

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication :

3 108 121

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

②1 N° d'enregistrement national :

20 02424

⑤1 Int Cl⁸ : **C 12 M 1/107 (2019.12)**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Utilisation d'une plante hyperaccumulatrice pour compléter la biomasse en oligoéléments dans un digesteur anaérobie.

②2 Date de dépôt : 11.03.20.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 17.09.21 Bulletin 21/37.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 28.02.25 Bulletin 25/09.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *L'AIR LIQUIDE SOCIETE
ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION
DES PROCEDES GEORGES CLAUDE SOCIETE
ANONYME — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : BERTRANDIAS Aude.

⑦3 Titulaire(s) : *L'AIR LIQUIDE SOCIETE ANONYME
POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES
PROCEDES GEORGES CLAUDE SOCIETE
ANONYME.*

⑦4 Mandataire(s) : *L'AIR LIQUIDE SOCIETE
ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION
DES PROCEDES GEORGES CLAUDE.*

FR 3 108 121 - B1



Description

Titre de l'invention : Utilisation d'une plante hyperaccumulatrice pour compléter la biomasse en oligoéléments dans un digesteur anaérobie

- [0001] La présente invention est relative à l'utilisation d'une plante hyperaccumulatrice pour la production de biogaz.
- [0002] Le biogaz est le gaz produit lors de la dégradation de matières organiques en l'absence d'oxygène (fermentation anaérobie) encore appelée méthanisation. Il peut s'agir d'une dégradation naturelle – on l'observe ainsi dans les marais ou les décharges d'ordures ménagères – mais la production de biogaz peut aussi résulter de la méthanisation de déchets dans un réacteur dédié, et dont les conditions sont contrôlées, appelé méthaniseur ou digesteur, puis dans un post-digesteur, similaire au digesteur et permettant de pousser plus loin la réaction de méthanisation.
- [0003] On appellera biomasse tout groupement de matières organiques pouvant se transformer en énergie à travers ce processus de méthanisation e.g. boues de station d'épuration, fumiers/lisiers, résidus agricoles, cultures énergétiques, déchets alimentaires...En Europe, les résidus agricoles et cultures énergétiques (dédiées ou intermédiaires) représentent une grande part des biomasses traitées, notamment en Allemagne et Autriche, puis en France. En Allemagne, 15% des digesteurs agricoles sont opérés en mono-digestion, c'est-à-dire, avec 100% de cultures. La majorité des digesteurs mélangent les cultures avec du fumier/lisier (co-digestion).
- [0004] Le digesteur, c'est-à-dire le réacteur dédié à la méthanisation de la biomasse, est une cuve fermée, chauffée ou non (opération à une température fixée, entre la température ambiante et 55°C) et dont le contenu constitué de la biomasse est brassé, en continu ou séquentiel. Les conditions dans le digesteur sont anaérobies et le biogaz généré se retrouve dans l'espace de tête du digesteur (ciel gazeux), où il est prélevé. Les post-digesteurs sont similaires aux digesteurs.
- [0005] De par ses constituants principaux – méthane et dioxyde de carbone – le biogaz est un puissant gaz à effet de serre ; il constitue aussi, parallèlement, une source d'énergie renouvelable appréciable dans un contexte de raréfaction des énergies fossiles.
- [0006] Le biogaz contient majoritairement du méthane (CH₄) et du dioxyde de carbone (CO₂) dans des proportions variables en fonction du mode d'obtention et du substrat mais peut également contenir, en moindres proportions de l'eau, de l'azote, de l'hydrogène sulfuré (H₂S), de l'oxygène, ainsi que des composés organiques autres, à l'état de traces, dont le H₂S, entre 10 et 50,000 ppmv.
- [0007] Selon les matières organiques dégradées et les techniques utilisées, les proportions

des composants différents, mais en moyenne le biogaz comporte, sur gaz sec, de 30 à 75% de méthane, de 15 à 60% de CO₂, de 0 à 15% d'azote, de 0 à 5% d'oxygène et des composés traces.

[0008] Le biogaz est valorisé de différentes manières. Il peut, après un traitement léger, être valorisé à proximité du site de production pour fournir de la chaleur, de l'électricité ou un mélange des deux (la cogénération). Ou, après un traitement plus poussé, il peut être épuré en biométhane, qui est utilisé en remplacement de gaz naturel fossile e.g. pour le transport propre.

[0009] En mono-digestion, ou parfois en co-digestion, des carences en oligoéléments dans le digesteur apparaissent. Les oligoéléments sont des éléments à faible concentration, nécessaires pour la croissance et le fonctionnement des bactéries de la digestion anaérobie. Selon le substrat ajouté, certains oligoéléments se retrouvent en trop faible concentrations. Ceci va perturber le processus de digestion anaérobie, donc limiter la production de biométhane (Tableau 1). Par exemple, lors de l'utilisation de cultures énergétiques, des carences en nickel (Ni) sont fréquentes.

[0010] [Tableaux1]

	Ni	Co	Mo	Fe	Mn	Cu	Se	W	Zn
Recommandation	4-30	0.4-10	0.05-1 6	750-5 000	100-1 500	10-80	0.05- 4	0.1-3 0	30-400
Ensilage de maïs	2.67	0.008	1.09	87.2	20.4	4.67	2.02	ND	Non analysé
Fumier bovin	7.6	1.88	2.79	1072	337	63.2	0.631	0.401	319

[0011] Recommandation de teneurs en oligoéléments (mg/kg TS) et comparaison à leur teneur dans des substrats agricoles. ND : non détecté

[0012] Des solutions d'oligoéléments existent sur le marché (OMEX, Aquafix, Schmack Biogas...) afin de compléter le digesteur et améliorer ses performances.

[0013] Les solutions d'oligoéléments existantes et commerciales ont certains inconvénients :

- [0014] – Coût des solutions, même s'il reste relativement faible par rapport au coût de la biomasse ou des procédés de production et épuration des gaz,
- Pas de potentiel méthanogène intrinsèque, ce qui apporterait un avantage supplémentaire à l'amélioration de la performance bactérienne,
- Mix de solutions généralement tout prêts, qui ne ciblent pas forcément les carences spécifiques du digesteur,
- Image « chimique » d'ajouts de substances, pas en adéquation avec la démarche environnementale et naturelle de la méthanisation.

- [0015] Partant de là, un problème qui se pose est de fournir un complément en oligo-éléments amélioré dans le digesteur.
- [0016] Une solution de la présente invention est un procédé de production de biogaz à partir de biomasse comprenant l'alimentation d'un digesteur anaérobie avec la biomasse, et avec au moins une plante hyperaccumulatrice.
- [0017] Par « plante hyperaccumulatrice », on entend une plante ayant la capacité de stocker dans ses tissus des concentrations de contaminants au moins dix fois plus élevées que les concentrations rencontrées dans les autres plantes se développant dans le même sol. Les contaminants sont surtout stockés dans les parties aériennes, et faciles à récolter, des plantes hyperaccumulatrices. Dans le cas présent il s'agira en particulier de plantes hyperaccumulatrice de métaux lourds, notamment de nickel ou le cuivre.
- [0018] Autrement dit, la solution selon l'invention permet de rajouter des plantes hyperaccumulatrices à la place et/ou en complément des solutions commerciales pour stimuler la digestion anaérobie.
- [0019] L'ajout de plantes hyperaccumulatrices permettrait de compléter les digesteurs sur certaines substances, de façon naturelle, avec un potentiel méthanogène apporté en plus et de façon ciblée, selon les plantes sélectionnées.
- [0020] Selon le cas, le procédé selon l'invention comprend une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessous :
- [0021] – la plante hyperaccumulatrice est broyée avant d'être introduite dans le digesteur.
- la biomasse et la plante hyperaccumulatrice sont introduits simultanément dans le digesteur.
- la biomasse et la plante hyperaccumulatrice sont broyées ensemble.
- la plante hyperaccumulatrice présente une matière sèche comprenant au moins de nickel ou de cuivre par kilogramme de matière sèche.
- la plante hyperaccumulatrice est l'Alyssum Murale.
- le procédé comprend une étape de mesure de la concentration C1 en au moins un oligoélément (O) dans la biomasse; une étape de comparaison de la concentration C1 avec une valeur consigne C0 ; et une étape d'introduction d'une plante hyperaccumulatrice de l'oligoélément (O) dans le digesteur lorsque la concentration C1 est inférieure à la valeur consigne C0.
- la quantité de plante hyperaccumulatrice introduite dans le digesteur correspond à chaque instant t du procédé à une valeur comprise en poids de la quantité de biomasse introduite dans le digesteur.
- Le procédé comprend après l'alimentation du digesteur en matière organique et en plante hyperaccumulatrice une étape du brassage de la matière organique et de la plante hyperaccumulatrice.

- [0022] La présente invention a également pour objet un de production de biogaz comprenant :
- [0023] – Une unité de production de biomasse ;
– Un digesteur anaérobie ;
– Un moyen d'introduction de la biomasse dans le digesteur ;
– Un moyen d'introduction de la plante hyperaccumulatrice dans le digesteur; et
– Un moyen de récupération d'un flux de biogaz en sortie du digesteur.
- [0024] Selon le cas, l'installation selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessous :
- [0025] – l'installation comprend une unité de production de plante hyperaccumulatrice.
– l'unité de production de plante hyperaccumulatrice comprend un terrain dont la terre présente une teneur en nickel supérieure à 50 mg/kg de matière sèche et/ou une teneur en cuivre supérieure à 100 mg/kg de matière sèche,
– l'installation comprend un moyen de récupération d'un digestat en sortie du digesteur et un moyen d'utilisation du digestat comme engrais dans l'unité de production de biomasse.
- [0026] – L'installation comprend un moyen de mesure de la concentration C1 en au moins un oligoélément dans la biomasse et un moyen de comparaison de la concentration C1 avec une valeur consigne C0. Notons que le moyen de mesure peut comprendre un moyen pour prélever un échantillon de la biomasse et un moyen sur site ou non de mesure de la concentration C1 en au moins un oligoélément dans cet échantillon.
- [0027] Enfin la présente invention a pour objet l'utilisation d'une plante hyperaccumulatrice pour compléter la biomasse en oligoéléments dans un digesteur anaérobie et stimuler la digestion anaérobie. En effet, la plante hyperaccumulatrice présente un potentiel méthanogène intrinsèque.
- [0028] L'invention est une méthode permettant de stimuler la digestion anaérobie et augmenter la production de biométhane, grâce à l'ajout de plantes hyperaccumulatrices, de préférence broyées, en particulier Alyssum Murale, qui est riche en Ni, élément souvent en carence en cas de mono-digestion de matières agricoles comme le maïs.
- [0029] Ce plantes hyperaccumulatrices permettent d'apporter, de façon naturelle, des oligo-éléments essentiels à la croissance et fonctionnement des bactéries du digesteur.
- [0030] De plus, cette méthode peut s'inscrire dans une logique environnementale plus poussée. Non seulement les plantes hyperaccumulatrices permettent d'intensifier les performances de la digestion anaérobie, mais elles permettent aussi la dépollution de sols.
- [0031] Des projets étudient l'extraction des métaux de ces plantes (phytomining), mais

aucun succès commercial n'a été développé à ce jour dans ce sens. Les hyperaccumulateurs ne sont donc pas encore valorisés en tant que tels.

- [0032] Plusieurs centaines de plantes hyperaccumulatrices existent. L'exemple principal est *Alyssum Murale*. C'est une plante hyperaccumulatrice bien connue et étudiée dans la dépollution de sols contaminés au nickel. Comme le nickel est fréquemment présent à de trop faibles teneurs dans la méthanisation de cultures énergétiques, cette plante est potentiellement intéressante à incorporer. Selon les études, jusqu'à 15-30 mg Ni/kg matière sèche peuvent être accumulés, en fonction de la partie de la plante. D'autres plantes pourraient également être concernées dans une moindre mesure e.g. *L. Perenne* qui accumule le cuivre, jusqu'à 10 mg/kg.
- [0033] Le broyage des plantes permet d'augmenter l'accessibilité des oligoéléments. Les plantes peuvent ainsi être incorporées entières directement avec la biomasse avec ou sans broyage.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de production de biogaz à partir de biomasse comprenant l'alimentation d'un digesteur anaérobie avec la biomasse, et avec au moins une plante hyperaccumulatrice, la biomasse et la plante hyperaccumulatrice étant broyés ensemble avant d'être introduits dans le digesteur.
- [Revendication 2] Procédé de production de biogaz selon la revendication 1, caractérisé en ce que la plante hyperaccumulatrice présente une matière sèche comprenant au moins 10 mg de nickel ou de cuivre par kilogramme de matière sèche.
- [Revendication 3] Procédé de production de biogaz selon la revendication 2, caractérisé en ce que la plante hyperaccumulatrice est l'Alyssum Murale.
- [Revendication 4] Procédé de production de biogaz selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le procédé comprend :
- Une étape de mesure de la concentration C1 en au moins un oligoélément dans la biomasse ;
 - Une étape de comparaison de la concentration C1 avec une valeur consigne C0 ;
 - Une étape d'introduction d'une plante hyperaccumulatrice de l'oligoélément (O) dans le digesteur lorsque la concentration C1 est inférieure à la valeur consigne C0.
- [Revendication 5] Procédé de production de biogaz selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la quantité de plante hyperaccumulatrice introduite dans le digesteur correspond à chaque instant t du procédé à une valeur comprise entre 5 et 15% en poids de la quantité de biomasse introduite dans le digesteur.
- [Revendication 6] Procédé de production de biogaz selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend après l'alimentation du digesteur en matière organique et en plante hyperaccumulatrice une étape du brassage de la matière organique et de la plante hyperaccumulatrice.
- [Revendication 7] Installation de production de biogaz comprenant :
- Une unité de production de biomasse ;
 - Un digesteur anaérobie ;
 - Un moyen d'introduction de la biomasse dans le digesteur ;
 - Un moyen d'introduction de la plante hyperaccu-

- mulatrice dans le digesteur;
- Un moyen de récupération d'un flux de biogaz en sortie du digesteur ; et
- une unité de production de plante hyperaccumulatrice comprenant un terrain dont la terre présente une teneur en nickel supérieure à 50 mg/kg de matière sèche et/ou une teneur en cuivre supérieure à 100 mg/kg de matière sèche.

[Revendication 8] Installation de production de biogaz selon la revendication 7, caractérisée en ce qu'elle comprend un moyen de récupération d'un digestat en sortie du digesteur et un moyen d'utilisation du digestat comme engrais dans l'unité de production de biomasse.

[Revendication 9] Installation selon l'une des revendications 7 ou 8, caractérisée en ce qu'elle comprend un moyen de mesure de la concentration C1 en au moins un oligoélément dans la biomasse et un moyen de comparaison de la concentration C1 avec une valeur consigne C0.

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

CN 110 004 185 A (UNIV NORTH CHINA
ELECTRIC POWER)
12 juillet 2019 (2019-07-12)

CN 103 074 379 A (UNIV NANJING
AGRICULTURAL) 1 mai 2013 (2013-05-01)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

EP 1 997 901 A2 (IS FORSCHUNGSGMBH [DE];
UNIV HOHENHEIM [DE])
3 décembre 2008 (2008-12-03)

EP 2 703 364 A1 (ARCBIOGAZ [FR])
5 mars 2014 (2014-03-05)

US 2018/178262 A1 (XU QIYONG [CN] ET AL)
28 juin 2018 (2018-06-28)

US 2005/217174 A1 (ANGLE JAY S [US] ET AL)
6 octobre 2005 (2005-10-06)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT