(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 045 663**

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **15 63053**

(51) Int Cl[8] : ***C 12 M 1/113*** *(2017.01), C 12 M 1/02, B 09 B 3/00*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 22.12.15.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 23.06.17 Bulletin 17/25.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

( ) **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *BIOGAZ PEVELE Société à responsabilité limitée* — FR.

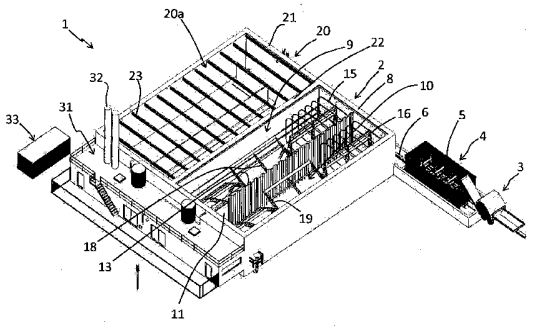
(72) **Inventeur(s) :** POLLET PIERRE.

(73) **Titulaire(s) :** BIOGAZ PEVELE Société à responsabilité limitée.

(74) **Mandataire(s) :** CABINET RIFFLART VANDENBOSSCHE.

(54) UNITE DE METHANISATION EQUIPEE D'UN DIGESTEUR LINEAIRE EN FORME DE " U " AVEC ECHANGEUR THERMIQUE INTERNE.

(57) L'invention concerne un digesteur (2) linéaire d'une unité de méthanisation (1), configuré pour dégrader de la matière organique et générer du biogaz, lequel comprend une entrée (7), une sortie (12), des moyens d'acheminement de la matière organique de l'entrée vers la sortie, un premier compartiment (9) et un second compartiment (10). Ces compartiments communiquent dans une portion d'extrémité (11) et sont séparés par une paroi de séparation (13) configurée pour assurer une conduction thermique. L'entrée et la sortie sont situées respectivement dans le premier compartiment et dans le second compartiment, à l'opposé de ladite portion d'extrémité. Cette conception permet de chauffer la matière organique fraîche située à l'amont du digesteur au moyen du digestat situé à l'aval dudit digesteur. L'invention concerne également l'unité de méthanisation (1) qui comprend éventuellement un post-digesteur (20) en complément du digesteur (2).



FR 3 045 663 - A1

UNITE DE METHANISATION EQUIPEE D'UN DIGESTEUR LINEAIRE EN FORME DE « U » AVEC ECHANGEUR THERMIQUE INTERNE

Domaine technique

La présente invention se rapporte au domaine des unités de méthanisation qui permettent de valoriser les matières organiques solides en générant du biogaz, qui est injecté sur le réseau de gaz après épuration, et du digestat, qui est exploité pour la fertilisation et la restructuration des sols. L'invention porte notamment sur la conception du digesteur et du post-digesteur qui est éventuellement associé audit digesteur.

Etat de la technique

Les unités de méthanisation sont connues de l'homme du métier. Certaines permettent la valorisation des matières organiques liquides, comprenant moins de 15% de matière sèche. Les autres permettent la valorisation des matières organiques pâteuses ou solides, comprenant plus de 15% de matière sèche.

Ces unités de méthanisation comprennent notamment un digesteur dans lequel sont insérées des matières organiques qui peuvent être d'origine agricole, agro-industrielle et/ou municipale. La dégradation naturelle de ces matières organiques permet de générer dans l'enceinte du digesteur, du biogaz et du digestat.

Le biogaz est essentiellement composé de méthane (CH_4), de dioxyde de carbone (CO_2) et d'hydrogène sulfuré (H_2S). La teneur en méthane peut varier de 50 à 70 %. La teneur en dioxyde de carbone oscille entre 30 et 50 %. La teneur en hydrogène sulfuré est généralement inférieure à 1%. Leurs proportions respectives varient en fonction de la nature du déchet et des conditions opératoires. Après épuration du biogaz au moyen d'un système de traitement présent sur l'unité de méthanisation, le méthane est injecté sur le réseau de gaz du distributeur par exemple pour chauffer des habitations ou pour produire de l'électricité.

Le digestat se compose de jus et de matière sèche qui, après séparation au moyen d'un système de filtration, sont exploités séparément. Les jus sont épandus dans les champs pour la fertilisation du sol, et les matières sèches sont épandues dans les champs pour la restructuration du sol.

Le procédé de méthanisation nécessite généralement de porter la température de la matière organique fraîche à une température de l'ordre de 30°C pour les systèmes mésophiles, et à une température de l'ordre de 60°C pour les systèmes thermophiles, afin de favoriser le développement des bactéries méthanogènes.

Sur les unités de méthanisation existantes actuellement, cet apport en température est mis en œuvre au moyen d'un système de chauffage de la matière organique, qui utilise environ 15% de l'énergie primaire du biogaz brut produit. Ce besoin en énergie impacte donc fortement le rendement global de ces unités de méthanisation.

L'hydrogène sulfuré est un gaz toxique pour l'homme et très corrosif pour les équipements de l'unité de méthanisation. Afin de réduire la teneur en hydrogène sulfuré présente dans le biogaz, les unités de méthanisations sont généralement équipées d'un système de bio-filtration consistant à injecter une petite quantité d'oxygène ou d'air dans le biogaz, ce mélange étant exploité par des bactéries sulfato-réductrices qui abaissent la teneur en soufre et forment du sulfate ($SO4^{2-}$).

Dans une première réalisation connue, le système de bio-filtration est mis à l'intérieur du digesteur. Dans ce cas, l'air ou l'oxygène est injecté directement dans le ciel gazeux de l'enceinte du digesteur et les bactéries sulfato-réductrices se développent à la surface du digesteur, par exemple à la surface du plafond qui est souvent en bois, à la surface des parois du digesteur, voire à la surface de la membrane recouvrant étanchement l'enceinte du digesteur. Cette mise en œuvre présente plusieurs inconvénients, à savoir :

- L'efficacité de filtration de l'hydrogène sulfuré est très limitée ;
- L'efficacité de filtration est instable, du fait de la chute aléatoire de composés soufrés dans le digesteur ;
- Le développement des bactéries sulfato-réductrices est limité par une surface spécifique trop faible ;
- Le développement des bactéries sulfato-réductrices est limité du fait de l'absence d'apport en nutriments, vitamines et oligo-éléments ;
- L'efficacité des bactéries méthanogènes est concurrencée par l'apport d'oxygène dans le digesteur qui génère un milieu anaérobique trop riche en oxygène ;
- L'efficacité des bactéries méthanogènes est concurrencée par la formation de sulfate favorisant une prédominance des bactéries sulfato-réductrices ;

- L'efficacité des bactéries méthanogènes est concurrencée par l'acidification du milieu ;
- Le digesteur se dégrade prématurément à cause de la formation d'acide sulfurique sur les parois.

Dans une seconde réalisation connue, palliant ces inconvénients précités, le système de bio-filtration est mis en œuvre à l'extérieur du digesteur, après extraction du biogaz. Dans ce cas, l'air est injecté sur le biogaz extrait à la sortie du digesteur, et les bactéries se développent sur un garnissage en matière plastique qui offre une grande surface spécifique sur laquelle se développent les bactéries sulfato-réductrices générant du sulfate. Cette mise en œuvre présente pour inconvénient d'être très onéreuse.

Résumé de l'invention

La présente invention permet de pallier les inconvénients précités des unités de méthanisation existantes, l'objectif principal étant d'optimiser le rendement de production de méthane envoyé sur le réseau de distribution de gaz.

Cette optimisation du rendement de production de méthane nécessite tout d'abord de réduire la consommation de biogaz brut utilisé pour chauffer la matière organique dans l'enceinte du digesteur. A cet effet, l'invention met en œuvre un digesteur linéaire d'une unité de méthanisation, configuré pour dégrader de la matière organique et générer du biogaz. Le digesteur comprend une entrée, par laquelle pénètre la matière organique fraîche à l'intérieur de l'enceinte du digesteur. Le digesteur comprend également une sortie, par laquelle est évacué hors de l'enceinte du digesteur, le digestat issu de la dégradation de la matière organique. Le digesteur comprend des moyens d'acheminement de la matière organique de l'entrée vers la sortie. Ces moyens d'acheminement permettent de pousser la matière organique dans l'enceinte, ce qui assure un déplacement linéaire et continu permettant progressivement l'entrée de matière organique fraîche et la sortie de digestat. De manière remarquable, le digesteur comprend un premier compartiment et un second compartiment qui communiquent entre eux dans une portion d'extrémité, l'entrée et la sortie étant situées respectivement dans le premier compartiment et dans le second compartiment, à l'opposé de ladite portion d'extrémité. Ainsi, l'enceinte du digesteur présente une configuration linéaire en forme de « U ». En outre, ces deux compartiments sont séparés par une paroi de séparation configurée pour assurer une conduction

thermique. La dégradation de la matière organique permet une augmentation progressive de la température jusqu'à atteindre un digestat à une température d'environ 55°C, tandis que la matière organique fraîche présente une température de l'ordre de 15°C. La configuration en forme de « U » du digesteur linéaire, avec une séparation par une paroi assurant une conduction thermique, permet à la matière organique présente dans le second compartiment, dont la dégradation est plus avancée voire a atteint l'état de digestat avant sa sortie du digesteur, de chauffer la matière organique présente dans le premier compartiment, dont la dégradation est moins avancée voire est encore à l'état de matière organique fraîche à son entrée dans le digesteur. Ainsi, il n'est plus nécessaire d'utiliser une partie du biogaz brut produit pour chauffer la matière organique afin de favoriser sa dégradation et la production de biogaz, ce qui permet d'atteindre l'objectif principal précité.

Afin d'optimiser le réchauffement de la matière organique fraîche, dès son entrée dans l'enceinte du digesteur selon l'invention, ledit digesteur comprend un circuit d'échange thermique agencé en serpentin à proximité de l'entrée dans le premier compartiment et à proximité de la sortie dans le second compartiment. En outre, le circuit d'échange thermique contient un fluide caloporteur, des moyens de circulation étant configurés pour véhiculer ledit fluide caloporteur dans le circuit d'échange thermique du second compartiment vers le premier compartiment. La matière organique est fraîche et présente une température de l'ordre de 15°C, à son entrée dans l'enceinte. Inversement, le digestat issu de la dégradation de la matière organique, présente une température de l'ordre de 55°C à la sortie de l'enceinte. La circulation du fluide caloporteur à contre-courant par rapport au sens de progression de la matière organique dans l'enceinte du digesteur, permet d'optimiser le réchauffement de la matière organique dès son entrée dans l'enceinte du digesteur, et ainsi de favoriser la dégradation rapide de cette matière organique et donc la méthanisation, dès l'entrée dans l'enceinte du digesteur. Cet apport d'énergie thermique s'effectue sans aucune consommation de biogaz brut produit précédemment par ledit digesteur. Cette optimisation du réchauffement permet d'augmenter le flux de la matière organique dans le digesteur.

On peut également prévoir un circuit d'échange thermique qui s'étend sur toute la longueur de la paroi de conduction thermique dans le premier compartiment et dans le second compartiment, le fluide caloporteur circulant à contre-courant du sens d'avance de la matière organique dans l'enceinte du digesteur.

Selon le digesteur objet de l'invention, celui-ci comprend des moyens de malaxage de la matière organique dans le premier compartiment et dans le second compartiment. Cela permet d'homogénéiser la matière organique sur toute son épaisseur au fur et à mesure de son déplacement dans l'enceinte, favorisant ainsi la dégradation rapide de toute la matière organique et la formation de biogaz.

Dans une réalisation non limitative du digesteur selon l'invention, la paroi de séparation est réalisée dans un acier de construction. D'autres matériaux assurant une bonne conduction thermique peuvent également être envisagés, sans sortir du cadre de l'invention.

L'invention concerne également une unité de méthanisation comprenant un digesteur linéaire présentant les caractéristiques précitées, et permettant d'atteindre l'objectif principal précité.

L'Unité de méthanisation selon l'invention comprend un système de filtration configuré pour extraire l'hydrogène sulfuré présent dans le biogaz brut issu de la dégradation de la matière organique. Dans une réalisation préférentielle, le système de filtration comprend des moyens d'injection d'oxygène concentré ou d'air dans le biogaz brut, un plancher ajouré, et un garnissage poreux revêtant ledit plancher. Le garnissage poreux est conçu dans une matière configurée pour assurer une bio-filtration du biogaz en permettant le développement des bactéries sulfato-réductrices.

Dans une réalisation de l'unité de méthanisation selon l'invention, le digesteur comprend les moyens d'injection d'oxygène concentré, voire d'air, en partie supérieure des compartiments. En outre, le digesteur comprend le plancher ajouré revêtu du garnissage poreux, lesquels sont agencés au-dessus des compartiments de l'enceinte, et une membrane agencée au-dessus du plancher, de manière étanche par rapport auxdits compartiments. La présence du plancher ajouré et du garnissage poreux permettent au biogaz présent dans l'enceinte, de passer au travers desdits éléments pour venir se loger sous la membrane. L'oxygène concentré injecté en petite quantité dans le biogaz en partie supérieure des compartiments, passe avec le biogaz au travers du plancher ajouré puis pénètre dans le garnissage. Les bactéries sulfato-réductrices qui se développent dans ce garnissage, par exemple celles de la famille des thiobacillus, exploitent l'oxygène (O_2) et l'hydrogène sulfuré (H_2S) présents dans le biogaz pour former des ions sulfate (SO_4^{2-}). L'évacuation de l'oxygène hors de l'enceinte, au travers du plancher ajouré, permet de conserver toute l'efficacité des

bactéries méthanogènes qui se développent dans les compartiments du digesteur, ce qui permet d'optimiser la teneur en méthane (CH_4) du biogaz. De même, le développement d'acide sulfurique et de sulfate s'effectue sur le garnissage poreux, hors de l'enceinte, ledit garnissage disposant d'une surface spécifique élevée, étant donné qu'il s'étend sur tout le plancher. Cela réduit fortement la présence d'acide sulfurique sur les parois de l'enceinte du digesteur et la concurrence entre les bactéries méthanogènes et les bactéries sulfato-réductrices. Ainsi, on évite une dégradation prématurée du digesteur et une acidification de la matière organique, et on favorise la méthanisation de la matière organique.

Dans une réalisation préférentielle de l'unité de méthanisation selon l'invention, celle-ci comprend un post-digesteur définissant une enceinte, en complément du digesteur. Le post-digesteur permet le stockage provisoire du digestat. Des moyens de transfert sont agencés entre le digesteur et le post-digesteur pour évacuer le digestat en sortie du digesteur vers une entrée du post-digesteur. En outre, des moyens de communication sont configurés pour transférer le biogaz de l'enceinte du digesteur vers l'enceinte du post-digesteur, ce transfert pouvant être réalisé directement ou indirectement. Cette conception permet avantageusement de mettre en œuvre la bio-filtration dans le post-digesteur plutôt que dans le digesteur. Cette conception évite la dégradation des conditions anaérobiques dans le digesteur puisque l'apport d'oxygène s'effectue hors de l'enceinte du digesteur. Cela évite également les coulées d'acides sulfuriques dans le digesteur, réduisant ainsi la concurrence entre les bactéries méthanogènes et les bactéries sulfato-réductrices, et l'acidification du milieu.

Selon cette réalisation préférentielle de l'unité de méthanisation, les moyens d'injection d'oxygène concentré, voire d'air, sont agencés dans la zone des moyens de communication entre le digesteur et le post-digesteur. L'injection d'oxygène concentré ou d'air durant le transfert du biogaz de l'enceinte du digesteur vers l'enceinte du post-digesteur permet d'homogénéiser le mélange de l'oxygène avec le biogaz. On pourrait cependant prévoir une variante de réalisation avec les moyens d'injection d'oxygène concentré ou d'air agencés directement dans l'enceinte du post-digesteur.

Selon cette réalisation préférentielle de l'unité de méthanisation, le post-digesteur comprend le plancher ajouré revêtu du garnissage poreux, lesquels sont agencés au-dessus de son enceinte, et une membrane agencée au-dessus du plancher de manière étanche par

rapport à cette enceinte. Ces caractéristiques correspondent à celles précitées, lorsqu'elles sont mises en œuvre directement au-dessus de l'enceinte du digesteur.

Selon l'unité de méthanisation objet de l'invention, pour les variantes précitées, celle-ci comprend des moyens de pulvérisation d'une solution nutritionnelle sur la surface du garnissage poreux, de sorte à favoriser le développement de bactéries sulfato-réductrices dans le garnissage poreux.

L'Unité de méthanisation selon l'invention comprend également des moyens d'extraction du biogaz après réalisation de la bio-filtration. Lorsque la bio-filtration s'effectue directement au niveau du digesteur, ou lorsque la bio-filtration s'effectue au niveau du post-digesteur et que le biogaz est transféré de l'enceinte du digesteur directement vers l'enceinte du post-digesteur, les moyens d'extraction sont agencés pour extraire le biogaz désulfuré présent sous la membrane. On peut cependant envisager une variante selon laquelle les moyens de communication transfert le biogaz brut présent dans l'enceinte du digesteur, en-dessous de la membrane, ledit biogaz brut étant alors désulfuré en passant au travers du garnissage poreux et du plancher ajouré pour descendre dans l'enceinte du post-digesteur. Selon cette variante, les moyens d'extraction sont alors agencés pour extraire le biogaz désulfuré présent dans l'enceinte du post-digesteur, et non sous la membrane. Cette extraction du biogaz désulfuré permet également d'aspirer le biogaz brut qui est alors contraint à traverser le plancher et le garnissage poreux, pour la bio-filtration.

Dans une réalisation préférentielle, le garnissage poreux est constitué de fibres de coco vulcanisées, de préférence sous forme de plaques attenantes les unes aux autres sur toute la surface dudit garnissage. On peut également envisager des fibres de chanvre ou de lin vulcanisées, voire d'autres matériaux organiques de type ligneux. On pourrait toutefois envisager d'autres supports organiques ou synthétiques poreux, l'objectif essentiel étant d'augmenter la surface de développement des bactéries sulfato-réductrices. On privilégiera les fibres de coco vulcanisées, voire des fibres de chanvre vulcanisées, car celles-ci participent à l'isolation thermique du digesteur et/ou du post-digesteur, selon la conception.

L'Unité de méthanisation selon l'invention comprend également des moyens de purification du biogaz extrait, permettant de séparer le méthane du dioxyde de carbone.

L'Unité de méthanisation selon l'invention comprend également des moyens de broyage des matières organiques avant leur injection dans le digesteur. Cela permet de réduire la longueur des fibres présentes dans la matière organique, de sorte à favoriser le déplacement et le mélange de celle-ci dans l'enceinte

L'Unité de méthanisation selon l'invention comprend également une trémie munie d'un mélangeur, dans laquelle sont insérées les matières organiques avant leur injection dans le digesteur. Cela permet d'homogénéiser la matière organique fraîche.

L'Unité de méthanisation selon l'invention comprend également des moyens de séparation des liquides et des matières sèches contenus dans le digestat qui est évacué en sortie du digesteur ou du post-digesteur, lorsque ladite unité de traitement en est équipée. Ainsi, les liquides ou jus peuvent être épandus dans les champs pour fertiliser le sol et, séparément à une autre période, les matières sèches peuvent être épandues dans les champs pour la restructuration du sol.

Brève description des figures

Les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préféré s'appuyant sur des figures, parmi lesquelles :

- La figure 1 schématise, en vue tridimensionnelle, une unité de méthanisation selon un mode de réalisation préféré de l'invention ;
- La figure 2 schématise, en vue de dessus, le digesteur selon un mode de réalisation de l'invention ;
- La figure 3 schématise, selon une vue en coupe transversale, le digesteur ;
- La figure 4 illustre une courbe de montée en température de la matière organique avec le digesteur selon l'invention ;
- La figure 5 schématise, selon une vue en coupe longitudinale, la digesteur ou le post-digesteur ;
- La figure 6 schématise une partie du plancher mis en œuvre au-dessus de l'enceinte du digesteur ou au-dessus de l'enceinte du post-digesteur, selon la configuration de l'unité de méthanisation.

Description détaillée

Tel qu'illustré en figure 1, l'unité de méthanisation 1 comprend un digesteur 2 qui permet la dégradation de matières organiques (non illustrées) pour la création de biogaz. Les matières organiques sont de préférence issues de l'agriculture, par exemple du fumier. Avant d'être acheminées dans le digesteur 2, ces matières organiques sont broyées au moyen d'un broyeur 3, afin d'obtenir une granulométrie préférentiellement inférieure à 5 cm. Une fois broyées, ces matières organiques sont insérées dans une trémie 4 qui est équipée d'un mélangeur 5 permettant d'homogénéiser les matières organiques. La trémie 4 comprend une pompe à piston ou une vis sans fin agencée dans le fond de cette trémie 4, permettant de faire avancer les matières organiques sans incorporer d'air, étant donné sa disposition dans le fond. Cette trémie 4 comprend également un système de pesage à plateau (non illustré) afin de peser la masse de la matière organique fraîche avant de l'envoyer vers le digesteur 2.

La matière organique fraîche sort de la trémie 4 et circule dans un conduit 6 jusqu'à atteindre une entrée 7 (illustrée par la flèche sur la figure 2) mise en œuvre par un premier orifice (non illustré) agencé en partie inférieure de la paroi d'extrémité 8 du digesteur 2. Cet orifice débouche dans un premier compartiment 9 à l'intérieur de l'enceinte 2a du digesteur 2. Le digesteur 2 comprend également un second compartiment 10 qui communique avec le premier compartiment 9, au niveau de la partie d'extrémité 11 située du côté opposé à la paroi d'extrémité 8. Ce second compartiment 10 comprend une sortie 12 (illustrée par la flèche en figure 2) mise en œuvre par un second orifice (non illustré) agencé en partie inférieure de la paroi d'extrémité 8 du digesteur 2. Les deux compartiments 9, 10 sont séparés physiquement par une paroi de conduction thermique 13, réalisée de préférence en acier de construction, qui s'étend sur quasiment toute la longueur de l'enceinte 2a du digesteur 2, excepté dans ladite partie d'extrémité 11. Ainsi, le digesteur 2 assure un déplacement linéaire en forme de « U » de la matière organique à l'intérieur de son enceinte 2a. La matière organique est déplacée dans l'enceinte 2a au moyen d'une pompe hydraulique (non illustrée) agencée sur le conduit 6, au niveau de l'entrée 7 dans le digesteur 2.

Lorsque la matière organique fraîche entre dans le premier compartiment 9 du digesteur 2, celle-ci est à une température de l'ordre de 15°C. La dégradation naturelle de la matière organique permet sa montée en température jusqu'à atteindre environ 55°C à 60°C à l'état

de digestat où ladite matière organique est dégradée, à proximité de la sortie 12 dans l'enceinte 2a. Le processus de méthanisation opère grâce au développement des bactéries méthanogène dans l'enceinte 2a, ce développement étant favorable lorsque la température est de l'ordre de 55°C. La présence de la paroi de conduction thermique 13 permet un échange thermique entre les deux compartiments 9, 10 , le digestat à température de 55°C assurant un apport énergétique à la matière organique fraîche à température de 15°C, dans l'enceinte 2a. Cela assure une montée en température plus rapide de la matière organique et, ainsi, le développement plus rapide de bactéries méthanogènes. Ainsi, le digesteur 2a permet la mise en place du processus de méthanisation, sans nécessité d'apport énergétique complémentaire qui consomme une partie du biogaz brut produit précédemment, tel que le prévoit les unités de méthanisation antérieures.

Afin d'accélérer encore la montée en température de la matière organique fraîche suite à son entrée dans le premier compartiment 9 du digesteur 2, celui-ci comprend un circuit d'échange thermique 14 qui comprend une première portion 15 qui s'étend en serpentin sur une longueur L à proximité de la paroi d'extrémité 8, dans le premier compartiment 9, et une seconde portion 16 qui s'étend en serpentin à proximité de ladite paroi d'extrémité 8 sur la longueur L, dans le second compartiment 9. Les première et seconde portions 15, 16 sont reliées entre elles soit en passant au travers, au-dessus ou en-dessous de la paroi de conduction thermique 13, soit en faisant le tour de ladite paroi de conduction thermique 13. Ce circuit d'échange thermique 14 contient un fluide caloporteur (non illustré) et est connecté à une pompe 17 qui permet de faire circuler le fluide caloporteur à contre-courant, c'est-à-dire du second compartiment 10 vers le premier compartiment 9, de sorte à transférer l'énergie thermique du digestat, à la matière organique fraîche.

Tel qu'illustré en figures 1 à 3, le digesteur 2 comprend également un premier jeu de pales 18 agencé sur la longueur du premier compartiment 9 et un second jeu de pales 19 agencé sur la longueur du second compartiment 10. Ces deux jeux de pales 18, 19 sont entraînés en rotation respectivement selon deux axes X1, X2 longitudinaux dans lesdits compartiments 9, 10, grâce à des moyens d'entraînement en rotation mis en œuvre sur chacun des jeux de pales, à l'extérieur de la paroi d'extrémité 8. Ces moyens d'entraînement en rotation sont constitués, par exemple, d'une roue crantée (non illustrée) qui est solidaire de l'arbre (non illustré) du jeu de pales 18, 19 agencé selon l'axe X1, X2, et d'un vérin (non

illustré) configuré pour que son piston s'engage successivement dans les crans de ladite roue crantée de sorte à la faire tourner et à entraîner le jeu de pales 18 ou 19. Ces jeux de pales 18, 19 permettent d'homogénéiser la matière organique dans les compartiments 9, 10 sur toute leur hauteur h et leurs largeurs l1, l2, comme illustré en figure 3.

Dans une réalisation préférentielle et non limitative, en choisissant une hauteur h de l'ordre de 5 mètres et une largeur l1, l2 de l'ordre de 5 mètres, et un circuit d'échange thermique 15 de 400 mètres de long qui s'étend en serpentin sur une longueur L de l'enceinte 2a, de l'ordre de 6 mètres, la matière organique atteint une température T1 de l'ordre de 55°c au bout de cette longueur L de 6 mètres dans le premier compartiment 9, comme l'illustre la figure 4. La longueur totale (L+L1 en figure 2) de l'enceinte 2a est de préférence de l'ordre de 24 m.

L'unité de méthanisation 1 comprend, de préférence, un post-digesteur 20, illustré en figure 1 et 5. Ce post-digesteur 20 dispose d'une enceinte 20a permettant de contenir le digestat extrait du digesteur 2. Pour cela, un second conduit (non illustré) est agencé entre la sortie 12 du digesteur 2 et une entrée (non illustré) dans l'enceinte 20a du post-digesteur 20, mise en œuvre au moyen d'un orifice (non illustré) agencé en partie inférieure de la paroi d'extrémité 21 dudit post-digesteur 20, laquelle est de préférence dans le prolongement de la paroi d'extrémité 8 du digesteur 2. En outre, le digesteur 2 et le post-digesteur sont séparés par une paroi latérale 22 commune, tel que l'illustre la figure 1.

Tel que l'illustre les figures 1, 5 et 6, le post-digesteur 20 comprend des chevrons 23 qui supportent un plancher 24. Ce plancher 20 est ajouré sur toute sa surface et il est revêtu d'un garnissage 25 poreux, de préférence en fibres de coco vulcanisées ou en fibres de chanvre vulcanisées. Ce garnissage 25 peut être mis en œuvre au moyen de plaques en fibre de coco vulcanisées, attenantes les unes aux autres. Des chevrons et un plancher, similaires aux chevrons 23 et au plancher 24, s'étendent également au-dessus de l'enceinte 2a du digesteur 2, bien que cela ne soit pas représenté sur la figure 1 afin de permettre la visualisation des éléments à l'intérieure de cette enceinte 2a. Toutefois, au-dessus de l'enceinte 2a du digesteur 2, ce plancher est revêtu d'un garnissage (non illustré) plus ou moins étanche au fluide gazeux, par exemple des planches de bois brut attenantes les unes aux autres, de sorte à empêcher le biogaz brut de sortir de l'enceinte 2a du digesteur 2, par le dessus. Le digesteur 2 et le post-digesteur 20 sont recouverts étanchement par une

membrane 26 commune en matériau souple, élastique et étanche, par exemple un matériau géo-synthétique de type éthylène-propylène-diène monomère (dit EPDM), telle qu'illustrée en figure 5 montrant uniquement la partie post-digesteur 20. Des ouvertures (non illustrées) sont mises en œuvre en partie haute de la paroi latérale 22 commune, ce qui permet à l'enceinte 2a du digesteur 2 de communiquer avec l'enceinte 20a du post-digesteur 20. Ainsi, le biogaz généré dans le digesteur 2 s'évacue dans le post-digesteur 20, en passant par lesdites ouvertures. Des buses d'éjection (non illustrées) sont mises œuvre au niveau de ces ouvertures, de préférence à l'intérieur des ouvertures ou, de manière attenante aux ouvertures, du côté du post-digesteur 20. Ces buses sont configurées pour pulser de l'oxygène concentré, voire de l'air, dans le biogaz brut, durant son transfert de l'enceinte 2a du digesteur 2 vers l'enceinte 20a du post-digesteur 20. La quantité d'oxygène concentré injectée est faible, de préférence de l'ordre de 0,1% à 0,2%.

Le biogaz présent dans l'enceinte 20a du post-digesteur 20 et contenant un faible pourcentage d'oxygène concentré ou d'air, est ensuite transféré au-dessus du plafond 27, sous la membrane 26. Durant ce transfert, le biogaz passe au travers du plancher 24 ajouré, puis au travers du garnissage 25 poreux, dans lequel se développent des bactéries sulfato-réductrices qui consomment l'oxygène (O_2) et l'hydrogène sulfuré (H_2S) présents dans le biogaz, pour former des ions sulfate (SO_4^{2-}) sur la surface du garnissage 25. Ainsi, le biogaz se trouvant sous la membrane 26 est épuré en partie et ne contient quasiment plus que du méthane (CH_4) et du dioxyde de carbone (CO_2). Afin de favoriser le développement des bactéries sulfato-réductrices dans le garnissage 25, des buses 28 sont agencées sous la membrane 26, tel qu'illustré en figure 6, et permettent de projeter sur toute la surface dudit garnissage 25 une solution nutritionnelle 29, par exemple à base d'eau et de minéraux, voire de jus filtré issu du digestat.

Ce biogaz partiellement épuré est ensuite extrait par aspiration au moyen d'une pompe (non illustrée) et d'un conduit 30, illustré en figure 6, pour être envoyé via ledit conduit 30 vers une station d'épuration 31, illustrée en figure 1. L'extraction du biogaz épuré permet également d'aspirer le biogaz brut pour forcer son passage au travers du plancher 24 et du garnissage 25 assurant la bio-filtration. La station d'épuration 31 est configurée pour mélanger le biogaz avec de l'eau et pour faire circuler le mélange dans des colonnes 32, ce qui permet une séparation du méthane (CH_4) et du dioxyde de carbone (CO_2). Le méthane

est ensuite envoyé vers le réseau de gaz du distributeur 33 après contrôle de sa qualité. L'eau utilisée contenant le dioxyde de carbone (CO_2), est régénérée par évacuation du dioxyde de carbone, au moyen d'une remise à pression atmosphérique, ce qui permet de réutiliser en boucle cette eau.

L'unité de méthanisation 1 comprend d'autres caractéristiques, notamment des capteurs de température, de capteurs de niveau, et un automate de gestion des différents actionneurs présents, notamment dans le but de gérer le flux de la matière organique dans le digesteur 2 et la pompe 17 réglant le débit du fluide caloporteur circulant dans le circuit d'échange thermique 14.

L'unité de méthanisation 1 comprend également un conduit d'évacuation (non illustré) du digestat présent dans le post-digesteur 20 et une pompe (non illustrée) raccordée sur ce conduit d'évacuation, pour extraire le digestat par une sortie (non illustrée) agencée sur le post-digesteur 20. L'unité de méthanisation 1 comprend également un système de filtration (non illustré) raccordé audit conduit d'évacuation et permettant la séparation des jus et des matières sèches présents dans le digestat, de sorte à valoriser séparément lesdits produits.

La description détaillée qui précède d'un mode de réalisation particulier de l'invention n'a aucun caractère limitatif. Bien au contraire, elle a pour objectif d'ôter toute éventuelle imprécision quant à sa portée. Ainsi, de nombreuses variantes pourront être envisagées dans le cadre de l'invention.

A titre d'exemple, l'unité de méthanisation 1 peut ne pas disposer de post-digesteur 20. Dans ce cas, les buses d'éjection d'oxygène (non illustrées) seraient réparties autour de l'enceinte 2, en partie supérieure de celle-ci, de sorte à mélanger l'oxygène avec le biogaz brut en partie supérieure de l'enceinte 2a. En outre, le garnissage 25 poreux serait mis en œuvre sur le plancher ajouré 24, directement au-dessus de l'enceinte 2a du digesteur 2.

Selon un autre exemple, l'unité de méthanisation 1 comprend des caractéristiques comparables à celles précitées, à la différence que les ouvertures (non illustrées) ne sont pas mises en œuvre sur la paroi latérale 22, et ne permettent donc pas à l'enceinte 2a du digesteur 2 de communiquer avec l'enceinte 20a du post-digesteur 20. Ces ouvertures sont au contraire configurées pour que l'enceinte 2a du digesteur 2 communique avec l'espace 34 disposé en-dessous de la membrane 26. En outre, le conduit 30 permettant l'extraction du

biogaz partiellement épuré est agencé, non pas dans cet espace 34 en-dessous de la membrane 26, mais dans l'enceinte 20a du post-digesteur 20. La circulation du biogaz dans le post-digesteur 20, générée par l'aspiration lors de l'extraction, est donc inversée tout en conservant la bio-filtration au travers du garnissage 25.

5

REVENDICATIONS

1. Digesteur (2) linéaire d'une unité de méthanisation (1), configuré pour dégrader de la matière organique et générer du biogaz, le digesteur comprenant une entrée (7), une sortie (12) et des moyens d'acheminement de la matière organique de l'entrée vers la sortie, caractérisé en ce que le digesteur comprend un premier compartiment (9) et un second compartiment (10) qui communiquent dans une portion d'extrémité (11), l'entrée et la sortie étant situées respectivement dans le premier compartiment et dans le second compartiment, à l'opposé de ladite portion d'extrémité, lesdits compartiments étant séparés par une paroi de séparation (13) configurée pour assurer une conduction thermique.
2. Digesteur (2) selon la revendication 1, lequel comprend un circuit d'échange thermique (14) agencé en serpentin à proximité de l'entrée (7) dans le premier compartiment (9) et à proximité de la sortie (12) dans le second compartiment (10), le circuit d'échange thermique véhiculant un fluide caloporteur, des moyens de circulation (17) étant configurés pour véhiculer ledit fluide dans le circuit d'échange thermique du second compartiment vers le premier compartiment.
3. Digesteur (2) selon l'une des revendications 1 ou 2, lequel comprend des moyens de malaxage (18, 19) de la matière organique dans le premier compartiment (9) et dans le second compartiment (10).
4. Digesteur (2) selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la paroi de séparation (13) est réalisée dans un acier de construction.
5. Unité de méthanisation (1) comprenant un digesteur (2) linéaire selon l'une des revendications 1 à 4.
6. Unité de méthanisation (1) selon la revendication 5, laquelle comprend un post-digesteur (20) définissant une enceinte, et des moyens de communication configurés pour transférer le biogaz du digesteur (2) vers le post-digesteur.
7. Unité de méthanisation (1) selon l'une des revendications 5 ou 6, laquelle comprend un système de filtration configuré pour extraire l'hydrogène sulfuré présent dans le biogaz brut issu de la dégradation de la matière organique.
8. Unité de méthanisation (1) selon la revendication 7, dans laquelle le système de filtration comprend des moyens d'injection d'oxygène concentré ou d'air dans le biogaz brut, un plancher (24) ajouré, et un garnissage (25) poreux revêtant ledit

plancher, le garnissage poreux étant conçu dans une matière configurée pour assurer une bio-filtration du biogaz en permettant le développement des bactéries sulfato-réductrices.

9. Unité de méthanisation (1) selon la revendication 8, laquelle comprend des moyens de pulvérisation (28) d'une solution nutritionnelle (29) favorisant le développement de bactéries sulfato-réductrices dans le garnissage (25) poreux.
10. Unité de méthanisation (1) selon l'une des revendications 5 à 9, laquelle comprend des moyens d'extraction (30) du biogaz.
11. Unité de méthanisation (1) selon la revendication 10, laquelle comprend des moyens de purification (31) du biogaz extrait.
12. Unité de méthanisation (1) selon l'une des revendications 5 à 11, laquelle comprend des moyens de broyage (3) des matières organiques avant leur injection dans le digesteur (2).
13. Unité de méthanisation (1) selon l'une des revendications 5 à 12, laquelle comprend une trémie (4) munie d'un mélangeur (5), dans laquelle sont insérées les matières organiques avant leur injection dans le digesteur (2).
14. Unité de méthanisation (1) selon l'une des revendications 5 à 13, laquelle comprend des moyens de séparation des liquides et des matières sèches contenus dans le digestat qui est évacué en sortie du digesteur (2) ou du post-digesteur (20).

Figure 1

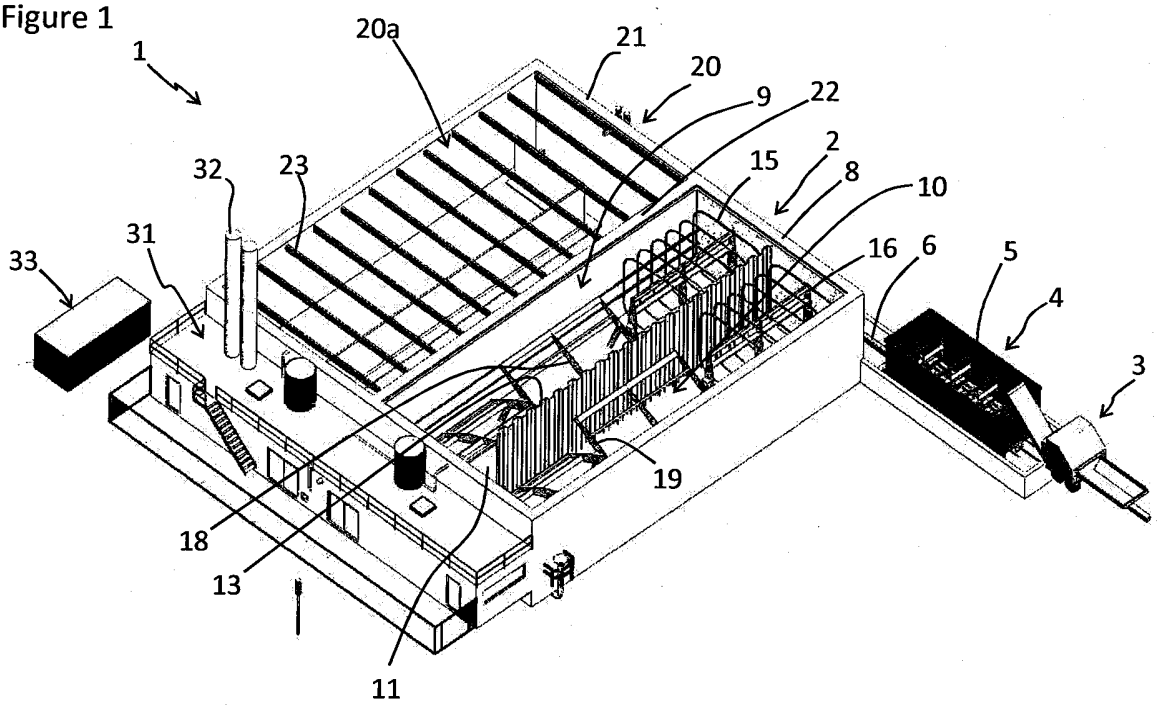


Figure 2

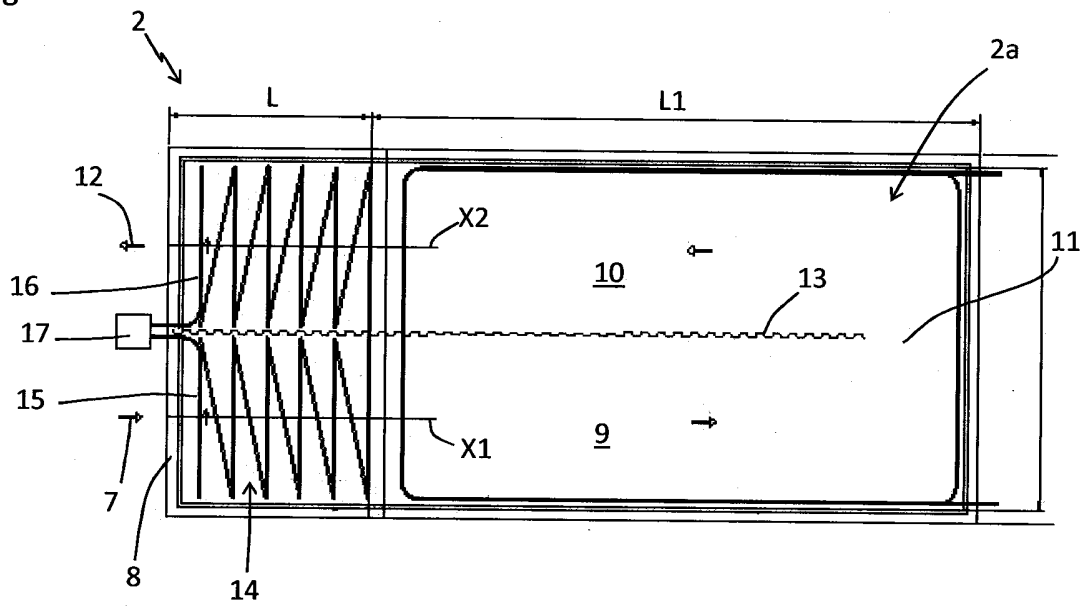


Figure 3

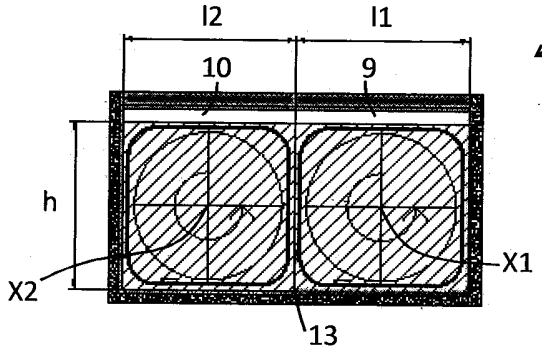


Figure 4

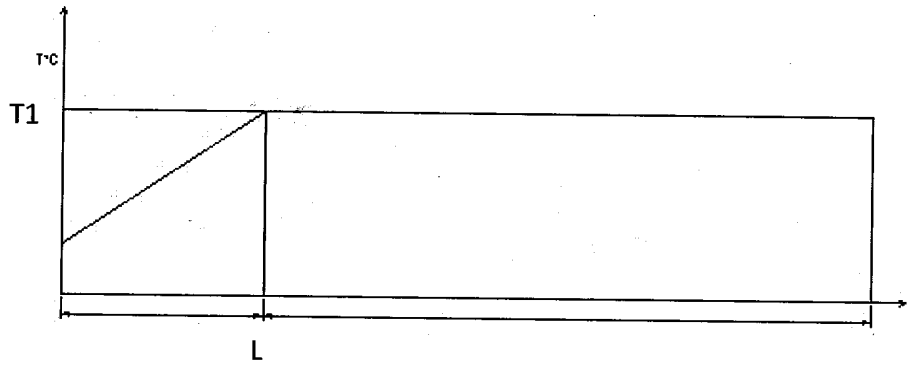


Figure 5

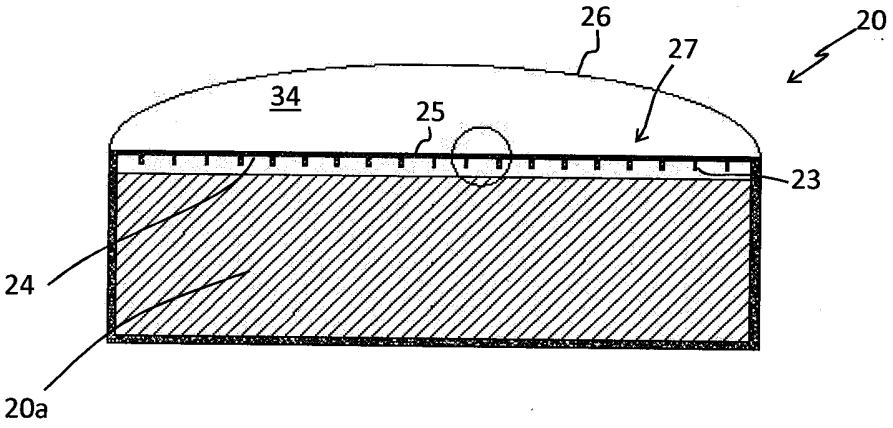
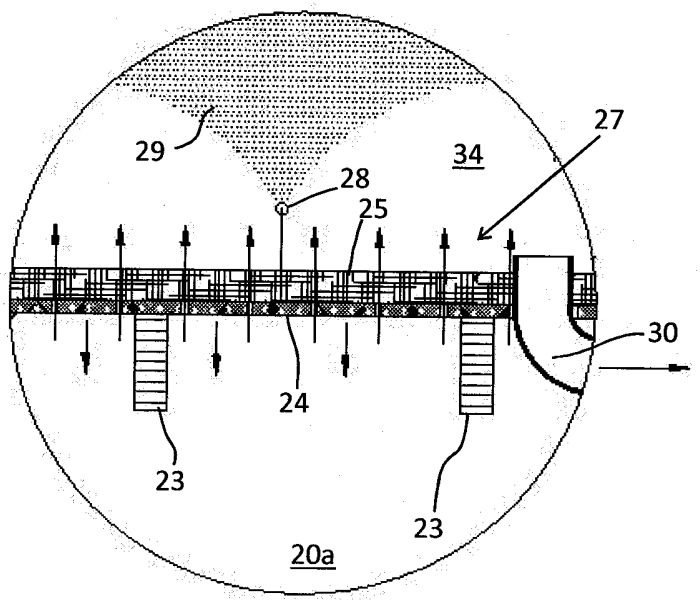


Figure 6



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 819103
FR 1563053

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	EP 0 501 376 A2 (BAUER HEINRICH [DE]) 2 septembre 1992 (1992-09-02) * colonne 5, ligne 41 - colonne 6, ligne 34 * * colonne 6, ligne 45 - ligne 58 * * figures 1-3 *	1-14	C12M1/113 C12M1/02 B09B3/00
Y	DE 198 05 580 C1 (BEISLER MATTHIAS [DE]) 16 septembre 1999 (1999-09-16) * colonne 2, ligne 3 - ligne 24 * * figures 1,2 *	1-14	
Y	US 5 354 545 A (BUISMAN CEES J N [NL]) 11 octobre 1994 (1994-10-11) * abrégé *	7-9	
A	US 6 451 589 B1 (DVORAK STEPHEN W [US]) 17 septembre 2002 (2002-09-17) * colonne 2, ligne 65 - colonne 4, ligne 57; figure 1 *	1-14	
A	EP 2 348 098 A1 (SATTLER AG [AT]) 27 juillet 2011 (2011-07-27) * revendications 1-12; figures 1,2 *	1-14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) C12M

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
10 août 2016	Cubas Alcaraz, Jose

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1563053 FA 819103

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 10-08-2016
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0501376 A2	02-09-1992	DE 4143229 A1	01-07-1993
		EP 0501376 A2	02-09-1992
DE 19805580 C1	16-09-1999	AUCUN	
US 5354545 A	11-10-1994	AT 113497 T	15-11-1994
		AU 648129 B2	14-04-1994
		BG 61069 B1	31-10-1996
		BR 9107117 A	22-02-1994
		CA 2096660 A1	05-06-1992
		CZ 9301058 A3	19-01-1994
		DE 69104997 D1	08-12-1994
		DE 69104997 T2	23-03-1995
		DK 0561889 T3	05-12-1994
		EP 0561889 A1	29-09-1993
		ES 2062883 T3	16-12-1994
		FI 932534 A	09-07-1993
		HU 212908 B	30-12-1996
		JP H0775655 B2	16-08-1995
		JP H05507235 A	21-10-1993
		NL 9002661 A	01-07-1992
		NO 931943 A	28-05-1993
		PL 168365 B1	29-02-1996
		RU 2089267 C1	10-09-1997
		US 5354545 A	11-10-1994
		WO 9210270 A1	25-06-1992
US 6451589 B1	17-09-2002	US 6451589 B1	17-09-2002
		US 2002192810 A1	19-12-2002
		US 2002197665 A1	26-12-2002
EP 2348098 A1	27-07-2011	AUCUN	

EPO FORM P0465