

Projet Interreg : Agricométhane

Synthèse de l'étude bibliographique sur la méthanisation en voie sèche

Document rédigé par :

Virginie WAWRZYNIAK – TRAME

et

Nathalie VIARD - TRAME

Décembre 2007

TRAME
6 rue de la Rochefoucauld
75 009 Paris

Préambule – importance de l'étude pour les acteurs du territoire Lorraine, Luxembourg et Wallonie

Cette étude est apparue nécessaire dans le contexte lorrain car une forte majorité des exploitations agricoles d'élevage produit du fumier. Or le fumier est une matière méthanogène qui pose un certain nombre de difficultés pour son utilisation dans les installations biogaz classique de type infiniment mélangé.

Or, à ce jour, ni les 3 installations pilotes du programme Interreg Agricométhane et ni les autres installations biogaz présentes sur le territoire Lorraine, Wallonie, Luxembourg, ne présentent de système alternatif au modèle classique pour traiter les fumiers.

Dans ce contexte de forte demande de la part des porteurs de projets et devant l'absence de références sur la méthanisation voie sèche sur le territoire, Interreg III le groupe de développement du biogaz en Lorraine a commandité cette étude bibliographique sur la méthanisation en voie sèche.

L'objectif de cette étude est de dresser un tableau le plus exhaustif possible des différentes technologies de méthanisation voie sèche existantes à ce jour sur le marché et de montrer les avantages et les contraintes de chaque technologie de façon à appuyer les porteurs de projet dans leur prise de décision.

Le groupe biogaz remercie l'ensemble des partenaires du projet Interreg Agricométhane d'avoir accepté que cette étude figure au programme alors qu'elle ne faisait pas partie du projet initial.

Partenaires du projet Agricométhane



Le projet est soutenu par



SOMMAIRE

I. Aperçu général de la méthanisation voie sèche	4
A. Historique	4
B. Enjeu de l'étude	4
C. Définitions	5
1. Méthanisation en voie sèche ou voie liquide	5
2. Méthanisation continue ou discontinue	5
3. Méthanisation en 1 étape ou 2 étapes	5
D. Classification des différentes technologies	5
II. La méthanisation voie sèche en continu	7
A. Tableau récapitulatif des process phase sèche en continu	8
B. Principaux avantages et inconvénients du système continu	11
III. Les procédés alliant méthanisation phase sèche continue en digesteur horizontal et post-digestion en infiniment mélangé	11
IV. Méthanisation sèche à 2 étapes	14
V. La méthanisation sèche en discontinu	14
A. Données générales sur la méthanisation sèche en discontinu	14
1. Principes généraux	15
2. Les 4 grands systèmes de méthanisation sèche en discontinu	18
B. Tableau de synthèse des différentes technologies employées	20
C. Principaux avantages et inconvénients du système discontinu	23
VI. Conclusions	24
A. Comparaison de la méthanisation en voie sèche et de la méthanisation en voie liquide	24
B. Les limites de l'étude	29
C. Recommandation pour les agriculteurs	29
VII. Références	30
A. Bibliographie	30
B. Sites Internet consultés	31
C. Liste des installateurs recensés	32

I. Aperçu général de la méthanisation voie sèche

A. Historique

Dans les années 1980 cette technique fut l'une des premières à être utilisée sur les exploitations agricoles mais faute de connaissances techniques, d'équipements adaptés et suite à la baisse du prix du pétrole, cette technique fut abandonnée.

Depuis les années 1980, la méthanisation en voie liquide s'est fortement développée dans les exploitations agricoles (Allemagne, Danemark) alors que la méthanisation voie sèche a été utilisée pour le traitement des déchets fermentescibles des ménages à grande échelle.

Cependant, en profitant des progrès réalisés sur les installations de traitement de déchets fermentescibles des ménages, en bénéficiant de l'expérience des sites pilotes réalisés en Suisse (procédé ANACOM et fermentation en canal) et suite au bonus « innovation » pour les installations allemandes utilisant la méthanisation voie sèche (2004), certaines entreprises ont commencé à développer des installations en voie sèche adaptées aux matières agricoles.

A l'heure actuelle, il existe une bonne vingtaine d'entreprises proposant des installations en voie sèche.

B. Enjeu de l'étude

La France, étant très en retard sur le plan du développement de la méthanisation agricole, dans le cadre de la mise en place des premiers projets français, les porteurs de projets et structures accompagnatrices se basent sur l'expérience européenne (Belgique, Luxembourg, Allemagne...). Or la plupart des offres reçues proposent des installations de type infiniment mélangé. C'est par ailleurs le type d'installation très majoritairement mis en place dans les autres pays européens.

Or, l'un des principaux critères de mise en place des systèmes infiniment mélangés est la teneur en matière sèche au sein du digesteur. Celle-ci ne doit pas excéder 18%. Cette contrainte technique entraîne un certain nombre de conséquences :

- Des coûts d'investissement relativement importants. En effet, la grande quantité d'eau qui transite dans le digesteur (88%) implique la réalisation de digesteur de grande taille.
- Pour le bon fonctionnement de ce type d'installation, il est nécessaire d'investir dans des brasseurs et pompes puissants. Ces équipements sont indispensables au bon fonctionnement de l'installation mais coûteux (environ 1/3 du coût) et consommateur d'électricité. Par ailleurs, en cas de dysfonctionnement biologique, les coûts d'arrêt/remise en route sont plus importants.
- Dans le cas de site agricole principalement basé sur des déchets solides (fumier), il est nécessaire de liquéfier la matière et de créer des fosses de stockage (inexistantes pour ce type de site).

Il semble donc pertinent dans le contexte lorrain de connaître les techniques existantes et les critères de réussite de projets basés sur la technologie méthanisation en phase sèche.

C. Définitions

1. Méthanisation en voie sèche ou voie liquide

La méthanisation en voie liquide permet de prendre en charge un mélange de matières dont la teneur en matière sèche n'excède pas 18%. Alors que la méthanisation en voie sèche permet de prendre en charge un mélange de matières dont la teneur en matière sèche est supérieure à 30%. Dans le premier cas le mélange de matières est pompable, dans le deuxième cas la matière se stocke et se transporte facilement.

Cette différence de composition de la matière, (donc les possibilités de manipulation qui en résultent), induit des techniques très différentes alors que le principe biologique est la même.

En Allemagne, la méthanisation voie liquide représente 90% des installations agricoles.

2. Méthanisation continue ou discontinue

En système discontinu, le digesteur est chargé de matière puis fermé hermétiquement. Pendant une durée de fermentation (2 à 4 semaines) la matière se dégrade. Le digesteur est alors vidé. Dans ce système, le volume de biogaz produit et sa composition dans le temps ne sont pas constants. Pour cette raison, plusieurs digesteurs sont installés en parallèle.

En système continu, le digesteur est chargé quotidiennement de matière fraîche. En conséquence, un volume identique de matière dégradée est expulsé quotidiennement du digesteur. Dans ce système, le biogaz est produit en continu.

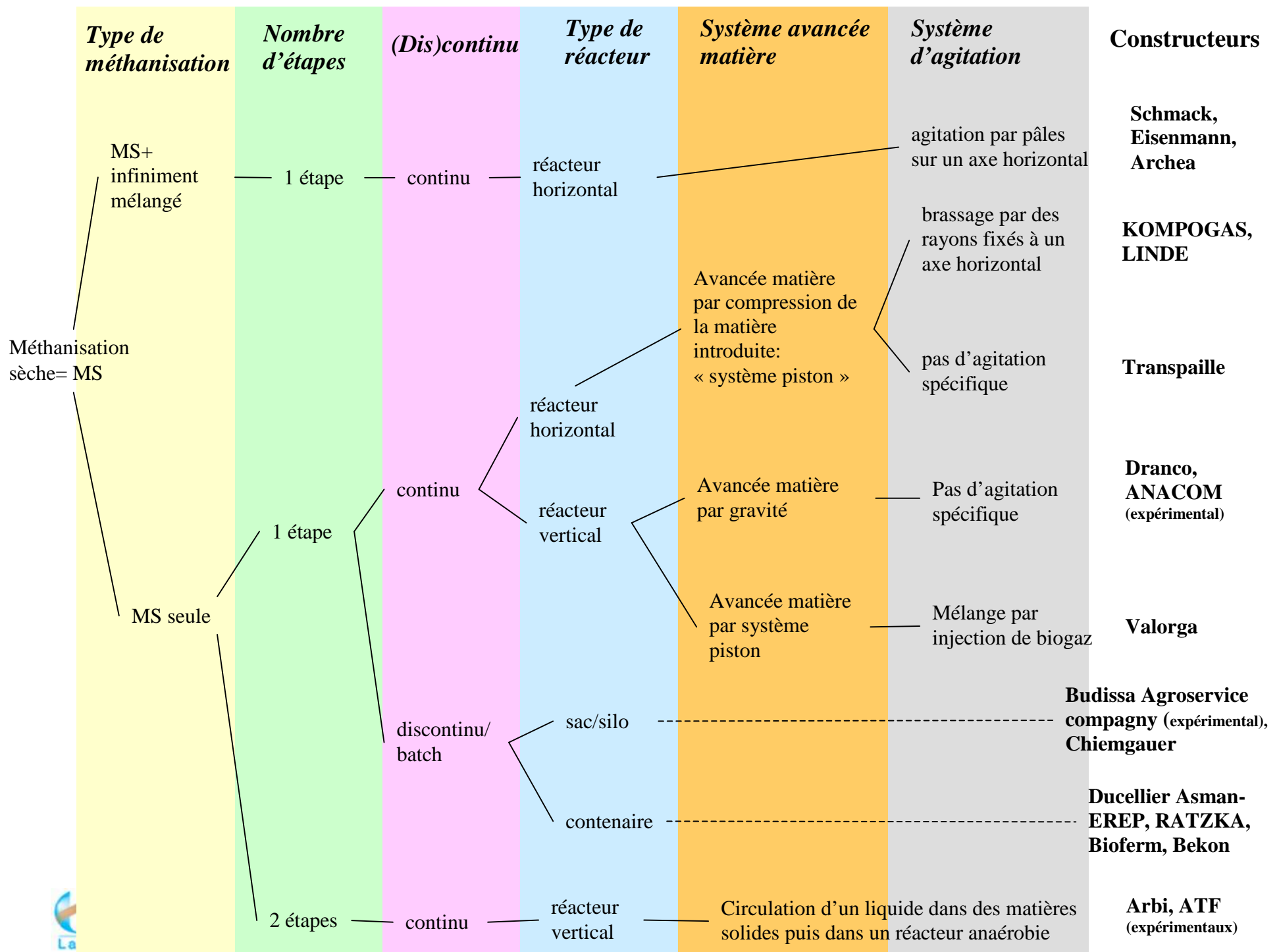
3. Méthanisation en 1 étape ou 2 étapes

Dans les systèmes à une étape, l'hydrolyse, l'acidogénèse et la méthanogénèse se déroulent en même temps dans le même contenant.

Dans les systèmes à 2 étapes, l'hydrolyse et l'acidogénèse sont séparées de la méthanogénèse.

D. Classification des différentes technologies

Le schéma ci-dessous propose une classification des différentes technologies de méthanisation en voie sèche. C'est sur la base de cette classification qu'est construit le présent rapport.

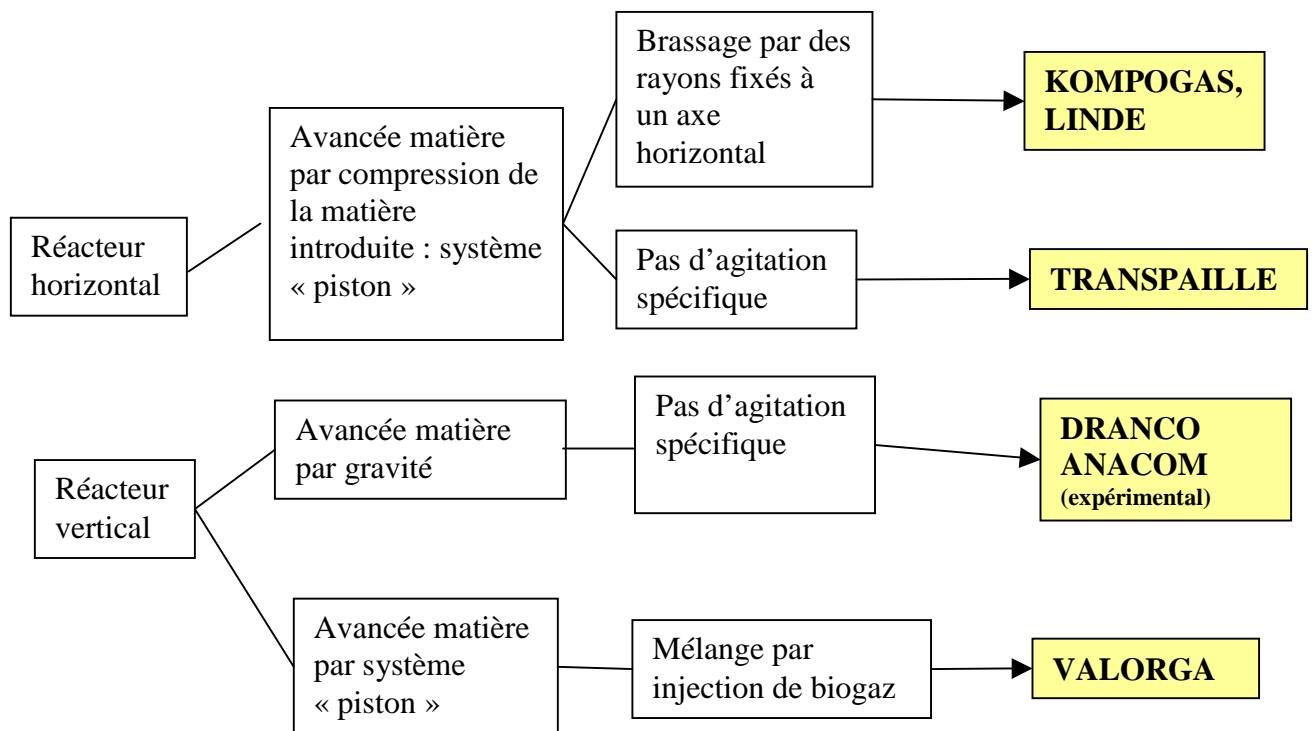


II. La méthanisation voie sèche en continu

De la même manière que les systèmes infiniment mélangés, la méthanisation sèche en continu consiste à introduire régulièrement (au moins quotidiennement) de la matière dans le digesteur. Les procédés diffèrent principalement d'un point de vue technique sur les points suivants :

- Le type de digesteur : horizontal, vertical.
- Le mode d'avancée de la matière dans le digesteur.
- Le système d'agitation utilisé : par circulation du biogaz, par des systèmes de mélange radial/transversal, par un système mécanique/hydraulique/pneumatique.
- Le mode de chauffage (injection de vapeur, échangeur de chaleur) et l'existence ou non d'isolation.

Ainsi, nous avons distingué différents systèmes de méthanisation sèche en continu :



A. Tableau récapitulatif des process phase sèche en continu

Caractéristique du process

Caractéristiques biologiques

	type de procédé	Capacité des digesteurs sur installations existantes	nombre d'étape	continu/discontinu	réacteur	mésophile/thermophile	Chargement	taux MS en entrée	temps de séjour
kompogas	phase sèche	4000 à 100 000T/an. Digesteurs d'environ 1200m ³	1	continu	horizontal, 6,1m*6,6m*32m, compact	thermophile (50 à 60°C)	6TdeMS/m ³ /j	25 à 35%	15 à 20 jours
linde	phase sèche	digesteur de 900, 1600m ³	1	continu	horizontal	thermophile ou mésophile	6-8kgMV/m ³ /j	15 à 45%	environ 20 jours
transpaille	phase sèche	digesteur de 10 à 100m ³	1	continu	horizontal métallique (20 à 100m ³)	37°C		?	30 jours
DRANCO	phase sèche	1200m ³	1	continu	vertical	mésophile ou thermophile	10 à 20 kg DCO/m ³ réacteur par jour	45 à 50% MS	15 à 30 jours
Valorga	phase sèche	1300m ³	1	continu	vertical	mésophile ou thermophile	chargement organique de 7kg/m ³ /jr	30%MS en entrée	Environ 30 jours

Matière entrante

Equipement du digesteur

	Prétraitement	alimentation	pré compostage	incorporation de liquide	avancée de la matière dans le digesteur	brassage	
kompogas	utilisation d'une fraiseuse pour ameublir le substrat	automatisée/ continue grâce à une trémie / introduction par piston hydraulique	possible 2 à 3 jours	jus de pressage du digestat	par compression "piston"	modéré avec rayons perpendiculaires à l'axe d'avancement de la matière	
linde	calibrage	automatisée/continue grâce une trémie / introduction par vis sans fin	2 à 3 jours	jus de centrifugation du digestat	par compression "piston"	pâles transversales au sens de progression du contenu du fermenteur	Cherche à éviter la production de surnageant par un système de va et vient
transpaille	pilage	séquentielle par trémie	non	lixiviat recyclé du fermenteur	système piston à alimentation séquentielle	pas de brassage spécifique?	le surnageant assure l'étanchéité
DRANCO	calibrage	automatisée	non	recirculation d'une grande partie du digestat	par gravité	pas de système spécifique	
Valorga	calibrage	automatisée	non	injection des jus de pressage du digestat pour diluer la matière entrante	par système piston	par injection de biogaz	

	Equipement du digesteur		Matière sortante	
	chauffage	isolation	Deshydratation	Compostage
kompogas	Chauffage assuré par chaudière biogaz : préchauffage de la matière à 55°C + chauffage dans les parois du digesteur	oui	degrilleur à vis avec clapet hydraulique	Oui, 6 semaines
linde	compostage de la matière avant méthanisation permettant d'atteindre 45 à 50°C+ chauffage dans parois et fond du digesteur	oui	centrifugation	oui
transpaille	échangeur de chaleur interne/semi-chauffé en fonction t°C externe	non (réalisé en milieu tropical)	non, boue flottante à 17% de MS	oui
DRANCO	pas de système spécifique, chauffage par recirculation d'une grande partie de digestat et injection possible de vapeur dans la matière entrante	oui	le digestat est dilué jusqu'à un taux de MS de 10% ou bien séché	si digestat séché
Valorga	par injection de vapeur dans la matière entrante	?	pressage mécanique puis séchage biologique	non, stabilisation et affinage de l'amendement

B. Principaux avantages et inconvénients du système continu

Ce procédé présente plusieurs avantages

- Une production de biogaz continue.
- La régularité d'exploitation.
- Le fonctionnement continu garantit un certain équilibre aux populations bactériennes ce qui contribue à la stabilité du process.
- Ce procédé autorisant une automatisation poussée permet de réduire la charge de travail.

Le principal inconvénient

Le principal inconvénient est lié aux coûts d'installations et d'entretien plus élevés par rapport au système discontinu du fait de la technicité plus poussée.

Ce point explique entre autres le fait que si cette technologie est bien développée pour les biodéchets et donc les installations industrielles, elle est jusque là peu développée pour des installations à la ferme.

III. Les procédés alliant méthanisation phase sèche continue en digesteur horizontal et post-digestion en infiniment mélangé

Certains constructeurs proposent une technologie alliant méthanisation en phase sèche et méthanisation en infiniment mélangé.

Les trois constructeurs que nous présentons ici (SCHMACK BIOGAS AG, EISENMANN et ARCHEA) proposent tous le même type de process c'est-à-dire une méthanisation en une phase, débutant dans un digesteur horizontal en phase solide pouvant accueillir de la matière présentant un taux de matière sèche de 30 à 40% en entrée. La méthanisation se termine dans un digesteur en infiniment mélangé où le biogaz est stocké dans une géomembrane.

Ce process permettrait d'améliorer le rendement de dégradation de la matière par rapport à une méthanisation en phase sèche uniquement ou par rapport à une méthanisation en infiniment mélangé.

Dans tous les cas la matière présente dans le digesteur horizontal est assurée par un axe horizontal présentant des éléments perpendiculaires à l'axe.

Les principales différences résident dans :

- Le système de chauffage.
- La conception de l'axe d'agitation.
- Les temps de séjour dans chacun des digesteurs et les températures de fonctionnement conseillés.
- Certains présentent la particularité de proposer un système d'hygiénisation entre les deux digesteurs ce qui augmenterait le rendement de dégradation de la matière.

Tableau récapitulatif des process alliant phase sèche et infiniment mélangé

Caractéristique du process

Caractéristiques biologiques

	type de procédé	Capacité des digesteurs sur installations existantes	nombre d'étape	continu/ discontinu	réacteur	mésophile/ thermophile	Chargement	taux MS en entrée	temps de séjour
schmack	phase sèche et infiniment mélangé	400 à 1000m3 pour digesteur horizontal	1	continu	horizontal	?	?	32% en entrée digesteur horizontal, 20 à 25% en sortie.	20 jours dans le digesteur horizontal et 50 dans l'infiniment mélangé
Eisenmann	phase sèche et infiniment mélangé	?	1	continu	horizontal	40 à 55°C dans le digesteur horizontal, 40°C dans l'infiniment mélangé	?	35% en entrée, 18% en sortie	15 à 20 jours dans chacun des digesteurs
Archea	phase sèche et infiniment mélangé	270m3	1	continu	horizontal	mésophile dans le digesteur horizontal, thermophile dans l'infiniment mélangé (55°C)	?	40% en entrée du digesteur horizontal, 25 à 30% à l'intérieur	20 jours en PS, 30jrs en IM

	Prétraitement	alimentation	pré compostage	incorporation de liquide	brassage	chauffage	isolation	Deshydratation	Compostage
schmack	broyage	automatisée	non	recirculation possible du percolat ou du digestat	pâle transversales fixée sur un axe central	par circulation eau chaude dans axe central de l'agitateur et pâles axiales (vanne de décharge pour évacuer la chaleur en saison chaude)		pas forcément le digestat étant liquide, il peut y avoir directement épandage	non
Eisenmann	broyage	automatisée	non	?	système d'agitation sur axe horizontal	paroi chauffantes	oui		non
Archea	broyage	automatisée	non	?	système d'agitation sur axe horizontal	paroi chauffante	oui		non

IV. Méthanisation sèche à 2 étapes

Si jusque là nous avons parlé de méthanisation en une étape, certains laboratoires de recherche se sont intéressés à de la méthanisation phase sèche à deux étapes c'est-à-dire que l'hydrolyse et l'acidogénèse sont séparées de la méthanogénèse.

Dans l'étude, deux expérimentations sont présentées qui sont jusque-là restées au stade de recherche-développement.

V. La méthanisation sèche en discontinu

Le principe général de la méthanisation discontinue sèche est d'utiliser un mélange de matière dont la teneur en matière sèche est supérieure à 30%. Cette matière est placée dans un digesteur fermé pour une durée déterminée sans ajout de matière fraîche durant toute la durée de fermentation.

Les centres d'enfouissement technique ne sont pas abordés dans cette étude.

A. Données générales sur la méthanisation sèche en discontinu

Pour fonctionner correctement, les installations de ce type doivent répondre à un certain nombre de critères techniques.

1. Principes généraux

Voici un tableau récapitulant les principaux critères auxquels les installations biogaz doivent répondre ainsi que les solutions appliquées et les conséquences en terme de paramètres de dimensionnement des installations.

Critères biologiques ou techniques à résoudre	Solutions appliquées	Paramètres de dimensionnement
Les indésirables de grosse taille (bois, matière inorganique) provenant des substrats sont une nuisance pour le process et doivent être retirés avant entrée dans le digesteur.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dégrillage / calibrage 	
Conserver au sein du digesteur une humidité suffisante Le maintien d'une humidité supérieur à 60% est nécessaire au bon fonctionnement des bactéries (croissance, métabolisme, transport de nutriments)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aspersion de percolat ➤ Immersion de la matière entrante 	<p>Connaître les caractéristiques physicochimiques des matières entrantes et l'assèchement possible au cours du pré-compostage et du remplissage.</p> <p>Dimensionnement de la cuve à percolat</p>
Démarrage rapide de la méthanisation Plus la méthanisation démarre rapidement plus le temps de séjour est court (augmente le rendement de l'installation)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aspersion de percolat provenant de digesteur en fin de fermentation afin d'apporter des bactéries fraîches et des nutriments ➤ Mélange de matière digérée et de matière fraîche pour apporter des bactéries et nutriments 	<p>Le ratio optimal doit être trouvé et conservé (matière fraîche : matière digérée et matière : percolat) dans chaque digesteur et pour chaque mélange de matière.</p>
Stabilisation de la méthanisation La matière fraîche contient une concentration importante d'acide gras volatil. Par ailleurs, les premières étapes de la méthanisation (hydrolyse, acidogénèse) libèrent des acides gras volatils. Les acides gras volatils inhibent la méthanisation	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mélange de matière digérée et de matière fraîche La matière digérée fait office de tampon durant la période de démarrage ou la production d'acide gras volatile est importante. En fonction des substrats, le ratio matière fraîche : matière digérée peut aller de 50 : 50 à 15 : 85. Plus la quantité de matière fraîche incorporable est faible plus le temps réel de séjour est long. ➤ Le pré-compostage Il permet de dégrader les molécules très facilement dégradables qui auraient tendance à acidifier le milieu 	<p>Le ratio optimal doit être trouvé et conservé (matière fraîche : matière digérée) dans chaque digesteur et pour chaque mélange de matière.</p>

	et inhiber la méthanisation.	
<p>Densité, porosité de la matière</p> <p>Obtenir une bonne densité et une bonne porosité de la matière sont nécessaires pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obtenir un bon mélange entre matière fraîche et digérée donc une bonne répartition des bactéries • Obtenir une bonne pénétration du percolat donc une bonne répartition des bactéries, de l'humidité et des nutriments • Eviter le tassement de la matière, la création de canal de circulation préférentiel et le colmatage de ces canaux par lessivage des matières en suspension • Obtenir une bonne ventilation de la matière lors du précompostage <p>Une bonne porosité permet ainsi d'obtenir un digesteur qui fonctionne dans la totalité de son volume utile sans espace mort</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ajout de structurant pour que la matière conserve une bonne structure, des matériaux comme la paille ou des plaquettes de bois peuvent être utilisés. ➤ Broyage de la matière <p>Les matières qui ont tendance à se comprimer de manière trop importante ne sont pas indiquées pour ce type de procédé (du moins sans ajout de structurant)</p>	<p>La densité optimale doit être trouvée et conservée dans chaque digesteur et pour chaque mélange de matière.</p>
<p>Le nombre de digesteurs</p> <p>Le nombre de digesteurs fonctionnant en parallèle doit être calculé de façon à ce que la production de biogaz soit la plus continue possible</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Minimum 4 digesteurs en parallèle ➤ Stockage de biogaz suffisant pour assurer un effet tampon et limiter les variations de production 	<p>Calcul du volume de digestion en fonction de la quantité de matière, de la ration matière fraîche/matière digérée, du temps de rétention, de la densité de la matière, du volume de percolat et des contraintes matérielles.</p> <p>Calculer le nombre de digesteurs nécessaires pour une production continue de biogaz et de qualité suffisante</p>
<p>Contrôle des émissions de méthane</p> <p>Il est essentiel de contrôler les émissions de méthane lors de l'ouverture des digesteurs. En effet, le mélange biogaz/air est explosif dans un</p>	<p>Mise en place d'équipements spéciaux</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ ventilation forcée des digesteurs ➤ digesteurs équipés d'évacuateurs et d'injecteurs de gaz pour les périodes de fin et de début de process. 	

ratio 15 % : 85 %.	➤ matériel de chargement équipé de moteur anti-déflagration et de cabine fermée et de filtre à air	
Contrôle des émissions d'odeurs Pour les grosses installations traitant des déchets ménagers, les odeurs doivent être maîtrisées (ammoniacque, hydrogène sulfuré, acide gras volatil).	➤ utilisation de filtre à air biologique	
Chauffage des digesteurs Pour un bon développement, les bactéries ont besoin d'être placées à température optimale. Il existe 3 plages de température correspondant à des consortiums différents de bactéries : <ul style="list-style-type: none"> • Psychrophile • Mésophile • Thermophile 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pré-compostage de 2 à 3 jours de la matière fraîche : la fermentation aérobie porte la matière à 50-70°C sans apport thermique extérieur ➤ Apport de percolat chauffé à une température de consigne ➤ Chauffage du digesteur par les parois ➤ Isolation des digesteurs <p>En cas de chauffage uniquement par les parois du digesteur, le substrat est réchauffé uniquement à proximité du fond et des parois. Le substrat se réchauffe lentement en commençant dans les régions situées plus en profondeur. En outre, la teneur en masse sèche étant plus élevée, la transmission de chaleur n'est pas très efficace, de sorte que le réchauffement du substrat prend plus de temps.</p> <p>Le préchauffage par compostage permet de réduire considérablement le temps nécessaire au chauffage du substrat et réduit la dépense énergétique requise à cet effet et le temps d'occupation des digesteurs.</p> <p>Pour maintenir la température de fermentation, différentes solutions sont possibles : via les parois, via le percolat et par l'isolation du digesteur.</p>	Calcul des besoins thermiques en fonction de la température extérieure, de la température des substrats (avec ou sans pré-compostage), de la température du percolat et de l'isolation des digesteurs)

Zoom sur la production de biogaz

Le process biologique se stabilise en 2 à 5 jours après le démarrage du process. A ce moment, le biogaz à une concentration optimale de méthane (60 à 65%), le biogaz peut alors être utilisé en cogénération.

Pour l'utilisation de biogaz en cogénération, il est nécessaire d'obtenir une production de biogaz continue (comme en méthanisation continue). De façon à sécuriser la régularité de la production de biogaz, plusieurs digesteurs sont installés en parallèle. Un suivi expérimental, réalisé par Agrartechnisches Institut Potsdam-Bornim (Linke, 2002) avec du fumier de bovin et du digestat de fumier de bovin (dans une ration 50/50), a montré que la production de biogaz est à son maximum entre le 10^{ème} et le 28^{ème} jour puis elle décroît suite à la dégradation du substrat. La réduction de production de biogaz doit être compensée par la mise en production d'un nouveau digesteur 4 semaines après le premier. Cet essai montre que 3 digesteurs minimum sont nécessaires pour assurer une production continue de biogaz

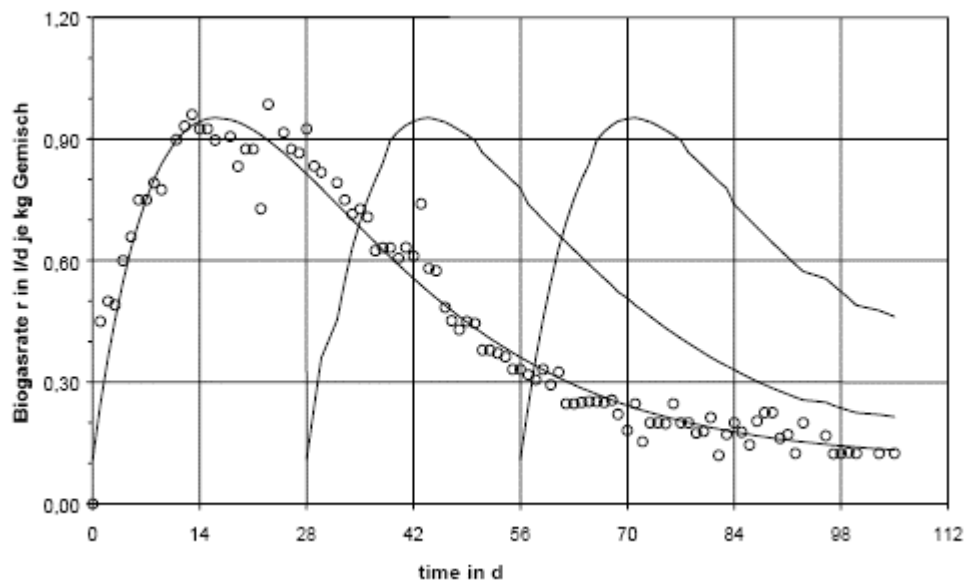


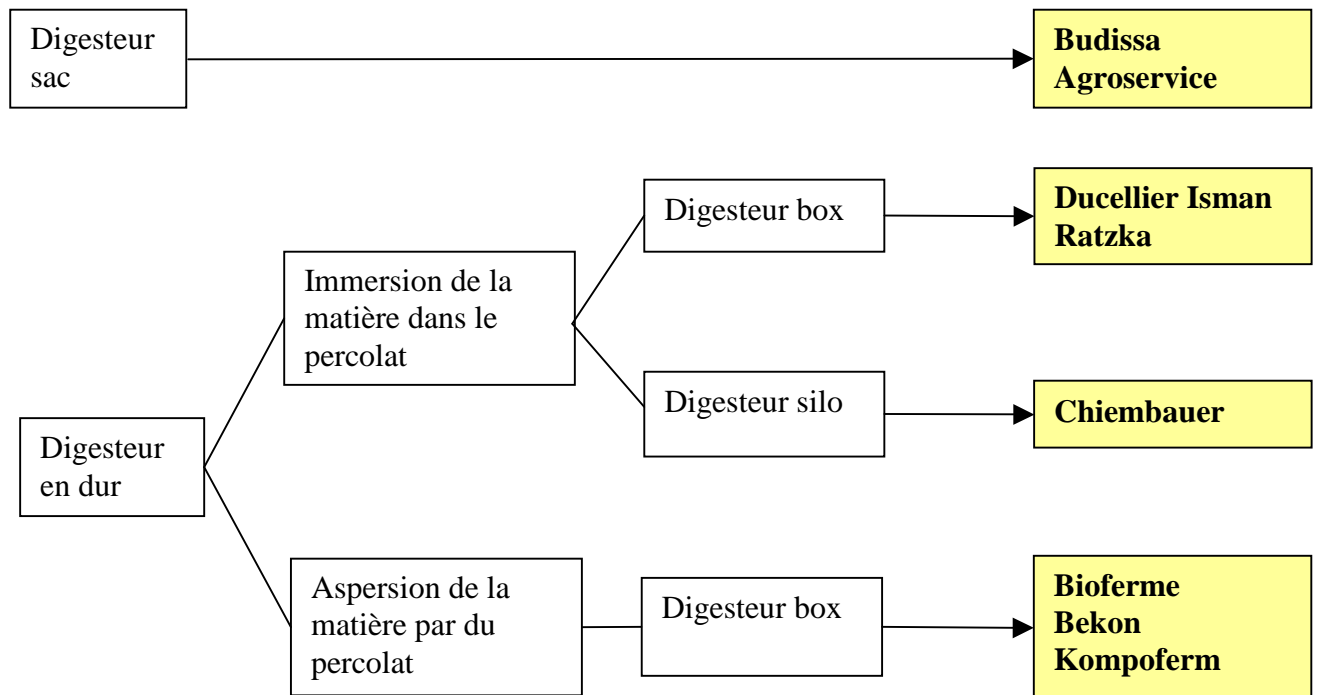
Fig X : Production de biogaz en digestion sèche à partir de fumier de bovin et de digestat (ration 50/50) à 35°C (Linke , 2000)

2. Les 4 grands systèmes de méthanisation sèche en discontinu

Des critères techniques à respecter par les installations de méthanisation sèche en discontinu découlent 3 grandes familles de process allant de la plus simple à la plus complexe :

- 1 – Digesteur sac
- 2 – Digesteur avec immersion de la matière
- 3 - Digesteur garage avec ou sans percolation

Le schéma suivant montre les principales différences entre ces grandes familles.



Les technologies utilisées par différentes entreprises ayant développé ces différents systèmes sont développées dans la suite de cette partie.

B. Tableau de synthèse des différentes technologies employées

Entreprises	type de procédé	Maturité du process	Capacité annuelle de l'installation	Emprise au sol
Budissa Agroservice compagny	sac	test		
Chiemgauer	Silo immergé	3 ans d'expériences	480 T/an (pour 2 digesteurs)	digesteur de 5m * 8m
Process Ducellier Isman - EREP	Contenaire immergé	un des plus anciens systèmes de méthanisation sèche discontinu	450 T/an	180 m2
RATZKA	Contenaire immergé	?	?	?
Bioferm	Contenaire			
Bekon	Contenaire		7000T/an	2000m2

Entreprises	Digesteur					
	Type	Mode de remplissage	Mode de vidange	Capacité	Nombre	Chauffage
Chiemgauer	bassin en béton couvert d'une géomembrane	revient à remplir un silo d'ensilage	revient à vider un silo d'ensilage	40m3	2 minimum	chauffage au sol
Process Ducellier Isman - EREP	béton	par le haut	?	25 - 30 m3	3 ou 4	non
RATZKA	béton armé	par le haut	par le côté	?	?	Chauffage sol et paroi
Bioferm	béton armé	par le côté	par le côté	200 à 800m3	4 ou plus	Chauffage sol et paroi
Bekon	béton armé	par le côté	par le côté	800m3	5	Chauffage sol et paroi

Entreprises	Digesteur			
	Isolation	Sécurité	Stockage biogaz	Spécificité
Chiemgauer	couverture isolante sur le tas pour éviter les déperdition de chaleur au niveau de la géomembrane	joint d'eau	Gazomètre sur le conteneur	
Process Ducellier Isman - EREP	oui, polystyrène 12 cm	joint d'eau	gazomètre souple de 2 jours de stockage	immersion matière sèche assurée par grille de contention
RATZKA	?	porte étanche	Gazomètre sur le conteneur	
Bioferm	oui	détecteur de méthane, aspiration biogaz avant ouverture	gazomètre externe	
Bekon	oui	détecteur de méthane, aspiration biogaz avant ouverture		

Entreprises	Caractéristiques biologiques			
	Température de méthanisation	Taux MS en entrée	Temps de séjour	Production de biogaz (m3 de biogaz/m3 de digesteur/jour)
Chiemgauer	Mésophile	30 à 40% de MS	40 à 60 jours	?
Process Ducellier Isman - EREP	Mésophile	30 à 40% de MS	30 à 45 jours	1,32
RATZKA	Mésophile	?	?	?
Bioferm	Mésophile	?	?	?
Bekon	Mésophile		30 jours	

Matière entrante

Entreprises	Préparation de la matière entrante				pré compostage		
	broyage	Calibreur/ dégrillage	Ajout de structurant	Mélange de matière fraiche et digéré	durée	ventilation	lieu
Budissa Agroservice compagny							digesteur/ box séparé/aire bétonné
Chiemgauer	non	non	non	ratio 50/50	non		
Process Ducellier Isman - EREP	non	non	non	ratio 50/50	2 jours	oui	digesteur
RATZKA	?	?	?	?	?	?	?
Bioferm	?	?	?	?	?	?	?
Bekon	non	non	non	25/75	non	non	non

Entreprises	incorporation de percolat			Matière sortante		Dispositif de gestion des odeurs	Bilan énergétique Autoconsommation	
	utilisation	fosse de stockage	Température	Deshydratation	Compostage		en électricité	en chaleur
Chiemgauer	immersion par du percolat de digesteur en	?	?	non	possible	non	?	?
Process Ducellier Isman - EREP	fin de digestion	15m3	35°C	non	possible	non	8%	6%
RATZKA	Immersion de la matière dans du percolat	équipée comme un digesteur infiniment mélangé	38°C	?	?	?	?	?
Bioferm	Aspersion en permanence		38°C	?	?	?	?	?
Bekon	Aspersion en permanence		38°C	non	non	non	?	4%

C. Principaux avantages et inconvénients du système discontinu

Ce procédé présente plusieurs avantages :

- Une flexibilité d'approvisionnement au cours de l'année.
- Un besoin en thermie de process faible
- Peu d'éléments techniques (pas de pompe, brasseur, agitateur) d'où une réduction des coûts d'entretien et d'énergie sur ce poste.
- Production d'un digestat stockable en tas et épandable avec un épandeur à fumier
- Peu de gêne lié aux indésirables (bois, pneu...)

Les principaux inconvénients sont :

- Un temps de séjour global relativement long (qui ne permet pas finalement de réduire les volumes de digestion par rapport à l'infiniment mélangé)
- Un travail de manipulation amont et aval de la matière très important (charge en main d'œuvre et en fuel)
- Des mesures de sécurité importante à prendre pour l'ouverture et la fermeture des digesteurs
- Des coûts d'investissement encore élevés car il existe peu d'installation de ce type (pas de standardisation/concurrence)
- Certains dispositifs sont encore en phase de test
- Système spécifique aux matières sèches, il n'est pas possible d'introduire des matières liquides

Ce type de dispositif est celui qui se développe principalement en agriculture.

VI. Conclusions

A. Comparaison de la méthanisation en voie sèche et de la méthanisation en voie liquide

(Hoffman Manfred, 2000)

La méthanisation en voie sèche présente divers avantages et inconvénients par rapport au système infiniment mélangé. Nous présentons ici un tableau comparatif du point de vue de l'analyse de différents facteurs clés.

ETAT DES LIEUX DE L'EXISTANT		
	Méthanisation sèche	Méthanisation infiniment mélangée
Taille des installations	Mis à part les procédés restés au stade de recherche/développement (Transpaille, Anacom...), les installations existantes de méthanisation phase sèche (seule) traitent au minimum 10 à 15 000 t de déchets par an.	Il est possible de trouver de petites installations traitant 2 000 t de matière par an mais il existe d'importantes économies d'échelle lors de la construction d'installation de grande taille.
Maturité de la technologie dans le secteur agricole	Cette technologie principalement développée pour les sites industriels de traitement de la FFOM (Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères) présente peu d'expériences dans le secteur agricole.	Le procédé infiniment mélangé présente plus de 20 ans d'expériences et environ 4 000 installations agricoles en Europe.

DIGESTAT		
	Méthanisation sèche	Méthanisation infiniment mélangée
Stabilisation du substrat et hygiénisation	Dans les deux cas, il y a effectivement stabilisation et hygiénisation mais nous n'avons pas de données permettant de savoir si un procédé est plus efficace qu'un autre.	
Production de compost valorisable en tant qu'amendement organique	Le digestat produit est solide, il peut être épandu comme un fumier. Il peut aussi être composté.	Le digestat produit est liquide. Il peut être utilisé tel quel à condition de prendre quelques précautions (date d'épandage, type d'épandeur). Il peut aussi être composté après séparation de phase. Dans ce cas, on récupère une fraction solide à composter et une fraction liquide à épandre.
Perte d'éléments minéraux	Il n'existe pas de perte lors de la méthanisation. Il serait nécessaire de faire une recherche bibliographique approfondie sur le bilan minéral avec/sans compostage.	Il n'existe pas de perte lors de la méthanisation. Risque de volatilisation de l'azote lors de l'épandage. Il est nécessaire d'utiliser du matériel d'épandage adapté.
Emissions d'odeurs	Réduction des mauvaises odeurs du fait de la méthanisation. Les principaux risques de mauvaises odeurs proviennent : <ul style="list-style-type: none"> • du stockage amont des matières entrantes • du pré-compostage s'il est réalisé à l'air libre • du mélange matière fraîche/matière digérée (dans le cas des système en discontinu. 	Réduction des mauvaises odeurs du fait de la méthanisation. Le principal risque de mauvaises odeurs provient du stockage amont des matières entrantes.

TECHNOLOGIE		
	Méthanisation sèche	Méthanisation infiniment mélangée
TYPE DE MATIERE ENTRANTE	Adapté aux fermes produisant des matières solides en effluents solides. Il est difficile d'incorporer des matières liquides	Installation adaptée aux matières liquides. Il est possible d'introduire des matières solides à conditions de les diluer.
CONSOMMATION EN EAU	Il est inutile d'utiliser ou d'ajouter de l'eau (sauf en phase de lancement d'une installation). Pour les besoins du process, c'est le percolat (issu de la matière en fermentation qui est utilisé).	Dans le cas d'un mélange de substrat à incorporer trop sec, il peut être nécessaire de rajouter de l'eau.
Présence de composés inertes (plastiques, verres, sable...) dans la ration	Ces composés posent peu de problème dans le process, il est néanmoins préférable de retirer les plus gros éléments qui encombrer inutilement les digesteur. En système discontinu, la présence de ces composés n'a pas de conséquence sur l'installation. En système continu, des systèmes de fond mouvant permettent de soustraire les matières s'accumulant en fond de cuve.	Ces composés peuvent causer des problèmes importants dans les digesteurs : <ul style="list-style-type: none"> • accumulation au fond de digesteur d'où une diminution du volume utile • dommages sur les pompes, brasseurs • encombrement des canalisations...
Flottation	Du surnageant peut apparaître dans les systèmes continus. S'il est mal géré, cela peut conduire à l'apparition de court-circuit dans les flux entraînant la matière à dégrader trop rapidement vers la sortie.	Les problèmes éventuels de flottation sont évités par une gestion appropriée du brassage au sein du digesteur. L'utilisation de matière ayant tendance à flotter engendre une surconsommation d'énergie.
Stabilité du process	Pour la méthanisation en voie sèche discontinue, une ration non équilibrée dans un contenair conduit à un défaut de production qui peut être rapidement pris en charge sans compromettre le fonctionnement de l'ensemble de l'installation (fonctionnement en parallèle de différent digesteur, matière active disponible).	Une ration « non équilibrée » peut provoquer des problèmes d'acidose et entraîner l'arrêt de l'installation. Dans ce cas, c'est l'ensemble de l'installation qui est mise en arrêt. Le temps de vidange et redémarrage peut prendre 2 à 3 mois.
Temps de rétention	Pour la méthanisation en voie sèche discontinue, le temps de rétention complet dépend du temps de rétention par cycle de fermentation et du ratio matière fraîche/matière digérée. Par exemple, pour un cycle de fermentation de 30 jours et une ration 50/50, le temps de rétention complet de la matière est de 60 jours. En revanche, pour un cycle de fermentation de 30 jours et une ration 25/75, le temps de rétention complet de la matière est de 120 jours.	Le temps de séjour dépend de la composition de la matière, il est compris entre 30 et 80 jours (pour la méthanisation en infiniment mélangé).

	Pour la méthanisation en voie sèche continue, le temps de séjour dépend du type de matière incorporée et du taux de dégradation que l'on souhaite atteindre. Il peut varier d'une quinzaine à une trentaine de jours.	
--	---	--

ECONOMIQUE		
	Méthanisation sèche	Méthanisation infiniment mélangée
Volumes et surfaces nécessaires	Le volume de digesteur nécessaire, pour une production de biogaz définie, est moindre. Par conséquent la surface nécessaire à la construction est moindre.	La nécessité de limiter à 12% la teneur en matière sèche dans le digesteur oblige à augmenter les volumes de digesteurs et de stockage
Coût de transport	Le coût de transport est inférieur par tonne de MS véhiculée. Le coût de transport est donc réduit en rapport avec la quantité de biogaz produite par tonne de matière entrante.	
Besoin en chaleur	<p>En méthanisation en voie sèche, la teneur en eau dans la matière fraîche étant moindre, cela limite la consommation de chaleur pour chauffer une masse improductive (l'eau) d'où un besoin en chaleur par tonne de matière fraîche moindre.</p> <p>Par ailleurs, en méthanisation sèche discontinue, les besoins en chaleur sont réduits du fait :</p> <ul style="list-style-type: none"> • du pré compostage des matières qui permet de monter la matière entrante à 50-70°C, • de la recirculation des percolats dans la matière en digestion. <p>En méthanisation sèche continue, le pré-compostage est moins fréquent. La recirculation de percolat ou digestat est fréquente. La matière peut également être chauffée avant incorporation.</p>	<p>Les besoins en chaleur pour chauffer sont supérieurs en raison</p> <ul style="list-style-type: none"> • du volume important à chauffer (dont 88% d'eau). • de la taille des digesteurs qui implique plus de surface de déperdition.
Besoin en électricité	<p>En méthanisation voie sèche discontinue, les besoins en électricité sont moindres car les digesteurs ne sont pas équipés d'agitateur, incorporateur ou pompe.</p> <p>En méthanisation voie sèche continue, on retrouve les</p>	Besoin en électricité équivalent à 10% de la production d'électricité générée par la combustion du biogaz en cogénération. Ce besoin important est lié aux pompes, brasseurs, équipement d'incorporation des installations.

	équipements nécessaires à l'incorporation, au mélange...etc. Nous n'avons pas les données permettant de comparer la consommation électrique globale entre la phase sèche et l'infiniment mélangé.	
Besoin en fuel	Les besoins en fuel sont plus importants car toute la matière est manipulée par des manitous, chargeur....	
Bilan énergétique de l'installation	Pour faire un bilan global du besoin en énergie (électricité, chaleur, fuel) les données n'étaient pas assez complètes	
Valorisation d'équipements existants	Dans le cas des systèmes discontinus, le matériel de chargement (tracteur, manitou) peut être réutilisé. Le digestat peut être épandu comme un fumier.	Nécessité d'avoir 2 types d'équipement : l'équipement nécessaire à la manipulation de matière liquide (type lisier) et solide (type fumier).
Temps de travail	Le temps nécessaire à la manutention de la matière en système discontinu est important et lourd de conséquences sur la rentabilité des projets.	
Coûts d'investissement	Les systèmes discontinus sont a priori moins coûteux que les autres, la technologie utilisée étant plus simple, pourtant les installations étant peu nombreuses, les coûts d'investissement restent relativement importants.	La technologie étant mature, les coûts d'investissement sont moindres.

B. Les limites de l'étude

Finalement cette étude expose les principales technologies de méthanisation phase sèche. Elles sont présentées de manière à mettre en évidence les différences en terme de procédés technologiques utilisés.

Par ailleurs, une comparaison qualitative entre la méthanisation en infiniment mélangé et la méthanisation en phase sèche a été réalisée.

Pourtant, compte-tenu du temps imparti pour cette étude, un certain nombre de points n'ont pas pu être étudiés. Il serait nécessaire de les approfondir par la suite pour obtenir un outil complet d'aide à la décision pour les porteurs de projet en ce qui concerne la méthanisation en voie sèche.

Les points qu'il serait nécessaire d'aborder plus précisément sont :

- 1/ Les paramètres nécessaires au dimensionnement d'une installation biogaz voie sèche
- 2/ Le bilan environnemental
- 3/ Le bilan agronomique
- 4/ Le bilan économique

C. Recommandation pour les agriculteurs

La méthanisation en phase sèche est aujourd'hui un procédé techniquement opérationnel. Pourtant, si beaucoup d'agriculteurs pourraient être intéressés par le traitement de leurs effluents solides, nous nous devons de les alerter sur le fait que les conditions pour mettre en place une installation de méthanisation en phase sèche ne sont pas si faciles à remplir. En effet, au même titre que la méthanisation en infiniment mélangé, il faut bien sûr avoir la possibilité de traiter des co-produits à fort pouvoir méthanogène. Il est également nécessaire de valoriser sur le site, la chaleur issue de la cogénération.

Par ailleurs, la maturité de cette technique pour le traitement de déchets agricoles n'est aujourd'hui pas atteinte. En effet, les constructeurs d'installation phase sèche continu s'intéressaient jusque-là au traitement des déchets ménagers fermentescibles pour des installations industrielles. Ils se penchent sur le secteur agricole depuis peu, raison pour laquelle les propositions techniques actuelles sont destinées au traitement de gros volumes. Les constructeurs d'installations phase sèche en discontinu ont travaillé d'avantage sur les matières agricoles mais leurs propositions restent pour des tonnages importants. Par ailleurs, les coûts d'investissement sont tels qu'il est de toute manière nécessaire d'envisager aujourd'hui plutôt des grosses installations.

Nous pouvons espérer que cette technique va s'adapter prochainement au traitement de plus petit volume, des constructeurs y travaillent, mais à ce jour elle s'adresserait plutôt à un collectif d'agriculteurs qui regrouperait ses effluents ou à des porteurs de projet individuels, capables de mobiliser des volumes de co-produits conséquents.

VII. Références

A. Bibliographie

Baere L.D. (2007). **Dry continuous anaerobic digestion of energy crops**. OWS. En ligne sur le site : www.ows.be. Page consultée le 26/10/2007. Belgique.5 p.

Baere L.D. (200-). **La technologie DRANCO : une technologie unique de digestion anaérobie des déchets organiques solides**. OWS. En ligne sur le site : www.ows.be. Page consultée le 26/10/2007. Belgique.9 p.

Banks C.J. (2005). **Examples of solid substrate digestion systems suitable for energy crops and agrowastes**. Cropgen. En ligne sur : <http://www.cropgen.soton.ac.uk/grp.asp?grp1=2>. Page consultée le 31/10/2007

Banks C.J. (2005). **Concept of reactors design and operation for high solids biomass digestion**. Cropgen. En ligne sur : <http://www.cropgen.soton.ac.uk/grp.asp?grp1=2>. Page consultée le 31/10/2007

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (2007). **Biogaserzeugung durch Trockenvergärung von organischen Rüstständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Landwirtschaft**. Deustchland. 60 p.
+ *version traduite de l'ADEME*

Cansell, Moletta (2003). **Méthanisation des déchets organiques**. Etude RECORD - n°01-0408/1A. France. 104 p.

Eder, Schulz (2007). **Biogas Praxis**. Ökobuch Verlag. Freiburg. 238 p.

Engeli H., Edelmann W., Joss A., Ilg M. et al. (1996) **Two step anaerobic digestion of biogenic solid wastes**. Suisse. En ligne sur : <http://www.biogas.ch/f+e/2stede.htm>. Page consultée le 31/10/2007

EREP.(2002). **Bilan énergétique de la fromagerie et avant-projet d'installation de biogaz. Champtauroz**. 47 p. Téléchargeable sur : <http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung/index.html?lang=fr&publication=7638>

Farinet J.L., Forest F. (1994). **Substitution of firewood using a small scale rural anerobic system**. A case study in Senegal. *In* : IAWQ, AD-94 : Oral paper preprints of seventh international symposium on anaerobic digestion. London, Royaume-Uni, IAWQ, p. 592-600. **International Symposium on Anaerobic Digestion**. 7, 1994/01/23-27, Cape Town, Afrique du Sud.

Farinet JL., Forest F. (1996). **La centrale énergétique « Transpaille » de Teriya Bugu au Mali** In : INRA., Journées industrielles sur la digestion anaérobie. JIDA 96. Narbonne, France, INRA, p. 89-94

Farinet JL et Sow O. S. (1993) **Programme Irrigation IV, volet « Energie, matière organique »**. Rapport final à la CFD

FAT (1995). **Production de biogaz à partir de fumier solide. Station fédérale de recherches en économie et technologie agricole**. N° 451. 9 p. En ligne sur :
..\documents\process anacom\Bio-nrj_FAT_Inst_Agri_Fumier.pdf

Hoffman Manfred (2000). **Fermenting of stackable materials**. 55 Landtechnik 6/2000. Triesdorf. P442-443

Köttner. **Biogas and fertilizer production from solid waste and biomass through dry fermentation in batch method**. International Biogas and Bioenergy Centre of Competence (IBBC). En ligne sur:
http://www.agama.co.za/dmdocuments/overview_dry_fermentation.pdf

Lutz Peter. **Le procédé BEKON de biométhanisation par voie sèche pour la production de biogaz et de biomasse**. <http://www.bekon-energy.de/france/index-france.htm>

Ministerium für Landwirtschaft des Landes Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein (2007). « **Good Practice » Biogasanlagen in Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein**. Allemagne. 60 p. En ligne sur :
http://www.archea.de/images/stories/broschuere_goodpractice_72dpi.pdf

Schäfer W., Lehto M., Teye F. (2006). **Dry anaerobic digestion of organic residues on-farm- a feasibility study**. Agrifood Research Report. MTT. Finland. 100 p. En ligne sur :
..\documents\doc sur meth sèche en gen\méthanisation sec.pdf

Théoleyre M.A.(1987). **Rapport technique des installations agricoles de méthanisation. Rapport de synthèse**. GIDA (Paris). 102 p.

Thurm F., Schmid W. (1999). **Renewable energy by fermentation of organic waste with the KOMPOGAS process**. Barcelona 15-17 juin 1999, Second international symposium on anaerobic digestion of solids waste, actes du symposium, vol 2, pp 342-345

B. Sites Internet consultés

<http://www.arbi.ch>
<http://www.cirad.fr>
<http://www.biogas.ch>
<http://www.bfe.admin.ch>
<http://www.agama.co.za>
<http://www.cropgen.soton.ac.uk>

C. Liste des installateurs recensés

Nom de la société	Site	Pays
3-A-Verfahren (Aerob-Anaerob-Aerob)	www.3a-biogas.com	Allemagne
ARCHEA	www.archea.de	Allemagne
ATF (Anaerobe Trocken-Fermentation)		Allemagne
BEKON	www.bekon.eu	Allemagne
Bioconverter	www.bioconverter.com	US (Hawaii)
BIOFerm	www.bioferm.de	Allemagne
BTA	www.bta-technologie.de	Allemagne
Budissa Agroservice compagny	www.ag-bag.de	Allemagne
Chiembauer	www.chiemgauer-biogasanlagen.de	Allemagne
DRANCO (Dry anaerobic composting)	www.ows.be	Belgique
EISENMANN	www.eisenmann.de	Allemagne
Entec	www.entec-biogas.at	Autriche
EREP	www.erep.ch	Suisse
Kompogas	www.kompogas.ch	Suisse
linde- KCA GmbH	www.linde-kca.de	Allemagne
Looock consultants		
NASKEO environnement	www.naskeo.com	France
Onsite Power Systems	www.onsitepowersystems.com	US, California
Profactor GMBH		
Ratzka	www.biogas-ratzka.de	Allemagne
Schmack biogas AG	www.schmack-biogas.com	Allemagne
U-Plus Umwelttechnik	www.u-plus.de	Allemagne
Valorga	www.valorgainternational.fr	France