

(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 1997/02/20  
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 1997/08/28  
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2007/11/27  
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 1998/08/19  
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 1997/000316  
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 1997/031120  
(30) Priorité/Priority: 1996/02/21 (FR96/02131)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B09B 3/00* (2006.01),  
*A23K 1/16* (2006.01), *C02F 11/04* (2006.01),  
*C12N 1/20* (2006.01), *C12P 5/02* (2006.01),  
*C12S 3/00* (2006.01)

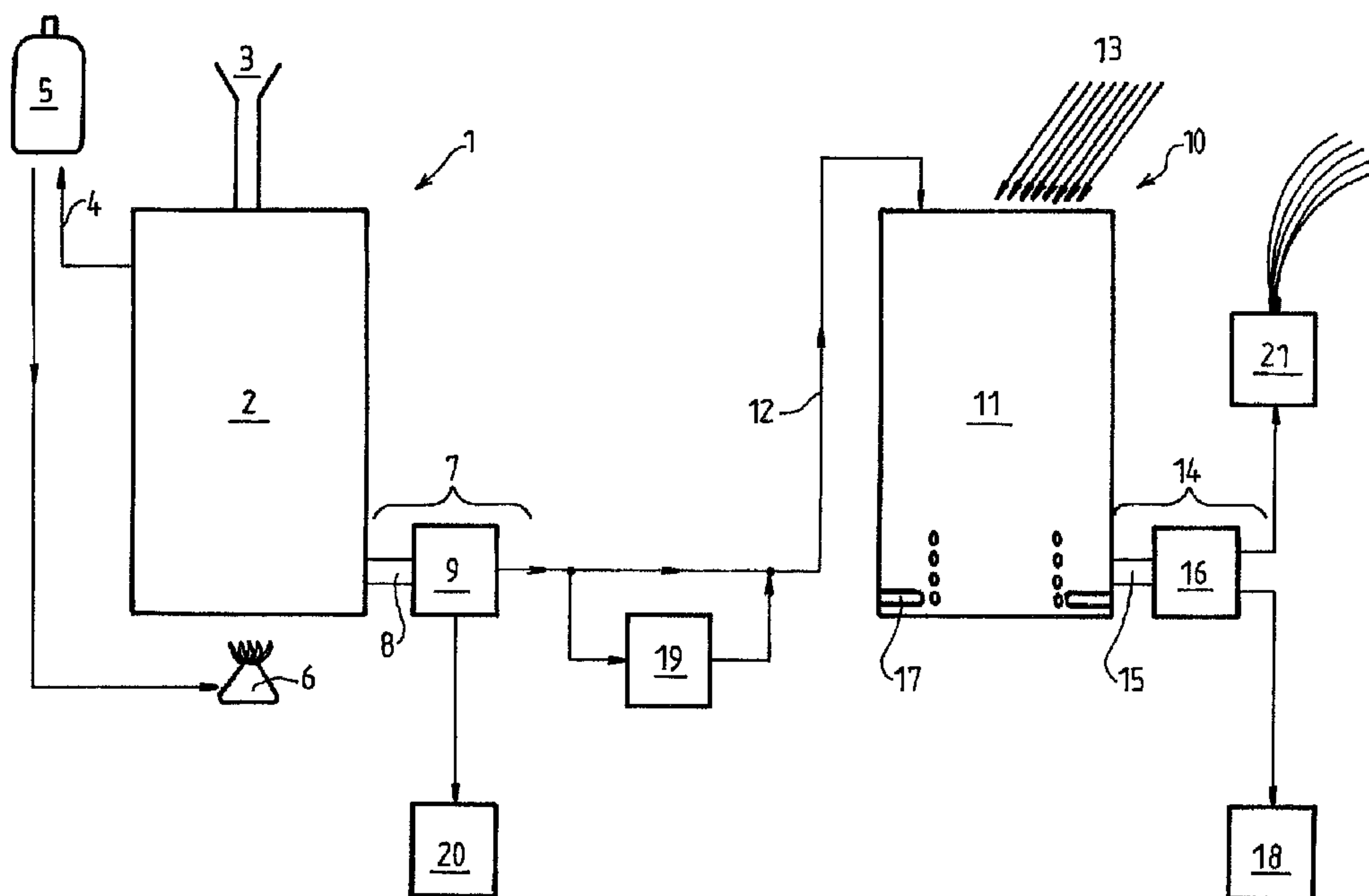
(72) Inventeurs/Inventors:  
LASSEUR, CHRISTOPHE ANDRE ANTOINE, NL;  
RICHALET, JACQUES ERNEST NICOLAS, FR;  
VERSTRAETE, WILLY HENRY, BE

(73) Propriétaire/Owner:  
AGENCE SPATIALE EUROPEENNE, FR

(74) **Agent:** BORDEN LADNER GERVAIS LLP

(54) Titre : PROCEDE ET INSTALLATION DE TRAITEMENT DES DECHETS ORGANIQUES ET APPLICATIONS DUDIT PROCEDE

(54) Title: ORGANIC WASTE PROCESSING METHOD AND PLANT, AND USES OF SAID METHOD



(57) **Abrégé/Abstract:**

La présente invention est relative à un procédé de traitement en circuit ouvert des déchets organiques, à une installation propre à permettre la mise en oeuvre de ce procédé ainsi qu'aux applications dudit procédé. Ce procédé de traitement est caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes: a) la collecte des déchets; b) l'introduction des déchets sans stérilisation préalable dans un premier réacteur; c) la dégradation des déchets, dans ledit premier réacteur, par des bactéries anaérobies mésophiles ou thermophiles; d) le recueil de l'effluent liquide résultant de ladite dégradation et son transfert dans un deuxième réacteur contenant des bactéries hétérotrophes ou photohétérotrophes; e) la production par les bactéries hétérotrophes ou photohétérotrophes d'une biomasse comestible constituée par lesdites bactéries; f) le recueil de la biomasse ainsi produite et son conditionnement. Il trouve notamment application dans le recyclage des déchets organiques d'origine animale du type lisiers ou purins ou celui des boues issues de l'épuration des eaux.

**PCT**ORGANISATION MONDIALE DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE  
Bureau international

## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |           |                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>(51) Classification internationale des brevets <sup>6</sup> :</b><br><b>C12P 5/02, C12N 1/20, C02F 3/28, A23K 1/00</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>A1</b> | <b>(11) Numéro de publication internationale: WO 97/31120</b><br><b>(43) Date de publication internationale: 28 août 1997 (28.08.97)</b>                                                                |
| <b>(21) Numéro de la demande internationale:</b> PCT/FR97/00316<br><b>(22) Date de dépôt international:</b> 20 février 1997 (20.02.97)<br><br><b>(30) Données relatives à la priorité:</b><br>96/02131                      21 février 1996 (21.02.96)                      FR<br><br><b>(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US):</b> AGENCE SPATIALE EUROPEENNE [-/FR]; 8-10, rue Mario-Nikis, F-75738 Paris Cédex 15 (FR).<br><br><b>(72) Inventeurs; et</b><br><b>(75) Inventeurs/Déposants (US seulement):</b> LASSEUR, Christophe, André, Antoine [FR/NL]; Zilkerbinnenweg 22, NL-2191 AC De Zilk (NL). RICHLET, Jacques, Ernest, Nicolas [FR/FR]; 3, allée des Nourrets, F-78430 Louveciennes (FR). VERSTRAETE, Willy, Henry [BE/BE]; Dasstraat 4, B-9032 Wondelgem (BE).<br><br><b>(74) Mandataire:</b> CABINET ORES; 6, avenue de Messine, F-75008 Paris (FR).                                                                                                                                                                                                                                 |           | <b>(81) Etats désignés:</b> CA, JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).<br><br><b>Publiée</b><br><i>Avec rapport de recherche internationale.</i> |
| <b>(54) Title: ORGANIC WASTE PROCESSING METHOD AND PLANT, AND USES OF SAID METHOD</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                                                                                                                                                                                                         |
| <b>(54) Titre: PROCEDE ET INSTALLATION DE TRAITEMENT DES DECHETS ORGANIQUES ET APPLICATIONS DUDIT PROCEDE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |           |                                                                                                                                                                                                         |
| <b>(57) Abstract</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |           |                                                                                                                                                                                                         |
| <p>An open-circuit organic waste processing method, a plant therefor, and the uses of said method, are disclosed. The processing method comprises (a) collecting the waste, (b) feeding the waste into a first reactor without prior sterilisation, (c) decomposing the waste in said reactor by means of mesophilic or thermophilic anaerobic bacteria, (d) recovering the resulting liquid effluent and transferring it into a second reactor containing heterotrophic or photoheterotrophic bacteria, (e) using the heterotrophic or photoheterotrophic bacteria to produce an edible biomass consisting of said bacteria, and (f) recovering and packaging the resulting biomass. The method is particularly suitable for recycling organic animal waste such as liquid manure or water purification sludge.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                |           |                                                                                                                                                                                                         |
| <b>(57) Abrégé</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |           |                                                                                                                                                                                                         |
| <p>La présente invention est relative à un procédé de traitement en circuit ouvert des déchets organiques, à une installation propre à permettre la mise en oeuvre de ce procédé ainsi qu'aux applications dudit procédé. Ce procédé de traitement est caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes: a) la collecte des déchets; b) l'introduction des déchets sans stérilisation préalable dans un premier réacteur; c) la dégradation des déchets, dans ledit premier réacteur, par des bactéries anaérobies mésophiles ou thermophiles; d) le recueil de l'effluent liquide résultant de ladite dégradation et son transfert dans un deuxième réacteur contenant des bactéries hétérotrophes ou photohétérotrophes; e) la production par les bactéries hétérotrophes ou photohétérotrophes d'une biomasse comestible constituée par lesdites bactéries; f) le recueil de la biomasse ainsi produite et son conditionnement. Il trouve notamment application dans le recyclage des déchets organiques d'origine animale du type lisiers ou purins ou celui des boues issues de l'épuration des eaux.</p> |           |                                                                                                                                                                                                         |

PROCEDE ET INSTALLATION DE TRAITEMENT DES DECHETS  
ORGANIQUES ET APPLICATIONS DUDIT PROCEDE

La présente Invention se rapporte à un procédé  
de traitement des déchets organiques, à une installation  
5 propre à permettre la mise en oeuvre de ce procédé ainsi  
qu'aux applications de ce procédé.

Le mot "environnement" a pris ces dernières  
années une importance considérable. A des conditions  
esthétiques (décharges sauvages, pollution visuelle),  
10 sont venues s'ajouter celles concernant l'hygiène et la  
sécurité, puis celles concernant la protection de  
l'homme, de la nature et des équilibres écologiques.

Devant la masse croissante des déchets à  
éliminer, les réglementations en matière de protection de  
15 l'environnement d'un certain nombre de pays Européens  
visent à une diminution de la quantité de déchets mis en  
décharge sans aucune valorisation, les décharges devant  
être réservées dans l'avenir aux résidus ultimes  
convenablement rendus inertes. Ainsi, seuls les déchets  
20 des déchets pourront être mis en décharge au profit d'une  
valorisation sous toutes ses formes.

Il s'en suit une réelle nécessité de  
développer des technologies propres à permettre un  
recyclage optimal des déchets et ce, quelle que soit leur  
25 origine et leur nature (déchets ménagers, agricoles,  
industriels, ...). Ces technologies doivent respecter les  
règles économiques de toute production et aboutir à des  
produits présentant une réelle valeur d'usage et des  
débouchés importants à des coûts de production  
30 satisfaisants. A cet égard, il est souhaitable que le  
coût énergétique du recyclage soit le plus faible  
possible.

Les déchets organiques d'origine animale et,  
notamment, les déjections produites par les élevages  
35 intensifs d'animaux domestiques, s'ils sont susceptibles  
de se décomposer spontanément au contraire d'autres

déchets (déchets minéraux, macromolécules organiques de synthèse) qui nécessitent impérativement d'être traités, posent en particulier de sérieux problèmes d'environnement en raison des volumes très importants qu'ils représentent, des nuisances qu'ils génèrent (odeurs nauséabondes par exemple) et du caractère polluant, à hautes concentrations, des composés azotés issus de leur décomposition.

Dans un autre domaine, les stations de traitement et d'épuration des eaux usées sont confrontées à des problèmes de stockage et d'élimination des boues produites au cours de l'épuration de ces eaux, dont le volume ne cesse d'augmenter au fil des années et pour lesquelles elles ne disposent d'aucune possibilité de valorisation.

Pour traiter les déchets organiques, il a été proposé de les incinérer. L'incinération présente toutefois de nombreux inconvénients : elle est coûteuse tant en investissements qu'en exploitation, elle conduit à l'émission de fumées et de gaz qui nécessitent d'être traités à leur tour avec le poids économique correspondant et les résidus d'incinération ont une faible valeur commerciale.

On connaît également des procédés dits de "compostage" qui font intervenir une dégradation anaérobie des déchets par des bactéries et qui aboutissent à la formation de composts qui sont utilisés par les agriculteurs comme fertilisants. Ces procédés ne sont toutefois pas satisfaisants car la durée du traitement des déchets est élevée (20 jours en moyenne sont nécessaires pour obtenir un compost) et les composts obtenus qui sont pauvres en substances nutritives (azote, phosphore) sont des fertilisants de qualité médiocre. En outre, le compostage s'accompagne d'une émission d'odeurs nauséabondes qui implique un traitement particulier des

gaz émis ou un apport de produits visant à atténuer la production de ces gaz.

On connaît aussi des procédés de traitement biologique des déchets organiques mais qui visent en général à diminuer la charge en produits toxiques et, notamment, en azote de ces déchets en vue de leur réintroduction dans le circuit de l'anabolisme.

La Demanderesse s'est donc fixée pour but de fournir un procédé de traitement des déchets organiques, qu'il s'agisse de déchets d'origine animale, de boues issues de l'épuration des eaux ou autres, assurant une valorisation optimale de ces déchets, tant sur le plan quantitatif que qualitatif, en un faible nombre de jours, sans production de produits toxiques et dont l'exploitation soit de faible coût.

Par ailleurs, des procédés visant à résoudre le problème de la production, à bord des engins spatiaux, de nourriture, d'eau et d'oxygène à partir des déchets produits par les spationautes en vue de réduire les quantités de produits alimentaires, d'eau et d'oxygène à emporter au moment du départ et d'assurer une autonomie biologique de l'équipage, ont été proposés (MERGEAY et al., Proceedings of the 3rd Symposium on Space Thermal Control & Life Support System, Noordwijk, THE NETHERLANDS, 3-6 Oct. 1988). Ces procédés constituent un écosystème artificiel comportant quatre compartiments axéniques colonisés par des microorganismes dont les principales fonctions représentent les différentes étapes de l'écosystème (liquéfaction des déchets, nitrification, biosynthèse) ainsi qu'un cinquième compartiment dit compartiment "consommateur" et qui est représenté par l'équipage. Cet écosystème est conçu pour fonctionner en circuit fermé, dans des conditions anoxygéniques pour limiter la consommation d'oxygène, et avec une utilisation de tous les produits présents dans le circuit, sans possibilité de sortie de l'un d'entre eux à

un moment quelconque. Il s'en suit qu'un tel écosystème ne peut s'appliquer au recyclage des déchets organiques sur terre en raison des contraintes techniques et économiques qu'il imposerait.

5 La Demanderesse a découvert que, pour résoudre un problème différent, à savoir celui de la valorisation des déchets organiques, des techniques proposées pour la réalisation d'un système de production de nourriture, d'eau et d'oxygène en circuit fermé, peuvent de manière  
10 surprenante être adaptées à la réalisation d'un système ouvert permettant de traiter à une échelle industrielle ces déchets et d'obtenir la production d'une part, d'une biomasse comestible à haute valeur nutritionnelle, utilisable pour la fabrication d'aliments pour animaux,  
15 d'autre part, de gaz combustibles aisément valorisables, et, enfin, de produits aptes à être utilisés comme fertilisants.

La présente Invention a donc pour objet un procédé de traitement en circuit ouvert des déchets  
20 organiques, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- a) la collecte des déchets,
- b) l'introduction des déchets sans stérilisation préalable dans un premier réacteur,
- 25 c) la dégradation des déchets, dans ledit premier réacteur, par des bactéries anaérobies mésophiles ou thermophiles,
- d) le recueil de l'effluent liquide résultant de ladite dégradation et son transfert dans un deuxième  
30 réacteur contenant des bactéries hétérotrophes ou photo-hétérotrophes,
- e) la production par les bactéries hétérotrophes ou photohétérotrophes d'une biomasse comestible constituée par lesdites bactéries,
- 35 f) le recueil de la biomasse ainsi produite et son conditionnement.

Au sens de la présente Invention, on entend :

- par bactéries anaérobies mésophiles, des bactéries qui sont capables de se développer en l'absence d'oxygène et à des températures comprises entre 20 et 5 40°C ;

- par bactéries anaérobies thermophiles, des bactéries qui sont capables de se développer en l'absence d'oxygène et à des températures supérieures à 45°C et pouvant atteindre 85°C ;

10 - par bactéries hétérotrophes, des bactéries qui sont capables d'assimiler des sources carbonées organiques en utilisant l'oxygène comme source d'énergie et, partant, de se développer sur de telles sources ; et

- par bactéries photohétérotrophes, des 15 bactéries qui sont également capables de se développer sur des sources carbonées mais en utilisant la lumière comme source d'énergie.

Selon une première disposition préférée du procédé de traitement conforme à l'Invention, les 20 bactéries anaérobies mésophiles ou thermophiles assurant la dégradation des déchets sont un mélange de bactéries protéolytiques, de bactéries saccharolytiques et de bactéries cellulolytiques, de manière à obtenir une hydrolyse simultanée des différents polymères biologiques 25 (protéines, carbohydrates, ADN, ARN, lipides, cellulose, ...) entrant dans la constitution des déchets en petits composés carbonés et azotés aptes à être assimilés par les bactéries hétérotrophes ou photohétérotrophes présentes dans le deuxième réacteur.

30 Ces petits composés carbonés et azotés sont principalement des acides gras volatiles (acides acétique, acide valérique, butyrique, isobutyrique, propionique, caproïque, ...), des amines, de l'urée, de l'éthanol et de l'ammoniaque.

35 De manière avantageuse, les bactéries anaérobies mésophiles ou thermophiles assurant la

dégradation des déchets sont des bactéries commensales des intestins des animaux.

Selon un mode de mise en oeuvre préféré du procédé de traitement conforme à l'Invention, la  
5 dégradation des déchets est réalisée par des bactéries anaérobies thermophiles à une température comprise entre 45 et 80°C et, de préférence, entre 55 et 70°C. L'utilisation d'une telle température permet, en effet, d'éliminer les germes pathogènes tels que bactéries,  
10 levures, protozoaires ou virus susceptibles d'être présents dans les déchets lors de leur introduction dans le premier réacteur, tout en permettant aux bactéries thermophiles chargées de la dégradation des déchets de se développer et de remplir leur fonction.

15 Conformément à l'Invention, la dégradation des déchets est réalisée pendant un temps suffisant pour obtenir des taux de dégradation des protéines, des polysaccharides et des lipides présents dans les déchets supérieurs à 80%. Cette dégradation se traduit par une  
20 liquéfaction des déchets et la production d'un effluent qui comprend une phase liquide et une phase solide formée de particules en suspension dans ladite phase liquide.

Selon une autre disposition préférée du procédé de traitement conforme à l'Invention, le recueil  
25 de l'effluent résultant de la dégradation des déchets comprend une étape de séparation des phases liquide et solide de cet effluent.

Cette séparation est réalisée, de préférence, par filtration ou par tamisage.

30 Selon encore une autre disposition préférée du procédé de traitement conforme à l'Invention, les bactéries hétérotrophes ou photohétérotrophes assurant la production de la biomasse comestible appartiennent à la famille des *Rhodospirillaceae*. En effet, ces bactéries  
35 sont capables de se développer sur un grand nombre de sources carbonées et, notamment, sur les acides gras

volatiles présents dans l'effluent liquide issu de la dégradation des déchets, et ce, aussi bien en aérobiose, en l'absence de lumière (respiration) qu'en anaérobiose, en présence de lumière (photosynthèse), et permettent, de  
5 ce fait, d'obtenir la production de la biomasse comestible par croissance bactérienne, tant dans des conditions d'aérobiose que d'anaérobiose.

Parmi les *Rhodospirillaceae*, on utilise préférentiellement des bactéries du genre *Rhodobacter*  
10 telles que *Rhodobacter capsulatus* et/ou du genre *Rhodospirillum* telles que *Rhodospirillum rubrum*.

Conformément à l'Invention, la production de la biomasse comestible est avantageusement réalisée en hétérotrophie et aérobiose.

15 Selon encore une autre disposition préférée du procédé de traitement conforme à l'Invention, le recueil de la biomasse comestible comprend une étape de séparation de cette biomasse de l'effluent liquide dans lequel elle se trouve.

20 De préférence, cette séparation est réalisée par flottation.

Selon encore une autre disposition préférée du procédé de traitement conforme à l'Invention, celui-ci comprend, de plus, le prélèvement des gaz combustibles  
25 ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ , ...) produits au cours de la dégradation des déchets pour leur valorisation par combustion.

Avantageusement, la combustion des gaz est utilisée pour chauffer le premier réacteur.

30 Complémentairement, le procédé de traitement en circuit ouvert des déchets organiques conforme à l'Invention comprend le compostage des matières solides résiduelles de la dégradation desdits déchets pour leur valorisation sous la forme de composts.

Un tel procédé présente l'avantage, outre de  
35 résoudre les problèmes d'environnement posés par l'accumulation des déchets organiques, de conférer à ces

derniers une valeur d'usage en permettant leur transformation en une biomasse comestible à haute valeur nutritionnelle apte à être utilisée dans l'alimentation animale, ainsi qu'en gaz aisément valorisables par  
5 combustion et en produits fertilisants et ce, sans production de résidus toxiques et à un coût compatible avec les exigences industrielles.

L'Invention a, également, pour objet une installation pour la mise en oeuvre du procédé de  
10 traitement en circuit ouvert des déchets organiques tel que défini ci-avant, caractérisée en ce qu'elle comprend :

a) un premier réacteur pour la dégradation des déchets par des bactéries anaérobies mésophiles ou  
15 thermophiles, comprenant une enceinte munie de moyens d'amenée des déchets et de moyens de recueil de l'effluent liquide résultant de cette dégradation,

b) un deuxième réacteur pour la production par des bactéries hétérotrophes ou photohétérotrophes d'une  
20 biomasse comestible constituée par lesdites bactéries, ledit deuxième réacteur comprenant une enceinte munie de moyens de recueil de la biomasse produite,

c) des moyens pour transférer ledit effluent du premier réacteur dans le deuxième réacteur, et

25 d) des moyens de conditionnement de ladite biomasse.

Selon une première disposition préférée de l'installation conforme à l'Invention, l'enceinte du premier réacteur est munie de moyens de chauffage et/ou  
30 de moyens de prélèvement des gaz libérés dans ladite enceinte au cours de la dégradation des déchets.

De manière avantageuse, l'enceinte du premier réacteur est munie à la fois de moyens de chauffage et de moyens pour prélever les gaz libérés au cours de la  
35 dégradation des déchets, et les moyens de chauffage comprennent un système de chauffage alimenté par les

moyens de prélèvement des gaz, directement ou par l'intermédiaire d'un dispositif de stockage.

Selon une autre disposition préférée de l'installation conforme à l'Invention, les moyens de recueil de l'effluent liquide résultant de la dégradation des déchets comprennent des moyens pour évacuer cet effluent de l'enceinte du premier réacteur et des moyens de séparation de phases pour séparer les phases liquide et solide qui le constituent.

10 Selon encore une autre disposition préférée de l'installation conforme à l'Invention, l'enceinte du deuxième réacteur est munie de moyens d'éclairage ou de moyens d'aération.

Selon un premier mode de réalisation avantageux de l'installation conforme à l'Invention, l'enceinte du deuxième réacteur est réalisée en partie ou totalement dans un matériau transparent et les moyens d'éclairage comprennent une source de lumière naturelle (lumière solaire) ou artificielle disposée à l'extérieur  
20 de ladite enceinte.

Selon un autre mode de réalisation avantageux de cette installation, les moyens d'éclairage de l'enceinte du deuxième réacteur comprennent une source de lumière artificielle disposée à l'intérieur de ladite  
25 enceinte.

Selon encore une autre disposition préférée de l'installation conforme à l'Invention, les moyens de recueil de la biomasse comestible comprennent des moyens pour évacuer cette biomasse de l'enceinte du deuxième réacteur et des moyens de séparation de phases pour la  
30 séparer de l'effluent liquide dans lequel elle se trouve.

Avantageusement, les moyens de conditionnement de la biomasse comestible comprennent des moyens pour l'égoutter et/ou des moyens pour la stériliser et/ou des  
35 moyens pour la déshydrater.

Selon un mode de réalisation particulièrement préféré de l'installation conforme à l'Invention, celle-ci comprend, de plus, une unité de compostage pour la valorisation des matières solides résiduelles de la  
5 dégradation des déchets sous la forme de composts.

La présente Invention a, aussi, pour objet l'application du procédé de traitement en circuit ouvert des déchets organiques tel que défini ci-avant au recyclage des déchets d'origine animale tels que par  
10 exemple, les déjections présentes dans les litières des animaux d'élevage (porcs, ruminants, équidés, volailles, ...), dans les lisiers ou les purins.

La présente Invention a, encore, pour objet l'application de ce procédé au recyclage des boues issues  
15 de l'épuration des eaux.

La présente Invention a, en outre, pour objet l'application de ce même procédé à la fabrication d'aliments pour animaux.

D'autres caractéristiques et avantages de  
20 l'Invention apparaîtront du complément de description qui suit et qui se réfère à la figure annexée qui représente un schéma de principe d'une installation conforme à l'Invention, ainsi qu'à des exemples d'application de l'Invention au traitement du lisier de porcs.

25 Il va de soi, toutefois, que ce complément de description est donné uniquement à titre d'illustration de l'objet de l'Invention et ne constitue en aucune manière une limitation de celui-ci.

On se réfère tout d'abord à la figure annexée.

30 Une installation conforme à l'Invention - qui peut être sur site de production des déchets ou hors site - comporte un premier réacteur (1) qui comprend une enceinte (2) propre à recevoir un volume déterminé de déchets pour leur dégradation par les bactéries  
35 anaérobies mésophiles ou thermophiles. L'enceinte (2) est munie de moyens (3) d'amenée des déchets à partir de leur

zone de production ou d'une fosse de réception et de stockage, qui peuvent être du type gravitaires, hydrauliques, mécaniques ou autres.

L'enceinte (2) peut être une enceinte ouverte  
5 du type fosse ou bassin et être éventuellement équipée de moyens amovibles de fermeture. Elle peut également être une enceinte fermée du type cuve ou digesteur.

Selon la nature des déchets à traiter et les conditions dans lesquelles est réalisée leur dégradation  
10 (température, pH, temps de séjour des déchets dans l'enceinte, ...), celle-ci s'accompagne d'une production plus ou moins importante de gaz combustibles ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ , ...). Aussi, le premier réacteur (1) peut avantageusement comprendre des moyens (4) de prélèvement des gaz  
15 combustibles libérés dans l'enceinte (2) au cours de la dégradation des déchets pour leur valorisation par combustion, immédiate ou différée avec, dans ce dernier cas, un acheminement des gaz prélevés vers un dispositif (5) de stockage comprenant par exemple des compresseurs  
20 ou des liquéfacteurs et des bouteilles.

Conformément à l'Invention, la dégradation des déchets peut être mésophile ou thermophile, c'est-à-dire qu'elle peut être réalisée à des températures qui se situent entre 20 et 80°C. Selon la température choisie  
25 pour effectuer cette dégradation, il peut être nécessaire, voire avantageux de munir l'enceinte (2) du premier réacteur (1) de moyens de chauffage (6) permettant d'amener et de maintenir les déchets à cette température.

Ces moyens (6) de chauffage qui peuvent  
30 comprendre par exemple un ou plusieurs serpentins de circulation d'un fluide caloripporteur comme de l'eau chaude reliés à une source de chaleur (chaudière par exemple), peuvent être alimentés exclusivement par une  
35 source d'énergie externe à l'installation (chauffage électrique, chauffage au fuel, chauffage au gaz, ...).

Toutefois, lorsque l'enceinte (2) du premier réacteur (1) est également munie de moyens pour prélever les gaz libérés au cours de la dégradation des déchets, il peut être extrêmement avantageux d'utiliser ces gaz  
5 comme source d'énergie pour le chauffage de ladite enceinte.

Dans ce cas, les moyens (6) de chauffage de l'enceinte (2) comprennent par exemple un premier système de chauffage alimenté par une source d'énergie externe à  
10 l'installation et un deuxième système de chauffage indépendant du premier et comprenant un ou plusieurs brûleurs alimentés par les moyens (4) de prélèvement des gaz présents dans l'enceinte (2), directement ou par l'intermédiaire du dispositif (5) de stockage de ces gaz.  
15 En variante, les moyens (6) de chauffage de l'enceinte (2) comprennent un système de chauffage unique muni de deux entrées dont la première est reliée à une source d'énergie externe à l'installation tandis que la deuxième est alimentée par les moyens (4) de prélèvement des gaz  
20 de l'enceinte (2) et/ou le dispositif (5) de stockage de ceux-ci.

Avantageusement, l'enceinte (2) du premier réacteur (1) peut être isolée thermiquement et les moyens (6) de chauffage peuvent être pourvus d'un dispositif  
25 thermostatique permettant de maintenir les déchets à une température constante.

L'enceinte (2) du premier réacteur (1) peut également comprendre un dispositif de brassage, permanent ou intermittent, permettant d'assurer une homogénéité des  
30 déchets et de favoriser leur contact avec les bactéries.

Conformément à l'Invention, l'enceinte (2) du premier réacteur (1) est munie de moyens (7) de recueil de l'effluent liquide résultant de la dégradation des déchets.

35 Ces moyens (7) de recueil comprennent, d'une part, des moyens (8) pour évacuer l'effluent de

l'enceinte (2) qui peuvent être constitués, par exemple, par un dispositif assurant une vidange partielle ou totale de cette enceinte (2), par pompage, syphonage, écoulement ou autre. Ils comprennent, d'autre part, des  
5 moyens (9) de séparation de phases qui sont reliés auxdits moyens (8) d'évacuation et qui permettent de séparer les phases liquide et solide de l'effluent et, ainsi, de le débarrasser des matières solides en suspension qu'il renferme. Cette séparation de phases  
10 peut être réalisée par tout procédé classiquement utilisé pour séparer une phase liquide d'une phase solide : par filtration ou par tamisage au moyen d'un filtre ou d'un tamis muni d'ouvertures appropriées (idéalement, inférieures ou égales à 150  $\mu\text{m}$ ), par décantation dans un  
15 décanteur, par flottation dans un flottateur ou encore par centrifugation dans une centrifugeuse.

Comme également visible sur la figure annexée, l'installation conforme à l'Invention comporte un deuxième réacteur (10) qui comprend une enceinte (11)  
20 propre à recevoir, en provenance du premier réacteur (1) ou d'une cuve de stockage (19) intermédiaire, un volume déterminé d'effluent pour la production, par les bactéries hétérotrophes ou photohétérotrophes, de la biomasse comestible. Pour ce faire, l'installation  
25 conforme à l'Invention comprend des moyens de transfert (12) de l'effluent telle qu'une conduite d'écoulement dont les deux extrémités s'abouchent de façon appropriée d'une part, au premier réacteur (1) ou à la cuve de stockage (19) intermédiaire et, d'autre part, au deuxième  
30 réacteur (10).

Conformément à l'Invention, la production de la biomasse comestible est obtenue par croissance bactérienne, soit en hétérotrophie, soit en photohétérotrophie. La voie hétérotrophe nécessite de fournir  
35 de l'oxygène aux bactéries et implique, donc, des conditions d'aérobiose. La voie photohétérotrophe

nécessite, elle, de leur fournir de la lumière et implique des conditions d'anaérobiose.

L'enceinte (11) du deuxième réacteur peut être prévue pour ne permettre l'utilisation que de l'une de ces deux voies de synthèse. Elle peut également avantageusement être conçue de manière à permettre la production de la biomasse comestible aussi bien en hétérotrophie et aérobiose qu'en photohétérotrophie et anaérobiose, en fonction des déchets à traiter, des critères climatiques, économiques ou autres. Ainsi, il peut s'agir d'une enceinte ouverte telle qu'un bassin, muni d'un système amovible permettant sa fermeture hermétique pour une utilisation en anaérobiose ou, au contraire, d'une enceinte hermétiquement close telle qu'une cuve, munie de moyens (17) d'aération pour une utilisation en aérobiose.

De tels moyens (17) d'aération comprennent avantageusement des moyens de type diffuseurs, placés en fond d'enceinte et permettant d'alimenter cette dernière en oxygène avec une pression suffisante pour vaincre la pression hydrostatique existant au niveau de ces diffuseurs.

Cette enceinte est, par ailleurs, munie de moyens (13) d'éclairage propres à fournir de la lumière aux bactéries lorsque la production de la biomasse comestible est réalisée en photohétérotrophie. L'enceinte peut alors être réalisée en partie ou en totalité dans un matériau transparent tel que du verre et être équipée d'un système d'éclairage externe composé d'un ensemble de lampes réparties de façon appropriée sur sa surface externe. En variante, l'enceinte (11), également réalisée en partie ou en totalité dans un matériau transparent, peut être éclairée par la lumière solaire directement ou par l'intermédiaire de miroirs propres à capter et à renvoyer sur sa surface externe les rayons du soleil. Dans encore une autre variante, un système d'éclairage

artificiel de l'enceinte (11) peut être prévu à l'intérieur de celle-ci et non à l'extérieur. Bien entendu, il est également possible de prévoir un système d'éclairage utilisant, de manière simultanée ou alternée, 5 deux sources de lumière, l'une naturelle et l'autre artificielle. Dans tous les cas, il peut être avantageux de munir l'enceinte (11) d'un dispositif permettant de régler l'intensité lumineuse fournie aux bactéries.

De plus, pour compenser la chaleur dégagée en 10 condition opératoire par le ou les systèmes d'éclairage et maintenir la température interne de l'enceinte (11) à une valeur constante, celle-ci peut avantageusement présenter un système d'isolation thermique, voire de refroidissement du type circulation dans un échangeur de 15 chaleur d'un fluide réfrigérant.

L'enceinte (11) du deuxième réacteur (10) peut comprendre, en outre, un dispositif d'agitation ou de brassage, intermittent ou continu.

Conformément à l'Invention, l'enceinte (11) du 20 deuxième réacteur (10) est équipée de moyens (14) de recueil de la biomasse produite dans ladite enceinte. Ces moyens (14) de recueil comprennent, d'une part, des moyens pour évacuer tout ou partie du contenu de l'enceinte (11) hors de celle-ci et, d'autre part, des 25 moyens pour séparer l'effluent liquide dans lequel elle baigne. Cette séparation peut être réalisée par filtration, par exemple, sur une membrane d'ultra-filtration, par décantation au moyen d'un décanteur lamellaire ou encore par flottation dans un flottateur.

30 Le deuxième réacteur (10) comprend des moyens (18) pour conditionner la biomasse. Par conditionnement, on entend toute opération ayant pour but de mettre la biomasse sous une forme désirée (blocs, pains, morceaux, pâtes, liquides, ...) et/ou sous une présentation 35 appropriée à son transport (mise en containers par exemple) ou à sa commercialisation. Ainsi, ces moyens de

conditionnement (18) peuvent comprendre des moyens pour égoutter la biomasse et, ainsi, la concentrer, des moyens pour la stériliser et des moyens pour la déshydrater de manière à la valoriser sous la forme d'un produit sec.

5 Comme également visible sur la figure annexée, l'installation conforme à l'Invention comprend une unité de compostage (20) pour valoriser les matières solides résiduelles de la dégradation des déchets sous la forme de composts, ainsi qu'un dispositif (21) pour le stockage  
10 de l'effluent résiduel en vue de son épandage ultérieur sur des terres agricoles.

Le compostage des matières solides peut être réalisé dans toute installation classiquement utilisée pour le compostage des déchets. Selon l'Invention, on  
15 préfère toutefois soumettre les matières solides à un compostage accéléré sous aération forcée qui, en raison de ce qu'il constitue un processus biologique thermophile, permet de les déshydrater, de les stabiliser (suppression des mauvaises odeurs) et de détruire les  
20 germes pathogènes qu'elles sont susceptibles de contenir. Pour ce faire, l'unité de compostage (20) comprend un ou plusieurs silos qui sont équipés d'un ou plusieurs systèmes de ventilation propres à assurer en permanence leur aération.

25 L'installation conforme à l'Invention peut comporter un système de contrôle et de commande comprenant une unité centrale du type ordinateur ou automate programmable recevant, par l'intermédiaire de sondes et/ou de capteurs répartis dans le dispositif de  
30 manière appropriée, les informations relatives aux différents paramètres (température, pH, intensité lumineuse, pression, vitesse d'écoulement, état d'ouverture ou de fermeture des vannes, ...) et comportant des sorties connectées à divers régulateurs  
35 propres à corriger les valeurs de ces paramètres si

nécessaire et à optimiser les conditions de mise en oeuvre du procédé de traitement des déchets.

L'installation conforme à l'Invention peut être conçue de manière à assurer un traitement des  
5 déchets par lots, en semi-continu et/ou en continu.

Pour la mise en oeuvre du procédé conforme à l'Invention, les déchets à traiter sont introduits dans l'enceinte (2) du premier réacteur (1) pour y être dégradés. Cette dégradation est avantageusement réalisée  
10 par une population de bactéries anaérobies associant des bactéries protéolytiques, des bactéries saccharolytiques et des bactéries cellulolytiques, de manière à obtenir une hydrolyse simultanée des différents polymères (protéines, carbohydrates, ADN, ARN, lipides, cellulose,  
15 ...) présents dans les déchets.

Les bactéries commensales des intestins des animaux constituent de telles populations. Elles sont, en outre, généralement capables de supporter des températures supérieures à 45°C. De ce fait, dans le cas  
20 de déchets constitués par des déjections animales telles que les lisiers ou les purins, la dégradation des déchets, qu'elle soit mésophile ou thermophile, est avantageusement assurée par les bactéries naturellement présentes dans ces déchets.

Dans le cas d'autres déchets, il peut être nécessaire, voire avantageux d'introduire dans l'enceinte (2) du premier réacteur (1), conjointement avec lesdits déchets, une population de souches bactériennes judicieusement choisies (*Clostridium thermocellum*,  
30 *Clostridium thermosaccharolyticum*, *Coprothermobacter proteolyticus*, *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Escherichia coli*, *Eubacterium*, *Peptococcus*, *Enterobacter*) et dont certaines peuvent être connues pour être commensales des intestins des animaux.

35 Conformément à l'Invention, la dégradation des déchets peut être réalisée à des températures qui se

situent entre 20 et 80°C. Dans la mesure où les déchets sont introduits dans l'enceinte (2) du premier réacteur (1) sans être soumis préalablement à une stérilisation, il peut être extrêmement avantageux d'effectuer leur  
5 dégradation à une température comprise entre 45 et 80°C et, de préférence, entre 50 et 70°C, de manière à éliminer les germes pathogènes qu'ils sont susceptibles de contenir.

Dans tous les cas, la dégradation des déchets  
10 est conduite pendant un temps suffisant pour obtenir des taux de dégradation des protéines, des polysaccharides et des lipides présents dans ces déchets au moins égaux à 80% et, préférentiellement, supérieurs à 85%. Ce temps varie en fonction de la composition des déchets et des  
15 conditions dans lesquelles leur dégradation est réalisée (température, souches bactériennes utilisées, ...). Il est donc possible et même souhaitable de déterminer, pour chaque type de déchets à traiter, le temps de séjour optimal de ces déchets dans l'enceinte (2) du premier  
20 réacteur (1) en faisant varier les conditions de déroulement de leur dégradation.

La dégradation des déchets se traduit par une liquéfaction de ces déchets et leur transformation en un effluent liquide composé de deux phases : l'une liquide,  
25 qui renferme des acides gras volatiles (acides acétique, acide valérique, butyrique, isobutyrique, propionique, caproïque, ...), des amines, de l'urée, de l'éthanol, de l'ammoniaque, ..., et l'autre solide, formée par des particules en suspension de matières non dégradées.

30 La dégradation des déchets se traduit, par ailleurs, par une production de gaz combustibles et, plus particulièrement de méthane, dont l'importance dépend d'un certain nombre de paramètres et, notamment, de la température à laquelle est conduite la dégradation des  
35 déchets, leur pH, leur concentration en ammoniaque et leur temps de séjour dans l'enceinte (2) du premier

réacteur (1), comme c'est classiquement le cas dans les fermentations méthaniques. Il est donc possible de favoriser ou, au contraire, de limiter la production de ces gaz, en jouant sur ces paramètres.

5 Une fois évacué de l'enceinte (2) du premier réacteur (1), l'effluent liquide résultant de la dégradation des déchets est avantageusement soumis à une séparation de phases de manière à épurer sa phase liquide des matières solides en suspension qu'elle renferme.  
10 Cette phase liquide est alors transférée dans l'enceinte (11) du deuxième réacteur (10), pour servir de substrat aux bactéries hétérotrophes ou photohétérotrophes et permettre, ainsi, la production de la biomasse.

Conformément à l'Invention, ces bactéries sont  
15 avantageusement choisies parmi les bactéries appartenant à la famille des *Rhodospirillaceae* et, plus particulièrement, aux genres *Rhodobacter* et *Rhodospirillum*, en raison de leur capacité à assimiler, aussi bien en hétérotrophie qu'en photohétérotrophie, un  
20 grand nombre de sources carbonées et notamment les acides gras volatiles présents dans la phase liquide de l'effluent.

La production de la biomasse est conduite à une température comprise entre environ 20 et 30°C et à un  
25 pH proche de la normalité. Son rendement est fonction du taux de croissance propre aux bactéries utilisées et, pour une souche bactérienne donnée, des conditions dans lesquelles elle est réalisée et, notamment, de l'utilisation ou non de lumière.

30 Les bactéries, par leur croissance, fournissent une biomasse qui se compose de protéines, de carbohydrates, de lipides et d'acides nucléiques et qui, une fois séparée de l'effluent résiduel dans lequel elle baigne et stérilisée, est apte à être utilisée dans  
35 l'alimentation animale.

Les matières solides résiduelles de la dégradation qui, outre de contenir de la matière organique non dégradée, sont riches en phosphore et en azote organique, sont, elles, acheminées jusqu'à l'unité  
5 de compostage (20) pour y être valorisées sous la forme de composts.

**EXEMPLES : TRAITEMENT DU LISIER DANS UN ELEVAGE PORCIN**

La faisabilité industrielle du procédé et de l'installation de traitement des déchets conformes à  
10 l'Invention a été vérifiée dans leurs applications à l'épuration du lisier sur un site d'élevage intensif de porcs, par extrapolation des résultats expérimentaux obtenus sur des volumes réduits de déchets et par simulation du procédé et de l'installation à une échelle  
15 industrielle.

Cette vérification a été réalisée en tenant compte des contraintes d'exploitation (temps de main d'oeuvre, espace disponible pour le traitement du lisier, ...), de coûts et d'hygiène spécifiques à un tel élevage.

20 L'élevage considéré est un élevage de type "Naisseurs-Engraisseurs" comprenant 150 truies naisseuses donnant naissance à environ 2 700 porcs par an (soit une moyenne de 18 porcs par truie).

Deux modes différents de mise en oeuvre du  
25 procédé (ci-après "Filière 1" et "Filière 2") utilisant deux variantes de l'installation ont été validés sur la base d'une production journalière moyenne de lisier de 10,1 m<sup>3</sup>, dans les conditions et avec les résultats suivants.

30 1) Filière 1 :

La Filière 1 réalise :

- une dégradation mésophile du lisier à une température de 30°C,
- une filtration de l'effluent résultant de  
35 cette dégradation et un compostage des matières solides recueillies au cours de cette filtration,

- une production de biomasse comestible en photohétérotrophie et anaérobiose, et

- un épandage de l'effluent résiduel.

a) la dégradation du lisier :

5 La dégradation du lisier est réalisée dans une fosse située sous le bâtiment d'élevage des porcs (par exemple, en dessous des caillebotis) et qui est alimentée en lisier par des moyens gravitaires. Prévue pour  
10 présenter une capacité correspondant à 2 mois de production de lisier, cette fosse présente un volume utile minimum de 650 m<sup>3</sup>.

La dégradation du lisier est effectuée par les bactéries naturellement présentes dans celui-ci, à une température de 30°C, laquelle, compte-tenu de ce que la  
15 température des bâtiments d'élevage est généralement maintenue à 20°C, est obtenue par un dispositif de chauffage tel qu'un serpentin alimenté par une circulation d'eau chaude et immergé dans le lisier. La dégradation du lisier est, par ailleurs, réalisée à un pH  
20 compris entre 5,9 et 6,8 de manière à limiter la production de méthane, ce qui nécessite de procéder à une légère acidification du lisier dont le pH se situe entre 7 et 7,6.

Dans ces conditions, on obtient en 14 jours  
25 des taux de dégradation des protéines, des polysaccharides et des lipides initialement présents dans le lisier supérieurs à 85%.

L'effluent résultant de cette dégradation est recueilli par des vidanges de la fosse, par exemple par  
30 des chasses ponctuelles dont le volume et la fréquence (toutes les deux semaines, tous les mois, voire tous les deux mois) sont réglés sur ceux de l'alimentation de la fosse en lisier. L'effluent est ensuite amené, par exemple par l'intermédiaire d'une conduite d'écoulement,  
35 jusqu'à une unité de filtration.

b) la filtration de l'effluent :

La filtration de l'effluent est réalisée au moyen d'un filtre rotatif qui mesure 0,7 m de longueur, 0,5 m de largeur et 0,7 m de hauteur et qui est muni d'ouvertures de 150  $\mu\text{m}$ . Ce filtre est alimenté en effluent par une pompe centrifuge à roue ouverte d'un débit de 1  $\text{m}^3/\text{heure}$  et il est entraîné en rotation par un moto-réducteur à vitesse variable. Il est, en outre équipé, d'un système de lavage sous pression permettant d'éviter son encrassement par les matières solides présentes dans l'effluent.

Cette filtration permet d'éliminer au moins 60% des matières solides qui se trouvent en suspension dans l'effluent, et conduit à la production d'un refus de filtration d'un volume de 1,6  $\text{m}^3/\text{jour}$  et comprenant 20% en poids de matières sèches (soit une production de 320 kg de matières sèches par jour), laissant ainsi un volume d'effluent filtré de 8,5  $\text{m}^3/\text{jour}$ .

L'effluent filtré est alors transféré dans le compartiment prévu pour la production de la biomasse comestible, par exemple au moyen d'une conduite d'écoulement, soit directement, soit après un stockage transitoire dans une cuve intermédiaire.

c) la production de la biomasse comestible :

La biomasse comestible est produite par une culture de *Rhodobacter capsulatus*, qui est réalisée en photohétérotrophie et en anaérobiose dans une cuve conçue pour un temps de séjour de l'effluent de 7 jours et présentant, de ce fait, un volume utile de 66  $\text{m}^3$ .

Cette cuve présente une surface de 22  $\text{m}^2$  et une hauteur utile de 3 m. Elle est munie de moyens d'éclairage artificiel comprenant 120 néons de 150 W répartis en 5 niveaux de 24 néons chacun et assurant un éclairage permanent d'une puissance totale d'éclairage de 18 KW. La cuve est calorifugée et comprend, de plus, un dispositif d'agitation permanente.

La température de la culture est de 30°C et son pH est de 6,9.

Dans ces conditions, on obtient une production de biomasse d'environ 0,08 g de matière sèche par litre et par heure, soit une production de biomasse d'environ 160 kg de matière sèche par jour.

La biomasse ainsi produite est séparée de l'effluent par flottation au moyen d'un flottateur situé en aval de la cuve et alimenté par cette dernière, par exemple, par l'intermédiaire d'une conduite d'écoulement. Le flottateur permet de séparer les matières solides présentes en suspension dans la phase liquide (effluent) par l'injection d'un mélange d'air et d'eau pressurisé à 5-6 bars. Les bulles générées par ce mélange s'accrochent auxdites matières et les ramènent à la surface de la phase liquide où elles peuvent alors être récupérées par un raclage.

On utilise un flottateur dont les dimensions permettent de traiter 1 m<sup>3</sup>/heure du mélange de biomasse et d'effluent.

La biomasse recueillie à l'issue de la flottation présente une concentration comprise entre 30 et 60 g de matière sèche par litre. Il est possible de la concentrer davantage en la laissant égoutter plusieurs jours dans une benne d'égouttage, puis de la soumettre à une déshydratation si l'on désire la valoriser sous la forme d'un produit sec.

Cette biomasse a une concentration en protéines qui représente environ 50% en poids de son poids sec et une valeur nutritive au moins équivalente à celle du soja.

d) le compostage des matières solides recueillies au cours de la filtration :

Le refus de filtration est soumis à un compostage accéléré en silos sous aération forcée. Le volume du refus de filtration à composter étant de

1,6 m<sup>3</sup>/jour (soit 320 kg de matières sèches par jour), ce compostage est réalisé au moyen de deux silos couloirs identiques d'une capacité utile de 30 m<sup>3</sup> (hauteur utile : 2 m, largeur utile : 3 m, longueur utile : 5 m) et qui  
5 sont aérés chacun par un ventilateur présentant un débit de 220 m<sup>3</sup>/heure et un différentiel de pression de 200 mm de colonne d'eau.

Le temps de séjour du refus de filtration dans les silos est de 60 jours.

10 On obtient ainsi la production d'un volume de compost de 0,45 m<sup>3</sup>/jour correspondant à une masse de compost d'environ 460 kg/jour. Ce compost présente des teneurs en matières organiques, en azote et en phosphore qui sont respectivement égales à 56%, 2,2% et 3,7% en  
15 poids, et peut avantageusement être utilisé comme support de culture.

e) l'épandage de l'effluent résiduel :

La Filière 1 permet de réduire les charges initiales en azote et en phosphore du lisier  
20 respectivement de 68% et de 69% et de réduire sa DCO initiale de 91%.

De ce fait, l'effluent résiduel peut être épandu, après une période réglementaire de stockage d'au moins 4 mois, sur des terres agricoles pour servir de  
25 fertilisant.

2) Filière 2 :

La Filière 2 réalise :

- une dégradation mésophile du lisier à une température de 30°C,
- 30 - une filtration de l'effluent résultant de cette dégradation et le compostage des matières solides recueillies au cours de cette filtration,
- une production de biomasse comestible en hétérotrophie et en aérobiose, et
- 35 - un épandage de l'effluent résiduel.

La dégradation mésophile du lisier, la filtration de l'effluent résultant de cette dégradation, ainsi que le compostage des matières solides recueillies au cours de cette filtration sont réalisés dans les mêmes conditions que celles utilisées dans la Filière 1.

Par contre, la biomasse comestible est produite par une culture de *Rhodobacter capsulatus*, qui est réalisée en hétérotrophie et en aérobiose dans une cuve présentant un volume utile de 70 m<sup>3</sup>, soit une surface de 14 m<sup>2</sup> pour une hauteur utile de 5 m.

Cette cuve est munie d'un système d'aération comprenant un surpresseur d'un débit de 130 m<sup>3</sup>/heure relié à une réserve d'oxygène, ainsi que des diffuseurs situés en fond de cuve et permettant de fournir à la culture de *Rhodobacter capsulatus* une quantité journalière d'oxygène de 117 kg.

Le temps de séjour de l'effluent dans la cuve est de 7 jours. La température de la culture est de 30°C et son pH est de 6,9.

Dans ces conditions, on obtient une production de biomasse d'environ 0,05 g de matière sèche par litre et par heure, soit une production de biomasse d'environ 100 kg de matière sèche par jour.

Comme dans la Filière 1, la biomasse est séparée de l'effluent par flottation au moyen d'un flottateur situé en aval de la cuve et alimenté par cette dernière. La biomasse recueillie à l'issue de la flottation présente une concentration comprise entre 30 et 60 g de matière sèche par litre.

La Filière 2 permet de réduire les charges initiales en azote et en phosphore du lisier respectivement de 48% et de 69% et de réduire sa DCO initiale de 91%. Là encore, l'effluent résiduel peut être épandu, après une période réglementaire de stockage d'au moins 4 mois, sur des terres agricoles pour servir de fertilisant.

Le Tableau 2 ci-après présente les principales performances des Filières 1 et 2.

Tableau 2

5

|           | PRODUCTION DE<br>BIOMASSE<br>en kg de<br>matière<br>sèche/m <sup>3</sup> | PRODUCTION DE<br>COMPOST<br>en kg de<br>matière<br>sèche/m <sup>3</sup> | PERFORMANCES<br>EPURATOIRES |            |              |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------|--------------|
|           |                                                                          |                                                                         | $\Delta N$                  | $\Delta P$ | $\Delta DCO$ |
| FILIERE 1 | 16                                                                       | 34                                                                      | 68%                         | 69%        | 91%          |
| FILIERE 2 | 10                                                                       | 34                                                                      | 48%                         | 69%        | 91%          |

10 L'Invention ne se limite nullement aux modes de réalisation qui vient d'être décrits de manière explicite ; elle en embrasse au contraire toutes les variantes qui peuvent venir à l'esprit du technicien en la matière, sans s'écarter du cadre, ni de la portée de la présente Invention.

**REVENDEICATIONS:**

1. Procédé de traitement en circuit ouvert des déchets organiques, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes:
  - a) la collecte des déchets,
  - b) l'introduction des déchets sans stérilisation préalable dans un premier réacteur,
  - c) la dégradation des déchets, dans ledit premier réacteur, par des bactéries anaérobies mésophiles ou thermophiles,
  - d) le recueil d'un effluent liquide résultant de ladite dégradation et son transfert dans un deuxième réacteur contenant des bactéries hétérotrophes ou photohétérotrophes,
  - e) la production par les bactéries hétérotrophes ou photohétérotrophes d'une biomasse comestible constituée par lesdites bactéries,
  - f) le recueil de la biomasse ainsi produite et son conditionnement.
2. Procédé selon la Revendication 1, caractérisé en ce que les bactéries anaérobies mésophiles ou thermophiles assurant la dégradation des déchets sont un mélange de bactéries protéolytiques, de bactéries saccharolytiques et de bactéries cellulolytiques.
3. Procédé selon la Revendication 1 ou la Revendication 2, caractérisé en ce que les bactéries anaérobies mésophiles ou thermophiles assurant la dégradation des déchets sont des bactéries commensales des intestins des animaux.
4. Procédé selon l'une quelconque des Revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la dégradation des déchets est réalisée par des bactéries anaérobies thermophiles à une température comprise entre 45 et 80<sup>0</sup>C.
5. Procédé selon l'une quelconque des Revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la dégradation des déchets est réalisée par des bactéries anaérobies thermophiles à une température comprise entre 55 et 70<sup>0</sup>C.
6. Procédé selon l'une quelconque des Revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la dégradation des déchets est réalisée pendant un temps suffisant pour obtenir des taux de

dégradation des protéines, des polysaccharides et des lipides présents dans les déchets supérieurs à 80%.

7. Procédé selon l'une quelconque des Revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le recueil de l'effluent résultant de la dégradation des déchets comprend une étape de séparation des phases liquide et solide.
8. Procédé selon la Revendication 7, caractérisé en ce que la séparation des phases liquide et solide de l'effluent est réalisée par filtration ou par tamisage.
9. Procédé selon l'une quelconque des Revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les bactéries hétérotrophes ou photohétérotrophes assurant la production de la biomasse comestible appartiennent à la famille des Rhodospirillaceae.
10. Procédé selon la Revendication 9, caractérisé en ce que les bactéries hétérotrophes ou photohétérotrophes assurant la production de la biomasse comestible appartiennent au genre *Rhodobacter*, au genre *Rhodospirillum*, ou aux genres *Rhodobacter* et *Rhodospirillum*.
11. Procédé selon l'une quelconque des Revendications 1 à 10, caractérisé en ce que la production de la biomasse comestible est réalisée en hétérotrophie et aérobiose.
12. Procédé selon l'une quelconque des Revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le recueil de la biomasse comestible comprend une étape de séparation de cette biomasse de l'effluent liquide dans lequel elle se trouve.
13. Procédé selon la Revendication 12, caractérisé en ce que la séparation de la biomasse de l'effluent liquide est réalisée par flottation.
14. Procédé selon l'une quelconque des Revendications 1 à 13, caractérisé en ce qu'il comprend le prélèvement des gaz combustibles produits au cours de la dégradation des

déchets par les bactéries anaérobies mésophiles ou thermophiles pour leur valorisation par combustion.

15. Procédé selon la Revendication 14, caractérisé en ce que la combustion des gaz est utilisée pour chauffer le premier réacteur.

16. Procédé selon l'une quelconque des Revendications 1 à 15, caractérisé en ce qu'il comprend le compostage des matières solides résiduelles de la dégradation des déchets pour leur valorisation sous la forme de composts.

17. Installation pour la mise en oeuvre d'un procédé de traitement en circuit ouvert des déchets organiques selon l'une quelconque des Revendications 1 à 12, caractérisée en ce qu'elle comprend:

a) un premier réacteur pour la dégradation des déchets par des bactéries anaérobies mésophiles ou thermophiles, ledit réacteur comprenant une enceinte munie de moyens d'amenée des déchets et de moyens de recueil de l'effluent liquide résultant de cette dégradation,

b) un deuxième réacteur pour la production par des bactéries hétérotrophes ou photohétérotrophes d'une biomasse comestible constituée par lesdites bactéries, ledit deuxième réacteur comprenant une enceinte munie de moyens de recueil de la biomasse produite,

c) des moyens pour transférer l'effluent résultant de la dégradation des déchets du premier réacteur dans le deuxième réacteur, et

d) des moyens de conditionnement de la biomasse.

18. Installation selon la Revendication 17, caractérisée en ce que l'enceinte du premier réacteur est munie de moyens de chauffage, de moyens de prélèvement des gaz libérés dans ladite enceinte au cours de la dégradation des déchets, ou de moyens de chauffage et de moyens de prélèvement des gaz libérés dans ladite enceinte au cours de la dégradation des déchets.

19. Installation selon la Revendication 17 ou la Revendication 18, caractérisée en ce que l'enceinte du premier réacteur est munie de moyens de chauffage et de moyens de prélèvement des gaz libérés au cours de la dégradation des déchets, et en ce que les moyens de chauffage comprennent un système de chauffage qui est alimenté par les moyens de prélèvement des gaz de ladite enceinte, directement ou par l'intermédiaire d'un dispositif de stockage de ces gaz.

20. Installation selon l'une quelconque des Revendications 17 à 19, caractérisée en ce que les moyens de recueil de l'effluent liquide résultant de la dégradation des déchets comprennent des moyens pour évacuer cet effluent de l'enceinte du premier réacteur et des moyens de séparation de phases pour séparer les phases liquide et solide qui le constituent.

21. Installation selon l'une quelconque des Revendications 17 à 20, caractérisée en ce que l'enceinte du deuxième réacteur est munie de moyens d'éclairage ou de moyens d'aération.

22. Installation selon la Revendication 20, caractérisée en ce que l'enceinte du deuxième réacteur est réalisée en partie ou totalement dans un matériau transparent et les moyens d'éclairage comprennent une source de lumière solaire ou lumière artificielle disposée à l'extérieur de ladite enceinte.

23. Installation selon la Revendication 21, caractérisée en ce que les moyens d'éclairage de l'enceinte du deuxième réacteur comprennent une source de lumière artificielle disposée à l'intérieur de ladite enceinte.

24. Installation selon l'une quelconque des Revendications 17 à 23, caractérisée en ce que les moyens de recueil de la biomasse comestible comprennent des moyens pour évacuer cette biomasse de l'enceinte du deuxième réacteur et des moyens de séparation de phases pour la séparer de l'effluent liquide dans lequel elle se trouve.

25. Installation selon l'une quelconque des Revendications 17 à 24, caractérisée en ce que les moyens de conditionnement de la biomasse comestible comprennent des moyens

pour égoutter, des moyens pour stériliser, des moyens pour déshydrater ladite biomasse, ou une combinaison desdits moyens.

26. Installation selon l'une quelconque des Revendications 17 à 25, caractérisée en ce qu'elle comprend une unité de compostage pour la valorisation des matières solides résiduelles de la dégradation des déchets sous la forme de composts.

27. Application du procédé de traitement en circuit ouvert des déchets organiques selon l'une quelconque des Revendications 1 à 16 au recyclage des déchets d'origine animale.

28. Application du procédé de traitement en circuit ouvert des déchets organiques selon l'une quelconque des Revendications 1 à 16 au recyclage des boues issues de l'épuration des eaux.

29. Application du procédé de traitement en circuit ouvert des déchets organiques selon l'une quelconque des Revendications 1 à 16 à la fabrication d'aliments pour animaux.

