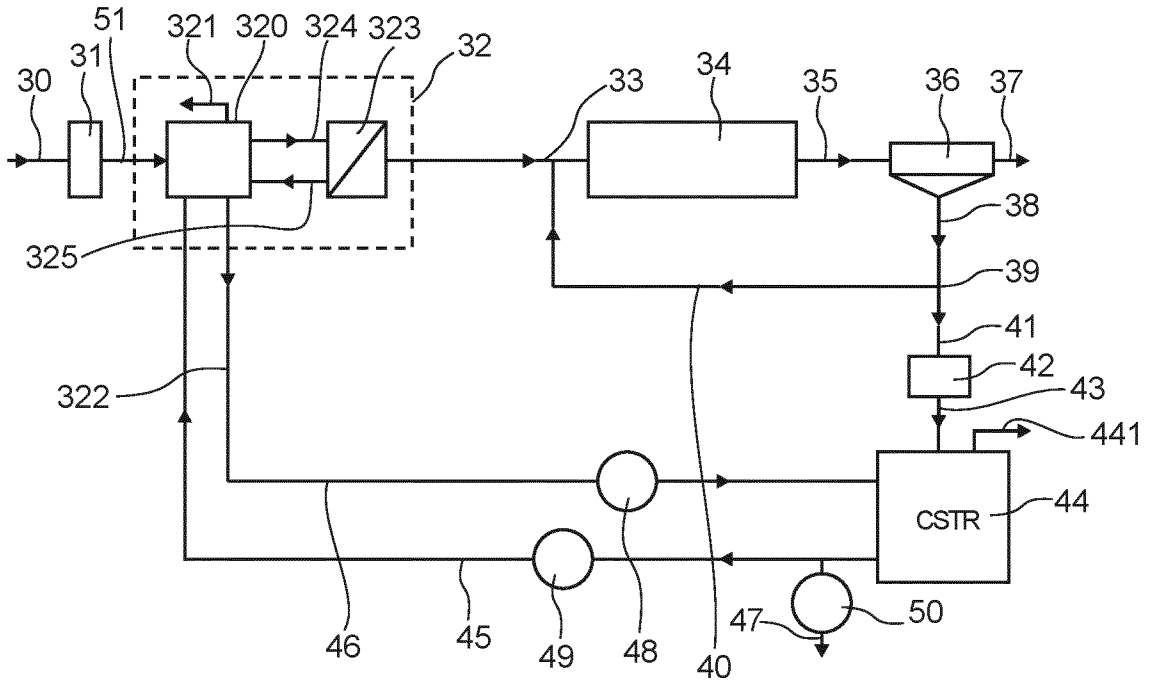
**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4**



**Fig. 5**

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2012/051636

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. C02F3/00 C02F3/30 C02F3/28 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C02F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	MAHMOUD ET AL: "High strength sewage treatment in a UASB reactor and an integrated UASB-digester system", BIORESOURCE TECHNOLOGY, ELSEVIER BV, GB, vol. 99, no. 16, 1 November 2008 (2008-11-01), pages 7531-7538, XP022735236, ISSN: 0960-8524, DOI: 10.1016/J.BIORTECH.2008.02.021 [retrieved on 2008-03-26] cited in the application abstract Conclusions; page 7538, left-hand column, paragraph 4.; figure 1  ----- -/--	1-12
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>		<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>
Date of the actual completion of the international search  28 February 2012		Date of mailing of the international search report  06/03/2012
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Oenhausen, Claudia

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2012/051636

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	<p>PONTES R F F ET AL: "Optimal synthesis of anaerobic digester networks", CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL, ELSEVIER SEQUOIA, LAUSANNE, CH, vol. 149, no. 1-3, 1 July 2009 (2009-07-01), pages 389-405, XP026077500, ISSN: 1385-8947, DOI: 10.1016/J.CEJ.2009.01.023 [retrieved on 2009-02-23] Conclusions; page 400, right-hand column, paragraph 6. - page 401, left-hand column abstract; figures 2,7-9,11 -----</p>	1-12
X	<p>MAHMOUD N ET AL: "Anaerobic sewage treatment in a one-stage UASB reactor and a combined UASB-Digester system", WATER RESEARCH, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 38, no. 9, 1 May 2004 (2004-05-01), pages 2347-2357, XP004508325, ISSN: 0043-1354 cited in the application abstract Conclusions; page 2356, right-hand column, paragraph 4.; figure 1 "The volume of the digester..."; page 2356, left-hand column, paragraph 3 - right-hand column -----</p>	1-12
Y	<p>US 2002/185434 A1 (MAO HUAZHONG [CA]) 12 December 2002 (2002-12-12) paragraph [0122] - paragraph [0123]; figures 1,2,4,5 paragraph [0035] - paragraph [0039] paragraph [0048] paragraph [0084] paragraph [0091] -----</p>	1-12
Y	<p>US 5 798 043 A (KHUDENKO BORIS MIKHAILOVICH [US]) 25 August 1998 (1998-08-25) column 8, line 1 - line 67; figure 3 -----</p>	1-12
A	<p>US 2009/255869 A1 (OH SAE EUN [KR]) 15 October 2009 (2009-10-15) figure 3 -----</p>	1-12
A	<p>US 4 067 801 A (ISHIDA MASAHIKO ET AL) 10 January 1978 (1978-01-10) figure 3 -----</p>	1-12

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/051636

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2002185434 A1	12-12-2002	US 6423229 B1 US 2002185434 A1	23-07-2002 12-12-2002
-----			
US 5798043 A	25-08-1998	AR 017776 A1 AU 1421099 A US 5798043 A US 5919367 A WO 9928243 A1	24-10-2001 16-06-1999 25-08-1998 06-07-1999 10-06-1999
-----			
US 2009255869 A1	15-10-2009	CN 101555087 A JP 2009255074 A KR 100870425 B1 US 2009255869 A1	14-10-2009 05-11-2009 25-11-2008 15-10-2009
-----			
US 4067801 A	10-01-1978	DE 2621524 A1 FR 2324581 A1 GB 1539441 A US 4067801 A	18-11-1976 15-04-1977 31-01-1979 10-01-1978
-----			

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2012/051636

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. C02F3/00 C02F3/30 C02F3/28 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) C02F		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	MAHMOUD ET AL: "High strength sewage treatment in a UASB reactor and an integrated UASB-digester system", BIORESOURCE TECHNOLOGY, ELSEVIER BV, GB, vol. 99, no. 16, 1 novembre 2008 (2008-11-01), pages 7531-7538, XP022735236, ISSN: 0960-8524, DOI: 10.1016/J.BIORTECH.2008.02.021 [extrait le 2008-03-26] cité dans la demande abrégé Conclusions; page 7538, colonne de gauche, alinéa 4.; figure 1 ----- -/--	1-12
<input checked="" type="checkbox"/>	Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
28 février 2012	06/03/2012	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé	
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Oenhausen, Claudia	

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	<p>PONTES R F F ET AL: "Optimal synthesis of anaerobic digester networks",                      CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL, ELSEVIER                      SEQUOIA, LAUSANNE, CH,                      vol. 149, no. 1-3,                      1 juillet 2009 (2009-07-01), pages                      389-405, XP026077500,                      ISSN: 1385-8947, DOI:                      10.1016/J.CEJ.2009.01.023                      [extrait le 2009-02-23]                      Conclusions;                      page 400, colonne de droite, alinéa 6. -                      page 401, colonne de gauche                      abrégé; figures 2,7-9,11</p>	1-12
X	<p>MAHMOUD N ET AL: "Anaerobic sewage treatment in a one-stage UASB reactor and a combined UASB-Digester system",                      WATER RESEARCH, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL,                      vol. 38, no. 9, 1 mai 2004 (2004-05-01),                      pages 2347-2357, XP004508325,                      ISSN: 0043-1354                      cité dans la demande                      abrégé                      Conclusions;                      page 2356, colonne de droite, alinéa 4.;                      figure 1                      "The volume of the digester...";                      page 2356, colonne de gauche, alinéa 3 -                      colonne de droite</p>	1-12
Y	<p>US 2002/185434 A1 (MAO HUAZHONG [CA])                      12 décembre 2002 (2002-12-12)                      alinéa [0122] - alinéa [0123]; figures                      1,2,4,5                      alinéa [0035] - alinéa [0039]                      alinéa [0048]                      alinéa [0084]                      alinéa [0091]</p>	1-12
Y	<p>US 5 798 043 A (KHUDENKO BORIS                      MIKHAILOVICH [US])                      25 août 1998 (1998-08-25)                      colonne 8, ligne 1 - ligne 67; figure 3</p>	1-12
A	<p>US 2009/255869 A1 (OH SAE EUN [KR])                      15 octobre 2009 (2009-10-15)                      figure 3</p>	1-12
A	<p>US 4 067 801 A (ISHIDA MASAHIKO ET AL)                      10 janvier 1978 (1978-01-10)                      figure 3</p>	1-12

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2012/051636

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2002185434 A1	12-12-2002	US 6423229 B1 US 2002185434 A1	23-07-2002 12-12-2002
US 5798043 A	25-08-1998	AR 017776 A1 AU 1421099 A US 5798043 A US 5919367 A WO 9928243 A1	24-10-2001 16-06-1999 25-08-1998 06-07-1999 10-06-1999
US 2009255869 A1	15-10-2009	CN 101555087 A JP 2009255074 A KR 100870425 B1 US 2009255869 A1	14-10-2009 05-11-2009 25-11-2008 15-10-2009
US 4067801 A	10-01-1978	DE 2621524 A1 FR 2324581 A1 GB 1539441 A US 4067801 A	18-11-1976 15-04-1977 31-01-1979 10-01-1978