

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①① N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 108 121

②① N° d'enregistrement national : **20 02424**

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

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 11.03.20.

③③ Priorité :

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

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

⑥⑥ 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 PRO-
CEDES 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 PRO-
CEDES GEORGES CLAUDE SOCIETE ANONYME.

⑦④ Mandataire(s) : L'NULLAIR LIQUIDE SOCIETE ANO-
NYME POUR L'NULLETUDE ET L'NULLEXPLOITA-
TION DES PROCESSES GEORGES CLAUDE.

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

⑤⑦ 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.

FR 3 108 121 - A1



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 faibles 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 (phytominage), 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.
- [Revendication 2] Procédé de production de biogaz selon la revendication 1, caractérisé en ce que la plante hyperaccumulatrice est broyée avant d'être introduite dans le digesteur.
- [Revendication 3] Procédé de production de biogaz selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la biomasse et la plante hyperaccumulatrice sont introduits simultanément dans le digesteur.
- [Revendication 4] Procédé de production de biogaz selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la biomasse et la plante hyperaccumulatrice sont broyées ensemble.
- [Revendication 5] Procédé de production de biogaz selon l'une des revendications 1 à 4, 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 6] Procédé de production de biogaz selon la revendication 5, caractérisé en ce que la plante hyperaccumulatrice est l'Alyssum Murale.
- [Revendication 7] Procédé de production de biogaz selon l'une des revendications 1 à 6, 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 8] Procédé de production de biogaz selon l'une des revendications 1 à 6, 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 9] Procédé de production de biogaz selon l'une des revendications 1 à 8, 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 10]

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 hyperaccumulatrice dans le digesteur; et
- Un moyen de récupération d'un flux de biogaz en sortie du digesteur.

[Revendication 11]

Installation de production de biogaz selon la revendication 10, caractérisée en ce que l'installation comprend une unité de production de plante hyperaccumulatrice.

[Revendication 12]

Installation de production de biogaz selon la revendication 11, caractérisée en ce que 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 .

[Revendication 13]

Installation de production de biogaz selon l'une des revendications 11 et 12, 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 14]

Installation selon l'une des revendications 10 à 13, 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.

[Revendication 15]

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

**RAPPORT DE RECHERCHE
 PRÉLIMINAIRE**

 établi sur la base des dernières revendications
 déposées avant le commencement de la recherche
N° d'enregistrement
nationalFA 878751
FR 2002424

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			
X	CN 110 004 185 A (UNIV NORTH CHINA ELECTRIC POWER) 12 juillet 2019 (2019-07-12)	1-5, 7-11, 13-15	C12M1/107	
Y	* le document en entier *	6,12		
X	CN 103 074 379 A (UNIV NANJING AGRICULTURAL) 1 mai 2013 (2013-05-01)	1-5, 7-11, 13-15		
Y	* le document en entier *	6,12		
X	EP 1 997 901 A2 (IS FORSCHUNGSGMBH [DE]; UNIV HOHENHEIM [DE]) 3 décembre 2008 (2008-12-03)	10,14		
A	* alinéas [0001], [0013] - [0020], [0027], [0096] - [0098]; figure 1; exemple 2 *	1-9, 11-13,15		
X	EP 2 703 364 A1 (ARC BIOGAZ [FR]) 5 mars 2014 (2014-03-05)	10,13		
A	* alinéas [0011], [0014], [0029], [0030]; figure 1 *	1-9,11, 12,14,15		
X	US 2018/178262 A1 (XU QIYONG [CN] ET AL) 28 juin 2018 (2018-06-28)	1-15		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) A01C C12P B09C C12M C02F
Y	* alinéas [0002], [0004] - [0012], [0017], [0018], [0021] *	6,12		
Y	US 2005/217174 A1 (ANGLE JAY S [US] ET AL) 6 octobre 2005 (2005-10-06)	6,12		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur		
28 octobre 2020		Howe, Patrick		
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS				
X : particulièrement pertinent à lui seul		T : théorie ou principe à la base de l'invention		
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		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.		
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande		
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant		

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2002424 FA 878751**

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 **28-10-2020**
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
CN 110004185	A	12-07-2019	AUCUN	

CN 103074379	A	01-05-2013	AUCUN	

EP 1997901	A2	03-12-2008	AT 496137 T	15-02-2011
			BR PI0812018 A2	30-12-2014
			CA 2689340 A1	04-12-2008
			CN 101730743 A	09-06-2010
			DE 102007025155 A1	04-12-2008
			DK 1997901 T3	16-05-2011
			EP 1997901 A2	03-12-2008
			ES 2359589 T3	25-05-2011
			JP 2010528596 A	26-08-2010
			KR 20100031515 A	22-03-2010
			PL 1997901 T3	30-03-2012
			RU 2009147178 A	27-07-2011
			US 2010304457 A1	02-12-2010
			WO 2008145362 A1	04-12-2008

EP 2703364	A1	05-03-2014	EP 2703364 A1	05-03-2014
			ES 2672503 T3	14-06-2018
			FR 2994966 A1	07-03-2014

US 2018178262	A1	28-06-2018	CN 106591378 A	26-04-2017
			US 2018178262 A1	28-06-2018

US 2005217174	A1	06-10-2005	US 2005217174 A1	06-10-2005
			US 2007031958 A1	08-02-2007
