

Stockage et prétraitements des intrants avant alimentation de digesteurs de méthanisation

Etat des connaissances et recommandations



**STOCKAGE ET PRETRAITEMENTS DES INTRANTS AVANT
ALIMENTATION DE DIGESTEURS DE METHANISATION**

ETAT DES CONNAISSANCES ET RECOMMANDATIONS

GUIDE OPERATIONNEL

septembre 2022

**S. BERGER, I. DESNEULIN – SOLAGRO
F. MONLAU, C. PEYRELASSE – APESA
H. CARRERE – INRAE-LBE**



Créée à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD est depuis 1989, le catalyseur d'une coopération entre industriels, institutionnels et chercheurs.

Acteur reconnu de la recherche appliquée dans le domaine des déchets, des sols pollués et de l'utilisation efficace des ressources, RECORD a comme objectif principal le financement et la réalisation d'études et de recherches dans une perspective d'économie circulaire.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et institutionnels) définissent collégalement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

Avertissement :

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :
RECORD, Stockage et prétraitements des intrants avant alimentation de digesteurs de méthanisation - Etat des connaissances et recommandations, 2022, 151 p, n°20-0420/1A
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de la transition écologique)
www.ademe.fr

© RECORD, 2022



STOCKAGE ET PRÉTRAITEMENTS DES INTRANTS AVANT ALIMENTATION DE DIGESTEURS DE MÉTHANISATION - ETAT DES CONNAISSANCES ET RECOMMANDATIONS



INRAE



Quels sont les gisements méthanisables ?

Catégorie	Sous-catégorie	Matière sèche (%MS)	Moyenne BMP (Nm ³ CH ₄ /t _{MS})	Moyenne BMP (Nm ³ CH ₄ /t _{MS})
Déjections animales	Fumier	35	63	171
	Lisier	7	16	216
	Fiente	44	73	176
Résidus agricoles	Paille céréale	84	215	255
	Canne de maïs	58	145	240
	Menues paille	85	230	270
Production végétale	CIVE	33	91	283
	Ensilage herbe	27	84	315
Déchets verts des collectivités	DV tonte	29	57	194
	DV broyat	48	29	55
Déchets et effluents des industries	Effluent IAA	3	10	338
	Lactosérum	6	28	474
	Graisses IAA	33	215	630
	Graisses et déchets d'abattoirs	30	150	447
Boues de station d'épuration des eaux usées	Boues biologiques	12	25	185
	Graisse STEU	14	95	597
Biodéchets	FFOM	38	111	281
	GMS	20	78	427
	Biodéchets de cantine	41	183	477
Algues	Macroalgues	17	19	114
	Microalgues	33	87	268

Source : Base de données APESA



RECORD

Etude
N°20-0420/1A

Quels sont les gisements méthanisables à l'horizon 2030 ?

Les matières agricoles représentent 85% du gisement mobilisable en tonnage et en énergie :

- Les résidus de cultures : 1/3 du potentiel énergétique à 2030
- Les productions végétales (CIVE, cultures) : 1/3 du potentiel énergétique à 2030
- Les fumiers/fientes : environ 20% du potentiel énergétique à 2030

A l'horizon 2030, les autres déchets représentant 15% du potentiel énergétique sont ceux déjà assez bien mobilisés :

- Les déchets des collectivités : 10% du potentiel énergétique à 2030
- Les déchets des industriels : 5% du potentiel énergétique à 2030

Catégorie d'intrants	% du tonnage (2030)	% de l'énergie (2030)
Déjections	53	21
Résidus de culture	12	31
Cultures (CIVE)	21	32
Déchets verts	4	5
Déchets IAA	5	5
STEP urbaines	2	1
Biodéchets	3	5
Algues	0	0

Source : Issue Modélisation Scénario Afterres2050

Quels sont les facteurs limitants des intrants ?

Chaque type d'intrant a des besoins spécifiques liés à sa composition, sa réactivité, sa production ou la réglementation



Catégorie d'intrants	Sous-catégorie	Composition de la matière (C/N, accessibilité, indésirables)	Facteurs réactionnels et biologiques (microorganismes, pouvoir tampon, moussage, agitation)	Digestion mono-intrant	Facteurs opérationnels (production, stockage, réglementation)
Déjections animales	Fumier				
	Lisier				
	Fientes				
Résidus agricoles	Pailles de céréales				
	Menues pailles				
Production végétale	CIVE et ensilage				
Déchets verts des collectivités	Tontes				
	Autres Déchets verts				
Déchets et effluents des industries agroalimentaires	Industrie viande				
	Industrie végétale				
	Produits transformés				
	Lactosérum et effluents				
	Boues				
Boues de stations d'épuration des eaux usées	Graisses				
	Boues biologiques				
Biodéchets	Graisses de STEP				
	FFOM				
	GMS				
Algues	Déchets de cantine et restauration				
	Macroalgues				
	Microalgues et spiruline				

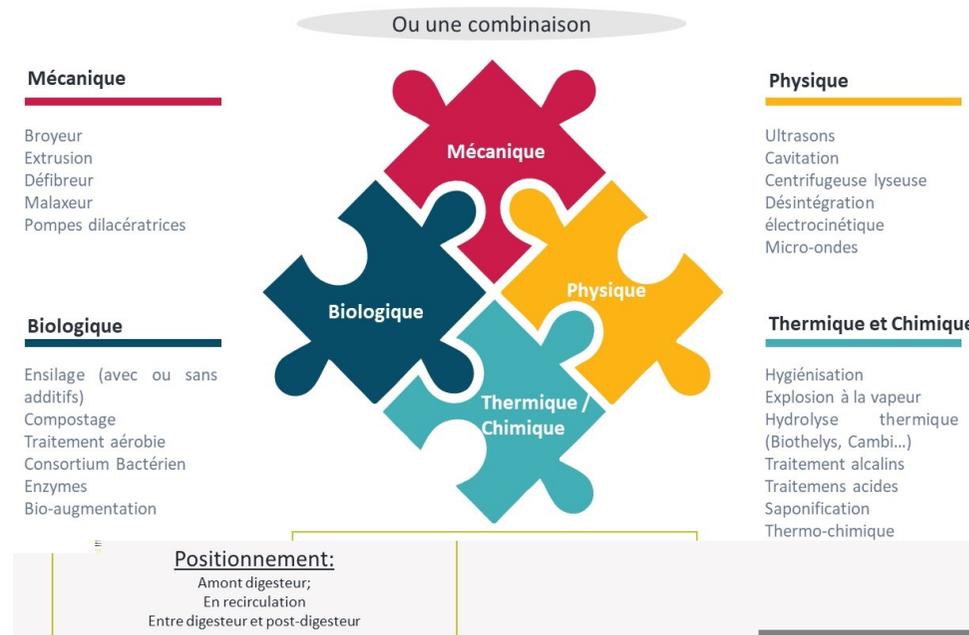


Etude
N°20-0420/1A

Quels sont les objectifs et quels sont les pré-traitements ?

- Favoriser l'expression du potentiel méthanogène
- Introduire et/ou faciliter l'introduction des matières dans le méthaniseur
- Assurer l'hygiénisation (obligation réglementaire) de certains substrats tels que les sous produits
- Concentrer les matières organiques dans les intrants
- Diminuer la viscosité du mélange et donc limiter les problématiques de pompage et réduire les coûts énergétiques de brassage

Les solutions de prétraitements et stockage pour la méthanisation



Les pré-traitements des déjections animales

LISIERS

Type	N° fiche	Pré-traitement	TRL (0 à 9)	REX - +	Objectifs
Conception des ouvrages	Ø	Limiter la durée avant métha < 1 ou 2 semaine Couverture	9		Limiter la perte de potentiel méthanogène
	Ø	Stockage en pointe avec possibilité de vider la fosse intégralement	9		Limiter la décantation
Mécanique	Ø	Séparation de phase et co-digestion phase solide	9		Equilibrer le C/N et le faible taux de MS de la ration

Nb de REX

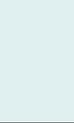
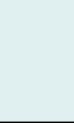


Etude
N°20-0420/1A

6

Les pré-traitements des déjections animales

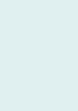
FUMIERS

Type	N° fiche	Pré-traitement	TRL (0 à 9)	REX - + 	Objectifs
Mécanique	1, 2, 3, 4	Broyage amont méthanisation	9		Améliorer la cinétique de dégradation
	6	Extrusion	9		Améliorer la biodégradation Réduire la viscosité du digestat
Biologique	9	Enzymes biologiques	9		
Thermo- chimique	15	Thermique Haute température (explosion à la vapeur)	9		



Etude
N°20-0420/1A

Les pré-traitements des biomasses lignocellulosiques

Type	N° fiche	Pré-traitement	TRL (0 à 9)	REX - + 	Objectifs
Mécanique	1, 2, 3, 4	Broyage	9		Augmenter la biodégradation Augmenter le potentiel méthanogène Réduire la viscosité du digestat
	6	Extrusion	9		
Biologique	9	Enzymes biologiques	9		
	13	Fongique (inoculation par des champignons)	4		
Thermo- chimique	11	Pré-hydrolyse	9		
	15	Thermique Haute température (explosion à la vapeur)	9		
	14	Alcalin	4		
Physique	7	Sonication (Ultrasons)	9		
	5	Cavitation	9		

8

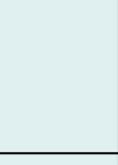
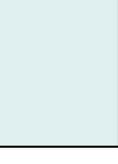


Etude
N°20-0420/1A

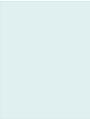
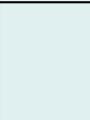
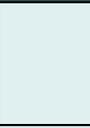
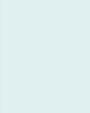
Les stockages des résidus agricoles

Type	N° fiche	Pré-traitement	TRL (0 à 9)	REX - + 	Objectifs
Mécanique	1, 2, 3, 4	Broyage amont stockage (<i>Fumiers</i>)	9		<p>Limiter les pertes au stockage</p> <p>Prévenir et contrôler le risque d'auto inflammation durant le stockage</p>
Biologique	9	Ensilage (<i>CIVE</i>)	9		<p>Conserver le potentiel méthanogène sur de longues durées</p>
	11	Inoculation de bactéries lactiques ou de conservateurs (<i>CIVE</i>)	9		<p>Limiter les pertes</p> <p>Améliorer le potentiel méthanogène</p>

Les pré-traitements des déchets gras

Type	N° fiche	Pré-traitement	TRL (0 à 9)	REX - + 	Objectifs
Mécanique	1, 2, 3, 4	Broyage	9		Nécessité de broyage de certains substrats
Thermo-chimique	16	Saponification	9		Faciliter la digestion Stabiliser et solubiliser les matières
	10	Hydrolyse Thermique Haute Température	9		Liquéfier pour permettre le pompage des graisses
Physique	7	Sonication (Ultrasons)	9		Limiter les problèmes de bouchage et de croûte

Les pré-traitements des boues urbaines

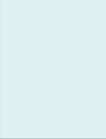
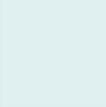
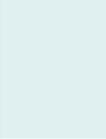
Type	N° fiche	Pré-traitement	TRL (0 à 9)	REX - + 	Objectifs
Thermo- chimique	10	Hydrolyse Thermique Haute Température	9		Stériliser Réduire la viscosité Accélérer de la dégradation Augmenter la charge Réduire les odeurs
	∅	Homogénéisation Haute pression	9		Augmenter la production de méthane
	14	Traitement alcalin ou acide	4		Augmenter la fraction d'azote minéralisé dans le digestat Améliorer la déshydratabilité
Physique	7	Sonication (Ultrasons)	9		Éliminer les filamenteuses Augmenter la biodégradation
	∅	Electroporation (champs pulsés), centrifugeuse lyseuse	7		Augmenter la biodégradation Augmenter la production de méthane
	∅	Micro-ondes, radiofréquence	4		

11



Etude
N°20-0420/1A

Les pré-traitements des biodéchets

Type	N° fiche	Pré-traitement	TRL (0 à 9)	REX - + 	Objectifs
Mécanique	1, 2, 3, 4	Broyage, déconditionnement	9		Nécessité de broyage de certains substrats (légumes, ...)
Thermo- chimique	12	Pré-hydrolyse	9		Conserver le potentiel méthanogène Améliorer la biodégradation
	10	Hydrolyse Thermique Haute Température	9		Réduire la viscosité des déchets Accélérer de la dégradation Augmenter la charge
	15	Thermique Haute Température (Explosion à la vapeur)	5		Liquéfier
Physique	∅	Adsorption par ajout de bentonite dans le méthaniseur	4		Stabiliser le procédé
	∅	Stérilisation + séparation	4		Augmenter de la charge

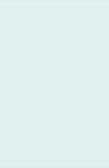
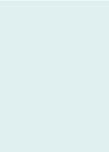
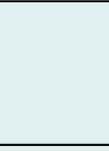
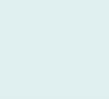
12



RECORD

Etude
N°20-0420/1A

Les pré-traitements des plastiques biodégradables

Type	N° fiche	Pré-traitement	TRL (0 à 9)	REX - + 	Objectifs
Mécanique	1, 2, 3, 4	Broyage, déchiquetage	9		Faciliter la biodégradation Augmenter la surface de contact avec les bactéries Augmenter la cinétique de dégradation
Thermo- chimique	6	Extrusion	9		
	5	Cavitation	9		
	15	Thermique Haute Température (Explosion à la vapeur)	5		
	14	Alcalin	4		



Etude
N°20-0420/1A

Les pré-traitements des algues

Type	N° fiche	Pré-traitement	TRL (0 à 9)	REX - + 	Objectifs
Mécanique	∅	Tamissage	5		Eliminer les sables
Biologique	∅	Co-digestion avec des biodéchets	7		Stabiliser la biologie par rapport à la présence d'H2S
	9	Enzymes	4		Dégrader la paroi cellulaire à structure complexe Améliorer la biodégradation
Thermo-chimique	10	Thermique Haute température	4		
	14	Alcalin	4		
Physique	7	Sonication	4		
	∅	Micro-ondes	4		



Quels sont les retours des acteurs de terrains ?

Principaux bénéfices constatés :

- Extraction emballages et indésirables
- Réduction de la croûte en surface des cuves de digestion
- Diminution des pannes d'agitation
- Diminution du temps de maintenance sur la ligne de digestion
- Diminution de la quantité d'indésirables en digestion (cailloux, ferrailles, bouts de bois...)
- Augmentation de la cinétique de production de biométhane
- Concentration des problèmes techniques en un seul point de l'installation
- Diminution des phénomènes de bouchons dans les canalisations coudées
- Possibilité d'intégrer une ration plus fibreuse
- Peu d'entretien quotidien
- Une diminution des pertes de potentiel méthanogènes au stockage (conservateurs et inoculants)

Principales limites rapportées :

- Coût d'investissement élevé
- Charges de maintenance importantes
- Consommation électrique élevée
- Temps d'entretien
- Concentration des contaminants dans les digestats pouvant impacter leur épandage (hydrolyse thermique)

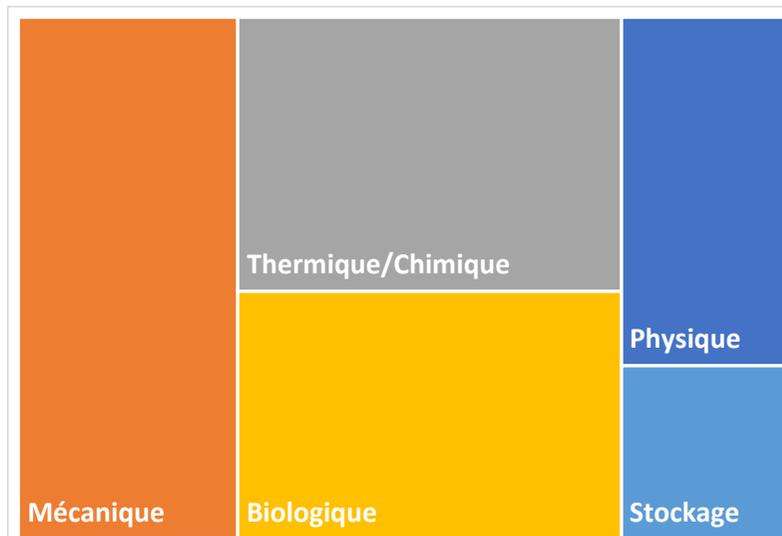


Etude
N°20-0420/1A

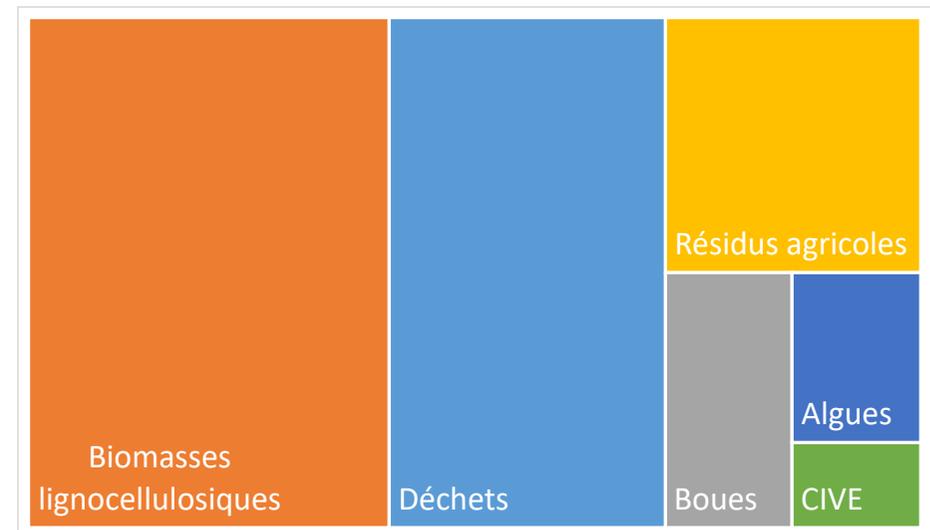
Comment se positionne la R&D en France ?

En France, 19 thèses et 13 projets depuis 2011

Les pré-traitements étudiés depuis 2011



Les substrats étudiés depuis 2011



Quelles sont les pistes de recherche d'intérêt ?

1. Disposer de données de référence sur les **coûts** (investissement et fonctionnement)
2. Identification des verrous qui limitent le **transfert vers l'échelle industrielle**
3. Identification **des verrous** limitant le développement des prétraitements sur les **biomasses atypiques**
4. Analyser les prétraitements sous le prisme de l'amélioration de la **rhéologie/viscosité** pour la diminution de la consommation énergétique
5. Analyser les impacts des prétraitements sur les **communautés microbiennes**
6. Analyser les impacts de prétraitements sur les **digestats**
7. Analyser les impacts de prétraitements sur les **sols et les eaux**
8. Mesurer les impacts de prétraitements à partir d'**ACV**



STOCKAGE ET PRÉTRAITEMENTS DES INTRANTS AVANT ALIMENTATION DE DIGESTEURS DE MÉTHANISATION

ÉTAT DES CONNAISSANCES ET
RECOMMANDATIONS
16 fiches



INRAE

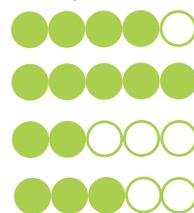


LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION – Fiche 1

LE BROYEUR À COUTEAUX

- Fumiers
- CIVE
- Résidus de culture
- Biodéchets

Compatibilité



Crédit photo : ADBA

Le broyage au broyeur à couteaux est un **traitement mécanique** de la matière. Il est utilisé pour **réduire la taille des fibres** avant introduction dans le méthaniseur, par coupe et cisaillement de la matière. Cela permet de faciliter l'introduction, le mélange, et de diminuer le temps nécessaire à la dégradation de la matière. Cela permet de sécuriser le fonctionnement des unités en limitant les bouchages, les phénomènes de croustilles et les contraintes sur les pâles des agitateurs en diminuant la viscosité du digestat.

Il est proposé en équipement standardisé par de nombreux constructeurs d'unités de méthanisation agricole clé en main.

 Niveau de maturité technologique : Application industrielle



BIOGAZ

- **Augmentation de la cinétique de production** de méthane (ressenti mais non mesuré)



TECHNIQUE

- Diminution de la casse des agitateurs
- **Diminution de la quantité d'indésirables** dans le digesteur (cailloux, ferrailles, bouts de bois, etc.)
- **Diminution du temps de maintenance** sur la ligne de digestion
- Concentration des problèmes techniques en un seul point, accessible, de l'installation au niveau du broyeur, ce qui limite les contraintes mécaniques en aval

BIOLOGIQUE

- **Réduction de la croûte** en surface des cuves de digestion



TECHNIQUE

- Parfois **fragiles**



CAPEX

- **Coût d'investissement** : entre 70 k€ et 110 k€

OPEX

- **Charges de maintenance** et remplacement des couteaux: env. 5 k€/an
- Charges liées à la **consommation électrique**: env. 2 k€/an pour un modèle 30 kW fonctionnant 3h/jour

QUELQUES MODÈLES:

Rotacut (Premix) : Vogelsang

Rotocrusher : Börger

Unihacker : Börger

BIOaccelerator R : BTS Biogas

Multichopper : Börger



Plus de 200 broyeurs à couteaux installés en France

*  Retour d'expérience exploitant

 Info constructeur

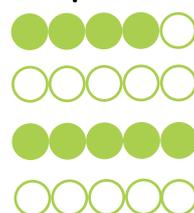
 Retour d'expérience R&D

LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION – Fiche 2

LE BROYEUR FORESTIER

- Fumiers
- CIVE
- Résidus de culture
- Biodéchets

Compatibilité



Crédit photo : Solagro

Le broyage au broyeur forestier déporté est un **traitement mécanique** de la matière. C'est un système mobile, privilégié par certains exploitants qui ne souhaitent pas avoir de broyeur en ligne, pouvant pénaliser le fonctionnement de l'installation en cas de panne. Il est principalement utilisé pour le broyage de déchets verts. Il est aussi adapté sur certaines installations pour le broyage de fumier et de résidus de culture. Réputé particulièrement robuste, il n'est en revanche pas adapté pour les fumiers mous.

Ils sont retrouvés principalement en version diesel mais existent également en version électrique ou raccordés derrière un tracteur.

✂ Niveau de maturité technologique: Application industrielle

TECHNIQUE

- **Peu d'entretien quotidien. Entretien prévu une fois tous les 10 ans.**
- **Diminution de temps de maintenance sur la ligne de digestion**
- Simplification du process, ne bloque pas le process en cas de problème comme peut le faire un broyeur placé sur la ligne d'incorporation.
- Diminution des phénomènes de bouchons dans les canalisations coudées



CAPEX

- **Coût d'investissement** : entre 100 k€ et 150 k€



OPEX

- **Charges de maintenance**: 1,20 €/tonne traitée
- Entretien pluriannuel coûteux: remplacement et réglage des couteaux et mise à l'arrêt du broyeur pendant plusieurs jours

QUELQUES MODÈLES:

*Mini Shark: Hantsch Willibald
Noremat*

Un exploitant interrogé utilise un broyeur déporté environ 300 heures par an, en broyant toutes les matières au moment de leur réception pour les stocker broyées.

LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION – Fiche 3

LE BROYEUR À CHAINES

	Compatibilité
 Fumiers	
 CIVE	
 Résidus de culture	
 Biodéchets (solides)	



Crédit photo : Verde Energy

Le broyage au broyeur à chaînes est un **traitement mécanique** de la matière, installé pour le broyage des matières fibreuses. Il peut notamment être utilisé pour le prétraitement du fumier pailleux, des ensilages, des déchets de fruits. Les cailloux présents dans les intrants sont désagrégés lors de leur passage dans le broyeur. Cela permet de protéger les pompes et prévient les bouchages du pendillard utilisé pour l'épandage du digestat.

Les travaux réalisés dans le cadre du projet PAM financé par l'ADEME ont montré que les broyeurs à chaînes (avec les broyeurs à marteaux) étaient les plus efficaces pour déstructurer les fibres.

 Niveau de maturité technologique : Application industrielle

BIOGAZ

- **Augmentation de la cinétique de production** de méthane
- Augmentation de la cinétique de dégradation de la matière
- Gain de production, ressentis mais non mesurés



TECHNIQUE

- Broyeur fiable et robuste

CAPEX

- **Coût d'investissement** : 98 k€ pour 8 à 10 tonnes/h.



OPEX

- **Charges de maintenance** : environ 150 € tous les deux mois pour le changement de la paire de chaînes puis 2000 € tous les deux ans pour le changement de la toile de renfort en acier.

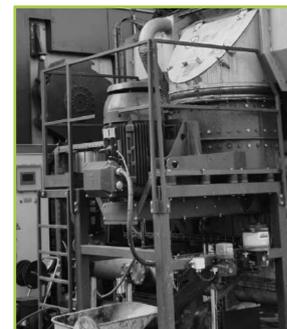
QUELQUES MODÈLES:

TQZ 1200 : Verde Energy
X-chopper : Nature Energy
Bio-préparateur TQZ : THM recycling solutions
Gamme Bio-QZ : Andritz

LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION – Fiche 4

LE BROYEUR À MARTEAUX

	Compatibilité
 Fumiers	
 CIVE	
 Résidus de culture	
 Biodéchets (solides)	



Crédit photo : Solagro

Le broyage au broyeur à marteaux est un **traitement mécanique** de la matière, que l'on retrouve principalement sur des unités traitant des matières complexes: fumiers pailleux, pailles de céréales, cannes de maïs, racines et radicules, potirons entiers, etc. il est réputé plus efficace que le broyeur à couteaux pour les matières fibreuses et sèches.

Il est généralement proposé pour des projets à des puissances plus élevées que pour le broyeur à couteaux. Les travaux réalisés dans le cadre du projet PAM financé par l'ADEME ont montré que les broyeurs à marteaux (avec les broyeurs à chaînes) étaient les plus efficaces pour déstructurer les fibres.

 Niveau de maturité technologique : Application industrielle

BIOGAZ

- Amélioration de la cinétique de dégradation de la matière
- Dans une moindre mesure, amélioration de la production de méthane



TECHNIQUE

- Diminution de la casse des agitateurs
- **Bonne acceptation des cailloux qui sont aussi broyés**
- **Diminution du temps de maintenance** sur la ligne de digestion
- Concentration des problèmes techniques en un seul point, accessible, ce qui limite les contraintes mécaniques en aval
- Diminution des phénomènes de bouchons dans les canalisations coudées



BIOLOGIQUE

- **Réduction de la croûte** en surface des cuves de digestion
- Limitation des risques de flottaison des fibres dans les digesteurs

CAPEX

- **Coût d'investissement** : 100 k€ minimum



OPEX

- **Charges de maintenance** et remplacement des marteaux et du rotor: env. 8-10 k€/an. Un marteau a un coût moyen de 175€.
- Charges liées à la **consommation électrique**: env. 15 k€/an pour un modèle 75 kW fonctionnant 8h/jour

TECHNIQUE

- Avec les intrants riches en cailloux, les marteaux s'usent vite et le broyeur se met souvent en défaut.

QUELQUES MODÈLES:

Ineval (France): 1 à 2 tonnes/h (18kW)
ou 4 à 6 tonnes/h (2 x 18 kW)
Rotacrex : Planet
BIOaccezlerator z : BTS Biogaz
Biogrinder : BHS Sonthofen

*  Retour d'expérience exploitant

 Info constructeur

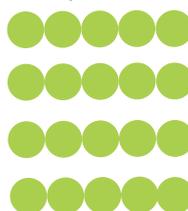
 Retour d'expérience R&D

LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION – Fiche 5

LA CAVITATION

- Fumiers
- CIVE
- Résidus de culture
- Biodéchets

Compatibilité



Crédit photo : Biobang

Il s'agit d'un prétraitement physique (pompage/mise en dépression), pouvant être utilisé pour réduire la viscosité du digestat et améliorer la digestion de la matière pour les procédés infiniment mélangés., mise en place en recirculation sur le digesteur. Cette technologie est brevetée par Biobang et développée par la société Italienne THREE-ES Srl. Ses capacités de traitement s'étendent de 0,5 à 25m³/h. Elle permet de réduire la taille des particules des substrats et notamment de décomposer la ligno-cellulose.

✂ Niveau de maturité technologique : Application industrielle

BIOGAZ

- Amélioration de la digestion de la matière
- Augmentation de la production de biogaz d'environ 20%



TECHNIQUE

- Permet de traiter des substrats difficiles en décomposant la ligno-cellulose.
- Améliore la fluidité du substrat pour faciliter le pompage.
- Réduit les risques de blocage dans les canalisations coudées

BIOLOGIQUE

- Réduction de la viscosité du digestat
- Réduction de temps de séjour nécessaire pour la digestion des substrats

CAPEX

- Coût d'investissement : De 127 000€ pour une unité de 1,5 m³/h à 210 000€ pour une unité de 2,5 m³/h.

OPEX

- Coûts de maintenance: de 2300 à 3000 €/an.

QUELQUES MODÈLES:

Cavimax: Cavimax Ltd
Biobang : Three-ES Srl
ROTOCAV : E-PIC

Plus de 150 unités à travers l'Europe, et une en Corée.
 La plus grande (15 m³/h) est installée en Pologne pour le prétraitement de la paille.



* Retour d'expérience exploitant



Info constructeur



Retour d'expérience R&D

LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION – Fiche 6

L'EXTRUDEUR

	Compatibilité
 Fumiers	
 CIVE	
 Résidus de culture	
 Biodéchets solides	

L'extrusion est un **prétraitement mécanique** de la matière. Elle est réalisée entre deux vis hélicoïdales afin d'éclater les cellules grâce à des contraintes répétées de pressions et à l'augmentation de la température de la matière. Cela améliore l'accessibilité de la matière et ainsi augmente la production de méthane.

Le taux de matière sèche cible du produit à extruder est de 35% MS. Une dilution peut être réalisée avec du digestat par exemple.

 Niveau de maturité technologique : Application industrielle

BIOGAZ

- **Augmentation de production de méthane** comprise entre 14% (ensilage de maïs) et 70% (miscanthus) 

TECHNIQUE

- Diminution de la casse des agitateurs
- **Diminution de la quantité d'indésirables** (cailloux, ferrailles, bouts de bois, etc.) dans le digesteur
- **Diminution du temps de maintenance** sur la ligne de digestion
- Concentration des problèmes techniques en un seul point, accessible, de l'installation au niveau du broyeur, ce qui limite les contraintes mécaniques en aval

BIOLOGIQUE

- **Réduction de la croûte** en surface des cuves de digestion

OPEX

- Charges liées à la **consommation électrique**: 10kWh/tonne pour le traitement de 1,5 tonne/h. 

QUELQUES MODÈLES:

Bioaccelerator : BTS biogas
Bioextrusion : Lehmann



Environ 150 unités vendues dans le monde dont 9 en France

*  Retour d'expérience exploitant

 Info constructeur

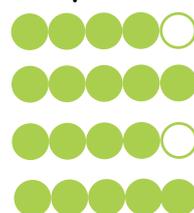
 Retour d'expérience R&D

LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION - Fiche 7

LE PRÉTRAITEMENT À ULTRASONS

-  Fumiers
-  CIVE
-  Résidus de culture
-  Boues de STEP

Compatibilité



Le prétraitement à ultrasons est un prétraitement physique, pouvant être utilisé pour réduire la viscosité du digestat et améliorer la digestion de la matière pour les procédés infiniment mélangés. Il peut être mis en œuvre sur les boues d'épuration urbaine, ou sur les unités de méthanisation pour traiter des substrats fibreux et difficiles à dégrader tels que le fumier ou l'herbe. Il est généralement positionné sur une partie du digestat ou après le post digesteur avant renvoi dans le digesteur.

 Niveau de maturité technologique : Application industrielle

BIOGAZ

- **Bénéfice de 10 à 15% sur la production de biogaz, permettant un retour sur investissement de 3 à 5 ans.**
- **Diminution de la consommation de substrats**

TECHNIQUE

- Permet de traiter des substrats difficiles
- **Réduit l'usure des agitateurs**
- **Réduit la consommation d'énergie des pompes et agitateurs**

BIOLOGIQUE

- **Stabilisation de la biologie**
- **Réduction du taux de MS du digestat**

CAPEX

- **Coût d'investissement** : environ 150 000 € pour un méthaniseur d'1MW.

OPEX

- Charges liées à la **consommation électrique**: surproduction de l'ordre de 10%.

QUELQUES MODÈLES:

Ultrawaves: Biosonator
Boipush: Weber Entec

 Une centaine de méthaniseurs (Europe) sont équipés du procédé Biopush de Weber Entec en station d'épuration et à la ferme.

*  Retour d'expérience exploitant

 Info constructeur

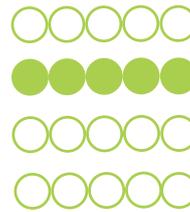
 Retour d'expérience R&D

LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION – Fiche 8

L'ENSILAGE (CONSERVATION)

- Fumiers
- CIVE
- Résidus de culture
- Biodéchets

Compatibilité



Crédit photo: Arvalis

L'ensilage de la matière végétale est une méthode de prétraitement biologique, connu pour être un moyen de conservation adapté pour les matières présentant un taux de MS inférieur à 40%. Il consiste à hacher la matière puis la stocker en tas compact de façon à éliminer l'oxygène afin de créer un milieu anaérobie. Va alors avoir lieu une fermentation lactique réalisée par des bactéries, provoquant l'acidification de la matière. L'ensilage est ainsi stabilisé, ce qui permet de conserver la matière et son potentiel méthanogène.

✂ Niveau de maturité technologique : Application industrielle

BIOGAZ

- Conservation du potentiel méthanogène sur de longues durées
- Les acides produits pourraient modifier la structure ligno-cellulosique des substrats, augmentant ainsi leur potentiel méthanogène



TECHNIQUE

- **Facile de mise en œuvre**
- **Nécessite peu de matériel donc peu coûteux**

BIOLOGIQUE

- Le pH acide et les conditions anaérobies **limitent le développement de micro-organismes** qui pourraient dégrader la matière.

TECHNIQUE

- Ne s'applique qu'aux cultures agricoles
- Nécessite de grandes surfaces de stockage
- Peut causer des pertes de potentiel méthanogène si mal réalisé



PRODUITS CONCERNÉS :

Cultures principales à hauteur de 15% maximum en tonnage dans la ration du méthaniseur : **maïs dédié, prairies temporaires**, etc.

CIVE : **sorgho, seigle** ainsi que **prairies permanentes**, etc.

Des additifs sont commercialisés pour améliorer la qualité de l'ensilage: des sucres pour favoriser la fermentation lactique, des acides ou des produits bactériostatiques pour inhiber la fermentation butyrique qui dégrade la qualité de l'ensilage, et des additifs biologiques contenant des bactéries lactiques ou des enzymes.



*  Retour d'expérience exploitant

 Info constructeur

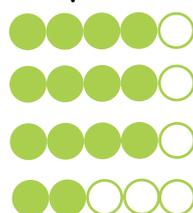
 Retour d'expérience R&D

LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION – Fiche 9

ENZYMES et MICRO-ORGANISMES

- Fumiers
- CIVE
- Résidus de culture
- Biodéchets

Compatibilité



Les prétraitements par ajout d'enzymes ou de micro-organismes sélectionnés sont une possibilité de prétraitement biologique pour améliorer la dégradabilité de la matière.

Les enzymes pouvant hydrolyser la cellulose et l'hémicellulose sont des glucosides hydrolases, et celles dégradant la lignine sont des laccases et des peroxydases. Plusieurs mélanges enzymatiques sont disponibles dans le commerce pour des applications dédiées à la méthanisation; avec des domaines d'activité compatibles avec les conditions de pH et de température.

Ces enzymes ou micro-organismes peuvent être introduits en amont de la méthanisation au niveau du stockage, directement dans le digesteur, dans la fraction liquide du digestat remis en circulation, ou bien consister en une étape spécifique.

Niveau de maturité technologique : Application industrielle



- | | | |
|-------------------|---|--|
| BIOGAZ | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Amélioration de la dégradabilité de la matière ▪ Augmentation de la production de méthane | |
| TECHNIQUE | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminue les contraintes d'agitation ▪ Diminue les consommations énergétiques liées à l'agitation | |
| BIOLOGIQUE | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Réduit la viscosité dans le digesteur ▪ Limite la flottation des matières en surface ▪ Réduit le croûtage en surface du digesteur | |



- | | | |
|----------------------|---|--|
| TECHNOLOGIQUE | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Peu de données accessibles sur leurs performances et leur coût à l'échelle industrielle | |
| ECONOMIQUE | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rapport coût/bénéfice trop élevé compte tenu des concentrations nécessaires pour observer un résultat. | |
| TECHNIQUE | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Performances dépendantes de la nature de la matière traitée ▪ Durée de vie limitée dans le temps | |

QUELQUES PRODUITS

MéthaPlus : DSM
 Axiase: DSM
 Bacteriometha : SOBAC
 Optimash : Dupont
 Metgen : Metzime Forci
 Enzymaxx : Agrikomp...

SOBAC commercialise « Bactériométha », un additif pour les substrats qui peut être ajouté directement sur la litière des animaux 15 jours avant curage. Il est composé d'un mélange de minéraux naturels et de végétaux naturels sur lesquels s'est développé un complexe de microorganismes spontanés des composts.

* Retour d'expérience exploitant Info constructeur Retour d'expérience R&D

LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION – Fiche 10

L'HYDROLYSE THERMIQUE À HAUTE TEMPÉRATURE

- Boues de STEP
- Matières agricoles

Compatibilité



Crédit photo : Véolia

L'hydrolyse thermique consiste à exposer les boues à de fortes températures comprises entre 140 et 180°C sous pression. Des températures plus élevées améliorent la solubilisation des boues mais provoquent la formation de composés de Maillard, non biodégradables en digestion anaérobie.

La durée est généralement de 20 à 30 minutes. Ce traitement entraîne la dégradation de la structure en gel des boues et la libération de l'eau liée, la déstructuration des floccs et la solubilisation des exopolymères. De plus, la libération des membranes des cellules libère des composés qui deviennent alors accessibles pour la digestion anaérobie.

Il existe des technologies en batch, semi-continues ou continues, qui comprennent ou non un système de détente rapide pour le retour à la pression atmosphérique.

Niveau de maturité technologique : Application industrielle

BIOGAZ

- Libération des composés intracellulaires qui deviennent accessibles à la digestion

TECHNIQUE

- Dégradation de la structure des boues, solubilisation des exopolymères
- Amélioration de l'aptitude des boues à la déshydratation
- Réduction de la viscosité

OPEX

- Coût d'aération augmentés pour éliminer la DCO liée au retour du surnageant en tête de process

TECHNIQUE

- Production de composés colorés solubles difficilement biodégradables

QUELQUES MODÈLES:

CambiTHP,
 Biothelys : Veolia,
 Exelys : Veolia,
 HCHS : Haarsley,
 Turbotec : Sustec,
 Lysotherm : Eliquo

Plus de 80 STEP dans le monde sont équipées de procédés d'hydrolyse à haute température pour améliorer la méthanisation des boues. Le tout premier procédé a été installé en Norvège en 1995.

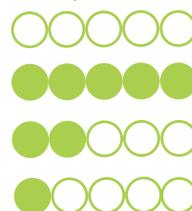
* Retour d'expérience exploitant Info constructeur Retour d'expérience R&D

LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION – Fiche 11

INOCULANTS ET CONSERVATEURS D'INTRANTS VÉGÉTAUX

- Fumiers
- CIVE
- Résidus de culture
- Biodéchets

Compatibilité



Crédit photo: Schaumann Bioenergy

Des additifs sont commercialisés pour améliorer la conservation des matières végétales par ensilage. Ces produits sont ajoutés à la récolte à l'aide d'un dispositif installé sur l'ensileuse. Il en existe différents types. Deux produits sont principalement proposés :

- Les inoculants : bactéries lactiques homo et hétérofermentaires
- Conservateurs: produits acides tamponnés à l'ammoniac

C'est un marché très développé en Allemagne, mais qui l'est encore peu en France. Une cinquantaine d'unités de méthanisation en utilisent, contre la quasi-totalité des installations allemandes.

 Niveau de maturité technologique : Application industrielle

- BIOGAZ** 
- Production d'acide acétique (accélère l'étape d'acétogénèse en digestion)
 - L'acide acétique augmente la stabilité aérobie avec une diminution des pertes sur le front d'attaque
 - Gain de production de 5 à 10%

- BIOLOGIQUE**
- Effet concurrentiel avec des souches produisant des molécules inhibitrices
 - Perte de matière sèche réduite de 5 à 10% en ensilage
 - Montée en température du front d'attaque réduite

- ECONOMIQUE** 
- Surcoût par rapport à un ensilage classique :
 - Inoculants : 1,5 €/tMB traitée en moyenne
 - Acides : 4 €/tMB traitée

- TECHNIQUE**
- Le taux de matière sèche doit être inférieur à 45% pour pouvoir utiliser des inoculants

QUELQUES FABRIQUANTS:

Schaumann Bioenergy
Roullier
Lallemand

 *Conseil unanime des fournisseurs : il est indispensable de bâcher les silos. L'absence de couverture ou l'ajout d'un couvert végétal induirait des pertes importantes jusqu'à 1 mètre de hauteur.*

*  Retour d'expérience exploitant

 Info constructeur

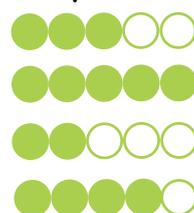
 Retour d'expérience R&D

LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION – Fiche 12

LA PRÉ-HYDROLYSE

- Fumiers
- CIVE
- Résidus de culture
- Biodéchets

Compatibilité



Crédit photo : Naskeo

La pré-hydrolyse est une méthode de prétraitement biologique de la matière proposée par certains fournisseurs en amont des digesteurs, pour augmenter la dégradabilité des matières lignocellulosiques afin d'augmenter leur rendement. Il existe des méthodes de pré-hydrolyse anaérobie, aérobie ou semi-aérobie.

L'hydrolyse semi-aérobie catalysée est par exemple réalisée dans une cuve chauffée à 37°C avec un temps de séjour de 0,4 à 1 jour et une aération séquencée. Le pH est de l'ordre de 6,5 à 7. Le gaz produit par l'hydrolyse (CO₂, H₂S, CH₄) est traité par un biofiltre avant rejet dans l'atmosphère.

 Niveau de maturité technologique : Application industrielle



BIOGAZ

- Amélioration de la dégradation de la matière
- Augmentation de la cinétique de dégradabilité de la matière



CAPEX

- Le coût d'investissement est de l'ordre de 100 000 euros.



TECHNIQUE

- Le taux de matière sèche dans la cuve d'hydrolyse semi-aérobie doit être de 8 à 12%
- Le gaz produit pendant cette étape n'est pas valorisé



Un programme de recherche « BOOST'HYDRO » a démarré en mars 2020 dans le cadre d'une thèse, en collaboration avec l'INRAE, axé notamment sur la compréhension des phénomènes biologiques, l'étude des voies de valorisation du gaz produit pendant l'hydrolyse et les recettes les plus adaptés.

QUELQUES MODÈLES:

BOOST : Evalor
 Hydrolyse semi-aérobie catalysée : Biogaz ingénierie
 Hydrolyse anaérobie : Arkolia

*  Retour d'expérience exploitant

 Info constructeur

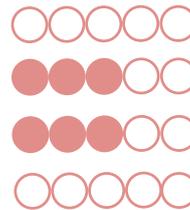
 Retour d'expérience R&D

LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION – Fiche 13

LES PRÉTRAITEMENTS FONGIQUES

- Fumiers
- CIVE
- Résidus de culture
- Biodéchets

Compatibilité



Crédit photo : Solagro

Le prétraitement fongique est un prétraitement biologique faisant appel à la capacité de certains champignons de dégrader la lignine, qui pourrait être utilisé en fermentation voie sèche. Les champignons à pourriture blanche ont été identifiés comme les plus performants pour délignifier un substrat. Ils permettraient une augmentation du BMP jusqu'à 50%. Mais les pertes de MO estimées entre 10 et 20% sont trop peu mentionnées et peuvent conduire à une surestimation des gains.

✂ Niveau de maturité technologique : Résultats laboratoire prometteurs



BIOGAZ ■ Augmentation du BMP jusqu'à 50% (Carrere et al., 2016)



ECONOMIQUE ■ Implique des surcoûts de 12% pour les investissements et 170% pour les charges de fonctionnement (ANR Stockactif, UMR FARE)



BIOLOGIQUE ■ Pertes de matière organique (estimées entre 10 et 20%) qui contrebalancent l'augmentation du BMP (Carrere et al., 2016).



QUELS LEVIERS POUR RÉDUIRE CES VERROUS?



- Utiliser les champignons pour traiter des substrats ligneux qui ne sont pas méthanisables aujourd'hui
- Les travaux de recherche sur l'optimisation des conditions de prétraitement (humidité, aération, température, complément nutritionnel et durée) doivent au préalable permettre d'améliorer les performances au regard des pertes de matière.

- *Le projet ANR Stockactif, coordonné par l'UMR FARE et finalisé en 2017 s'est intéressé aux souches de champignons capables de délignifier la biomasse lignocellulosique (paille de blé et de miscanthus)*
- *Un brevet associant trois laboratoires publics a été déposé. Il s'intitule « prétraitement de biomasses lignocellulosiques par des champignons filamenteux pour la production de bioénergies. »*



LABORATOIRES

UR LBE Narbonne, UMR FARE Reims, UMR BBF Marseille, UMR IATE Montpellier, DEEP INSA Lyon

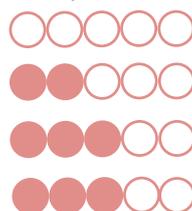
* Retour d'expérience exploitant Info constructeur Retour d'expérience R&D

LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION – Fiche 14

LES PRÉTRAITEMENTS CHIMIQUES (acides/bases)

- Fumiers
- CIVE
- Résidus de culture
- Biodéchets

Compatibilité



Les prétraitements acides et basiques sont des prétraitements chimiques de la matière qui ont été largement étudiés à l'échelle du laboratoire à température ambiante ou à des températures allant de 40 à 90°C. En dépit de résultats prometteurs concernant l'augmentation de la production de méthane et des cinétiques de dégradation, ils ne sont pas utilisés à l'échelle industrielle à cause de nombreux freins économiques et biologiques.

✂ Niveau de maturité technologique : Résultats laboratoire prometteurs



BIOGAZ

- **Bénéfice sur la production de méthane**
- **Augmentation de la cinétique de biodégradation**



ECONOMIQUE

- **Consommation d'eau**
- **Consommation de produits chimiques**
- **Consommation d'énergie**



BIOLOGIQUE

- Augmentation des concentrations en sels dans le digestat
- Formation potentielle d'inhibiteurs tels que les composés phénoliques

TECHNIQUE

- Performances très variables selon les matières prétraitées

QUELS LEVIERS POUR RÉDUIRE CES VEROUS?



- Sélectionner les matrices à prétraiter en fonction de leur faible biodégradabilité et des performances obtenues par le prétraitement (cinétique et BMP)
- Utiliser des produits chimiques qui ne pénalisent pas la qualité du digestat. La soude peut par exemple être remplacée par de la potasse qui apporte du potassium ayant un intérêt pour les sols au contraire du sodium apporté par la soude.
- Recycler la fraction liquide issue du prétraitement pour limiter sa consommation en eau et en produits chimiques.

Des essais (Thomas, 2019) ont montré qu'un prétraitement à la soude pouvait permettre d'augmenter le BMP du Miscanthus jusqu'à +55%



QUELQUES PROCÉDÉS ÉTUDIÉS:

Prétraitement à la soude, à l'acide chlorhydrique, à la potasse, etc.

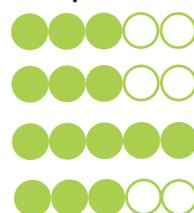


LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION – Fiche 15

LES PRÉTRAITEMENTS THERMIQUES

- Fumiers
- CIVE
- Résidus de culture
- Biodéchets

Compatibilité



Crédit photo: Agrikomp

Il existe plusieurs possibilités de prétraitement thermique de la matière :

- ❖ Les prétraitements par un dispositif de chauffage installés entre le digesteur et le post-digesteur. Sont commercialisés pour améliorer la digestion des substrats fibreux en augmentant leur cinétique de dégradation et en réduisant la viscosité du digestat. Ils fonctionnent par échangeur thermique tubulaire, qui chauffe le substrat de fermentation pendant 40 minutes de 40 à 80°C.
- ❖ Les technologies d'explosion à la vapeur, où les substrats sont traités à 150 à 180°C et 8 à 10 bars. Ces technologies sont encore peu développées à l'échelle industrielle car elles rencontrent des difficultés d'utilisation, et font encore l'objet de R&D pour être optimisées.

✂ Niveau de maturité technologique : Application industrielle

BIOGAZ

- **Augmente la production de biogaz** avec la même quantité d'intrants
- **Augmente la cinétique** de biodégradation



TECHNIQUE

- **Améliore la pompabilité** du substrat
- **Améliore l'agitation**
- Chauffage du digestat type Cooker : Facile à intégrer dans une unité existante

BIOLOGIQUE

- **Améliore la viscosité du digestat**
- À haute température, **élimination des pathogènes** contenus dans certains substrats

CAPEX

- **Coût d'investissement** : environ 150 000 € pour un méthaniseur d'1MW.

TECHNIQUE

- Explosion à la vapeur : nombreux dysfonctionnements au niveau de l'introduction/ broyage et extraction de la biomasse lors de l'automatisation du process.



Agrikomp commercialise sa propre unité de prétraitement thermique, installée sur ses installations de méthanisation.

Des essais sont en cours par BioVantage en Europe pour démontrer l'efficacité du système AD-Booster (process d'oxydation en voie humique/explosion à la vapeur) déjà en place aux États-Unis.

QUELQUES MODÈLES:

Cooker : Agrikomp

*Explosion à la vapeur :
Biogas Systems
BioVantage*

* Retour d'expérience exploitant

Info constructeur

Retour d'expérience R&D

LES PRÉTRAITEMENTS EN MÉTHANISATION – Fiche 16

LA SAPONIFICATION

■ Graisses

Compatibilité



■ Matières agricoles



Crédit photo : HAL Archives ouvertes

Le prétraitement des graisses par saponification est proposé par la société SAPOVAL pour faciliter leur digestion anaérobie. Il permet la solubilisation et la stabilisation des matières prétraitées pour limiter les problématiques physiques et biologiques liées aux graisses. Un brevet a été déposé. Ce prétraitement se fait dans une cuve agitée, non chauffée, avec addition d'une base de type soude, potasse ou lait de chaux. Le pH visé est de 8,5 à 9,5. Il peut être mis en œuvre sur les graisses de la station d'épuration et toutes graisses issues des eaux usées.

✂ Niveau de maturité technologique : Application industrielle

- | | | | |
|---|-------------------|--|---|
| 😊 | BIOLOGIQUE | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Solubilisation et stabilisation des matières ▪ Limite les problèmes d'inhibition, moussage et capacité de digestion liés aux graisses | 👥 |
| | TECHNIQUE | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Limite les problèmes de colmatage, encrassement et croûtage liés aux graisses ▪ Fiabilisation du process de digestion | |
| | ECONOMIQUE | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rentabilisé en 1 à 4 ans grâce aux gains opérationnels et à la fiabilisation du processus de digestion | |

☹ **CAPEX** ■ Coût d'investissement de l'ordre de 50 à 150k€.

OPEX ■ Coût de fonctionnement de 5 à 15€/tonne selon le type de graisse traitée.

EXPLOITATIONS ÉQUIPÉES:

STEP de Vichy
STEP de Limoges

🔍 À l'échelle industrielle, la société Sapoval (Albi, 81) propose un procédé de saponification qui peut être appliqué en amont de stations d'épuration des eaux usées ou en amont d'un méthaniseur

* 🏠 Retour d'expérience exploitant

👷 Info constructeur

🧪 Retour d'expérience R&D