

# Digestion anaérobie de lisiers de porcs en mélange avec des déchets agro-industriels

*Julien CASTAING, Philippe POUECH, Régis COUDURE*

*ADÆSO, 21 chemin de Pau, 64121 Montardon  
avec la collaboration de J.Guillerm, J.Busch et la participation du personnel  
de la plate-forme expérimentale de l'ADÆSO*

## **Digestion anaérobie de lisiers de porcs en mélange avec des déchets agro-industriels**

Les potentialités de la codigestion pour la gestion des lisiers et plus largement de la matière organique ont été étudiées sur la plate-forme de l'ADÆSO à Montardon (64). L'expérimentation a concerné l'étude de la codigestion de lisiers de porcs et de déchets agro-industriels issus d'unités de séchage de céréales.

Les pouvoirs méthanogènes des effluents ont été déterminés en réacteurs batch. Ils donnent des productivité élevées pour les lisiers de porcs et les déchets agro-industriels, entre 250 et 330 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t MSV.

Pour valider à une échelle pré-industrielle ces résultats, des essais de codigestion ont été menés sur le digesteur de 150 m<sup>3</sup>. D'abord, les effluents d'élevages seuls sont introduits pendant 4 semaines à raison de 12 m<sup>3</sup> /j. Une production moyenne de 90 Nm<sup>3</sup> /j de biogaz est obtenue avec une teneur en méthane de 63 % et un abattement de la matière organique de 52 %. Ensuite, les déchets sont incorporés aux 12 m<sup>3</sup> d'effluents d'élevages, d'abord à 400 kg /j pendant 14 semaines puis à 800 kg /j pendant 6 semaines. Le fermenteur a correctement fonctionné avec l'augmentation de la charge organique. La production de biogaz augmente, 270 Nm<sup>3</sup>/j à 55 % de CH<sub>4</sub>, avec un abattement de 66% de la matière organique.

L'effluent méthanisé garde sa valeur fertilisante et subit une séparation de phase. La fraction liquide azotée est épandue et le résidu solide constitue un amendement organique conforme à la norme NFU44-051.

## **Anaerobic digestion of pig slurry mixed with waste from the food industry**

The feasibility of co-digestion of slurry and more generally organic matter management, were studied using the platform of ADÆSO at Montardon (Departement 64). The experiment studied the co-digestion of pig slurry and waste from the food industry, produced by drying of cereals.

The methane producing potential of the effluents was measured in batch reactors. Pig slurry and food industry waste were shown to be very productive, with 250 to 330 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t VDS.

In order to confirm the results on a pre-industrial scale co-digestion was studied using a digester of 150 m<sup>3</sup>. Firstly, slurry was introduced over a period of 4 weeks at the rate of 12 m<sup>3</sup> per day. On average 90 Nm<sup>3</sup>/day methane was obtained, with a methane concentration of 63% and the level of organic matter was reduced by 52%. Secondly, food industry waste was incorporated into the same quantity of slurry as previously used, initially at 400 kg per day during 14 weeks and then at 800 kg/day for 6 weeks. The functioning of the anaerobic reactor was not disturbed by the increase in organic matter load. Methane production increased to 270 Nm<sup>3</sup>/day of 55% CH<sub>4</sub> and organic matter was reduced by 66 %.

The effluent from the reactor maintained its fertilising value. Phase separation was observed. The nitrogen liquid fraction was spread on land and the remaining solid matter was used as an organic fertiliser.

## INTRODUCTION

La digestion anaérobie, ou méthanisation, est un processus fermentaire de dégradation de la matière organique qui s'accompagne d'une production de biogaz, mélange gazeux de  $\text{CH}_4$  et  $\text{CO}_2$  (MOLETTA, 1993). La méthanisation présente des avantages tant sur le plan technique qu'économique car il s'agit à la fois d'une technique de dépollution, d'un moyen de valorisation de la matière organique et d'une voie biologique de conversion de la biomasse en énergie valorisable par combustion et /ou cogénération. En réacteur, elle peut s'appliquer de façon intéressante au traitement de nombreux substrats organiques : résidus ou produits de l'agriculture (déjections d'élevage,...), déchets des entreprises agroalimentaires (déchets ligno-cellulosiques, graisses,...) ou encore déchets des collectivités. Le traitement en mélange de ces substrats organiques, ou codigestion, permet d'améliorer le fonctionnement technique et les performances des installations tout en augmentant la rentabilité économique par la valorisation supplémentaire d'énergie et /ou par la prestation liée au traitement des coproduits (POUECH et al, 1998).

En Europe, le développement de la méthanisation s'est opéré soit à l'échelle individuelle, soit à l'échelle d'unités collectives. La biomasse agricole représente un potentiel énergétique important et il existe de l'ordre d'un millier d'installations individuelles en Europe : 800 en Allemagne, 60 en Suisse, plusieurs dizaines en Autriche, Danemark, Portugal, Italie, Finlande,... (ADEME, 2001). En France, la méthanisation à l'échelle de l'exploitation agricole avait été développée entre le choc pétrolier de 1979 et le contre-choc de 1985 (HEDUIT et THEOLEYRE, 1985 ; LA FARGE, 1995). Si ce développement n'a pas été poursuivi, les enjeux énergétiques et environnementaux actuels relancent l'intérêt pour ce procédé.

Ainsi, la plate-forme de Montardon traite depuis 20 ans par méthanisation les lisiers de porcs de la station animale expérimentale. Située en zone périurbaine de Pau (64), cette unité de traitement répond à plusieurs objectifs : réduire les nuisances olfactives, permettre une valorisation énergétique du biogaz et valoriser au mieux les effluents en fertilisation organique du maïs (COUDURE et CASTAING, 1997). Depuis 2 ans, la plate-forme a été adaptée pour étudier à l'échelle du laboratoire et valider sur l'unité préindustrielle, la codigestion de lisiers en mélange avec des résidus

fermentescibles exogènes à l'exploitation agricole (CASTAING J. et POUECH P., 1999). En effet, si la méthanisation des lisiers de porcs a fait l'objet d'études (LA FARGE et al., 1983), peu de travaux ont porté sur les performances d'associations avec des co-substrats fermentescibles. Dans cet esprit, les résultats présentés concernent la codigestion de lisiers et de déchets organiques issus d'unités de séchage de céréales.

## 1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 1.1. Matières premières

#### 1.1.1. Les lisiers

L'effluent traité sur l'unité de méthanisation est un mélange d'effluents, à dominante de lisiers de porcs, produit par les différents ateliers zootechniques de la station. Le volume d'effluent produit quotidiennement est de l'ordre de 13 à 15  $\text{m}^3$  d'un mélange de lisiers de porcs et de palmipèdes dans des proportions en volume 80/20. Les eaux de lavage des bâtiments d'élevage sont collectées avec les lisiers bruts pour un traitement par méthanisation. Au total, ce sont 2500  $\text{m}^3$  d'effluents qui ont été traités pendant l'expérimentation.

#### 1.1.2. Les déchets agro-industriels

Les déchets utilisés comme co-substrat en mélange avec les lisiers proviennent d'unités de séchage de maïs grains et d'épis de semences ; ils entrent dans la catégorie des Déchets Industriels Banals (DIB). Ces déchets sont constitués en majorité par des glumes (enveloppes des grains de maïs), des grains de maïs concassés, des petits grains entiers et, en moindre proportion, des morceaux de rafles ou de tiges.

Ces déchets sont produits chaque année d'octobre à décembre. Ils présentent une variabilité de composition liée aux récoltes (qualité, variétés maïs) et au temps de stockage (1 à 6 mois). Les déchets sont livrés par bennes de 30  $\text{m}^3$  pour un apport quotidien dans la fosse d'introduction de la station.

A chaque benne livrée, un échantillonnage est effectué pour analyse de la composition biochimique du produit. Le tableau suivant présente les caractéristiques moyennes des déchets utilisés au cours du travail d'expérimentation.

**Tableau 1** - Caractéristiques biochimiques des lisiers de la station

Lisiers	MS (% /pb)	MSV (1) (% /MS)	$\text{N}_{\text{tot}}$ (g/kg)	$\text{N-NH}_4^+$ (g/kg)	$\text{P}_2\text{O}_5$ (g/kg)	$\text{K}_2\text{O}$ (g/kg)	pH
Truies gestantes	3,20	68,75	3,1	2,9	2,2	4,2	7,0
Porcelets	6,80	70,58	4,4		3,8	3,4	6,9
Porcs charcutiers	3,90	71,30	4,7	3,2	2,4	3,8	7,3
Canards élevage	3,10	80,65	7,1		3,4	2,5	6,5

(1) MSV : Matière Sèche Volatile

**Tableau 2** - Caractéristiques biochimiques des déchets agro-industriels

MS (% /pb)	MSV (% /MS)	Ntot (g/kg)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (g/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg)	K <sub>2</sub> O (g/kg)	cellulose (g/kg)	hemi- cellulose (g/kg)	lignine (g/kg)	C/N	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )
75,36	97,29	8,7	0,2	3,2	2,6	140,8	545,2	13,3	42	300

Les déchets présentent un taux de matière sèche élevé (75%) dont plus de 97% sont constitués de matière organique, soit près de 73% de Matière Sèche Volatile (MSV) dans le produit. L'analyse révèle une part importante de fibres biodégradables (cellulose et hémicellulose). La densité du produit est faible, rendant son transport et sa manipulation délicates. Pour les besoins de l'étude, 82 tonnes de déchets ont été utilisées en provenance d'unités de séchage régionales du groupe Euralis.

## 1.2. Test de potentiel méthanogène

### 1.2.1. Réacteur batch

Les tests sont réalisés dans des réacteurs d'une capacité de 500ml. Fermés hermétiquement, les fermenteurs sont maintenus à 39°C dans un bain thermostaté et agités régulièrement. Chaque réacteur est relié à une colonne d'eau permettant la mesure du volume de biogaz produit au cours du temps ainsi que l'analyse de sa composition en CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub>, par infrarouge. Le liquide de garde de la colonne de mesure est une solution acide saturée en sel (acide citrique 5%, NaCl 20%, pH=2) afin de réduire au maximum la dissolution du CO<sub>2</sub>.

### 1.2.2. Méthode analytique

Le test de potentiel méthanogène permet d'obtenir pour chaque substrat la production totale en biogaz, sa composition et la cinétique de fermentation. Pour s'assurer d'un bon déroulement de la fermentation méthanique, on utilise un inoculum en excès (boues anaérobies). La concentration en échantillon est de 8 g de MSV/litre d'inoculum. Tous les réacteurs batchs sont maintenus à 39°C avec agitation régulière. L'expérience se poursuit jusqu'à observer une production de biogaz nulle. Pour un même échantillon, le test comprend une série de batchs : témoin (inoculum seul) et essais (inoculum + échantillon). Chaque batch est doublé

et les résultats sont moyennés sur les deux mesures expérimentales. Les valeurs de production en gaz sont ramenées aux conditions standards de température et de pression, exprimées en normolitre/kg MSV (NL/kg MSV) de gaz sec (après élimination de la teneur en eau prise à saturation). Les teneurs en CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub> sont exprimées en pour cent.

## 1.3. Unité de méthanisation

### 1.3.1. Descriptif de l'installation

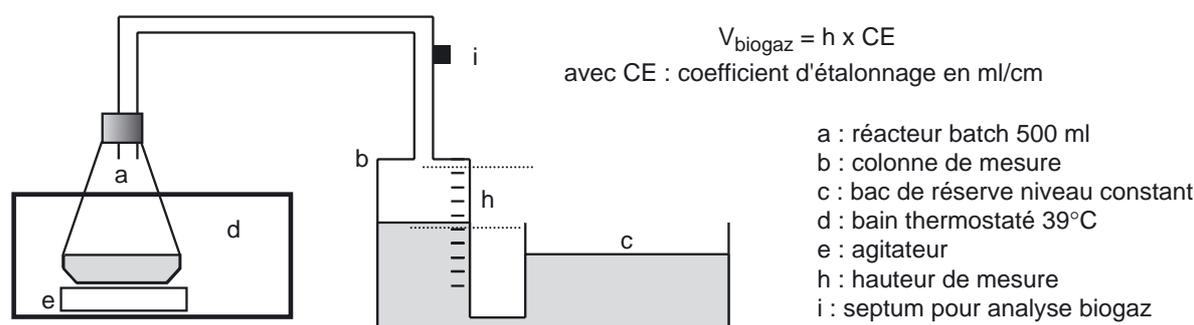
L'unité de méthanisation a été rénovée et adaptée pour permettre l'introduction de déchets exogènes à la station et effectuer les mesures nécessaires au bilan de fonctionnement des scénarios de codigestion testés.

#### Fosse d'introduction

Les lisiers des différents bâtiments d'élevage sont collectés, grâce à un réseau sous-terrain de canalisations, dans une fosse d'introduction d'une capacité de 15 m<sup>3</sup>, couverte afin de limiter les émanations d'odeurs des lisiers bruts. Un agitateur à hélice (1,5kW) permet l'homogénéisation avant introduction à la base du réacteur par une pompe broyeuse (3kW). Les quantités d'effluents introduits sont mesurées via un débitmètre et sont enregistrées en continu.

#### Réacteur de méthanisation

Le réacteur est de type "infiniment mélangé", constitué d'un silo en béton de 6 m de haut et 5,5 m de diamètre, pour un volume utile de 150 m<sup>3</sup>. Il est calorifugé avec une mousse de polyuréthane de 15 mm. Le digesteur est surmonté d'une cloche mobile métallique (gazomètre de 100 m<sup>3</sup>) qui stocke le gaz produit. Le volume de biogaz et la température interne sont enregistrés en continu. A l'intérieur du digesteur, se trouvent trois colonnes disposées en triangle et munies chacune d'un agitateur mécanique à hélice (1,5kW). Elles assu-

**Figure 1** - Schéma de principe du test de potentiel méthanogène

**Tableau 3** - Principaux paramètres de fonctionnement de l'unité de méthanisation

Phase expérimentale (effluents à l'introduction)	T (°C)	TRH (j)	MS <sub>intro</sub> (%/pb)	COV (KgMSV /m <sup>3</sup> .j)	pH <sub>interne</sub> -	RV (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .j)	Produc. (NlCH <sub>4</sub> /kgMSV)	CH <sub>4</sub> (%)
Lisier seul, 13 m <sup>3</sup> /j	37,6	11,1	1,70	1,13	7,5	0,58	298	62,8
Lisier + déchet 400 kg/j	38,4	12,0	3,18	2,54	7,5	1,05	245	58,0
Lisier + déchet 800 kg/j	38,6	12,5	5,50	3,80	7,5	1,78	264	55,4

rent l'homogénéisation du milieu de fermentation et permettent le maintien de la température interne, de par leur constitution en double coque où circule l'eau chaude produite par la chaudière (90kW) fonctionnant au biogaz. Une surverse permet l'évacuation d'un volume d'effluent équivalent aux lisiers introduits. Une fosse de réception de 60 m<sup>3</sup> en aval du digesteur reçoit l'effluent méthanisé. L'effluent est homogénéisé à l'aide d'un agitateur à axe vertical avant le post-traitement.

#### Post-traitement

Les effluents méthanisés sont dirigés vers l'unité de séparation de phase. A ce niveau une station de pesée et d'échantillonnage permet de connaître la part solide et la part liquide et d'effectuer un échantillonnage pour analyse de l'effluent. Le séparateur de type presse à vis est muni d'une grille de 150 mm assurant la récupération d'une fraction solide qui subit une maturation aérobie au niveau de la plate-forme de compostage. La fraction liquide, ou filtrat, est dirigée vers la fosse de stockage avant épandage sur maïs en interligne sous le feuillage.

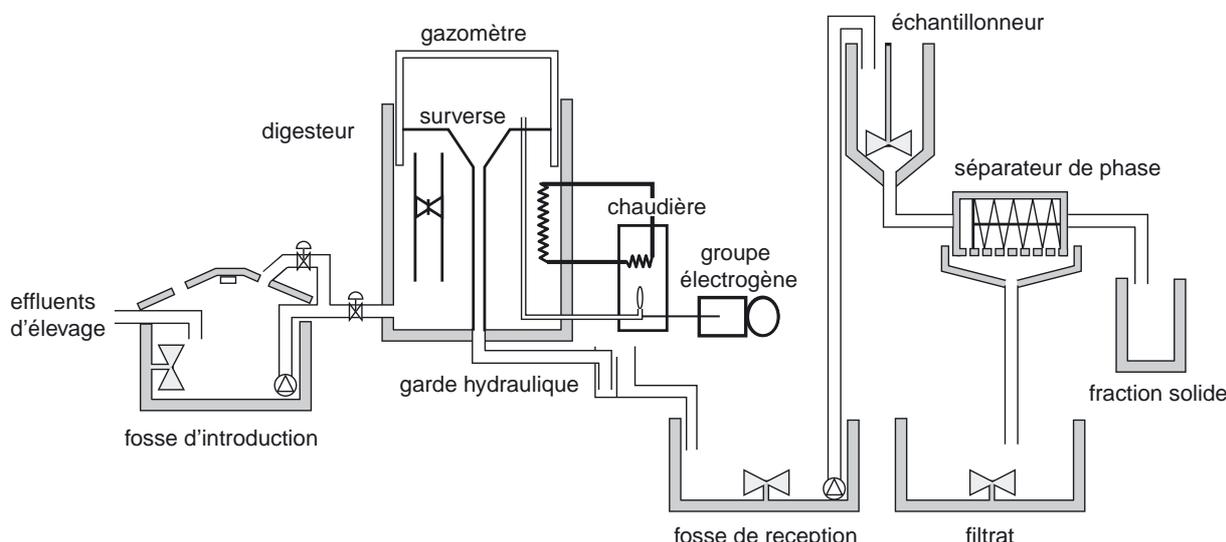
#### Suivi et contrôles

L'instrumentation en capteur de l'unité permet un suivi continu du fonctionnement. Par prélèvement d'échantillons, peuvent être contrôlés les paramètres biochimiques nécessaires au suivi de fermentation (pH, AGV, potentiel d'oxydoréduc-

tion, MS, MSV,...). La composition du biogaz (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) est analysée avec un analyseur portable infrarouge. Le taux d'H<sub>2</sub>S est mesuré à l'aide de tubes colorimétriques. L'ensemble de la station est piloté par un système informatique centralisé de gestion de process.

#### 1.3.2. Protocole expérimental

L'objectif de l'expérimentation consiste à valider sur l'unité préindustrielle de méthanisation, la codigestion des lisiers et des déchets agro-industriels. Le protocole est basé sur des études expérimentales préliminaires en pilote de laboratoire non détaillées dans cet article (CASTAING et POUÉCH, 2000). Les essais ont consisté à suivre les performances de l'installation pendant 3 phases correspondant à différents régimes d'association des déchets agro-industriels aux lisiers : phase témoin lisier seul (13 m<sup>3</sup>/j), phase lisier (13 m<sup>3</sup>/j) et déchets (400kg/j), phase lisier (13 m<sup>3</sup>/j) et déchets (800 kg/j). Chaque phase est maintenue pendant une durée supérieure à deux fois le temps de séjour de l'effluent dans le réacteur. En phases codigestion, les lisiers sont introduits 7/7j alors que les déchets agro-industriels sont introduits 5 jours par semaine. Pour chaque phase, les résultats obtenus sont moyennés par semaine puis moyennés sur une période stabilisée représentative (minimum de 4 semaines). Le suivi de l'installation consiste dans le contrôle des paramètres de fonctionnement, les mesures de production de biogaz et les analyses des effluents.

**Figure 2** - Schéma de l'installation de traitement par méthanisation

**Tableau 4** - caractéristiques du bilan matière

Phase expérimentale (effluents à l'introduction)	Effluent brut				Effluent méthanisé				abattement	
	MS %/pb	MSV %/MS	N <sub>tot</sub> %/MSV	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /N <sub>tot</sub> -	MS %/pb	MSV %/MS	N <sub>tot</sub> %/MSV	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /N <sub>tot</sub> -	matière %	azote %
<b>Lisier seul</b> , 13 m <sup>3</sup> /j	1,70	71,60	13,51	77,5	1,10	58,80	22,93	90,3	52,2	<3
<b>Lisier + déchet</b> 400 kg/j	3,18	80,00	7,49	63,6	2,10	65,80	14,68	77,8	56,8	<3
<b>Lisier + déchet</b> 800 kg/j	5,50	85,70	4,44	64,3	2,40	68,80	14,70	66,5	66,1	<3

## 2. RÉSULTATS

### 2.1. Potentiel méthanogène des substrats

Le potentiel méthanogène mesuré représente la quantité maximale de biogaz pouvant être produite par un substrat organique donné. Cette mesure est spécifique de chaque substrat et est représentative de son niveau de biodégradabilité en conditions anaérobies (figure 3).

Les lisiers de porcelets, de porcs charcutiers et de truies gestantes ont un potentiel méthanogène compris entre 250 et 330 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MSV. La teneur en méthane se situe entre 67 et 73%. Une fois mélangés en sortie de bâtiments d'élevage, ces lisiers ont un comportement similaire en méthanisation qui permet d'établir un potentiel méthanogène moyen de 280 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MSV. Les lisiers de canards présentent une productivité supérieure évaluée dans nos essais à 400 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tMSV avec une teneur en CH<sub>4</sub> de 63%. Ce comportement est à attribuer à une composition biochimique riche en composés biodégradables et à la présence d'amidon résiduel alimentaire.

Les déchets agro-industriels présentent une productivité moyenne de 271 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/tMSV avec des variations observées de +/- 45 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t MSV qui sont liées à l'hétérogénéité des déchets collectés sur les sites industriels. Le taux en CH<sub>4</sub> de 53% tient à la nature du substrat : ces déchets sont riches en polysaccharides (amidon, cellulose et hémicel-

lulose) dont l'hydrolyse entraîne une production en CO<sub>2</sub> importante.

Le calcul de la production en biogaz exprimée en Nm<sup>3</sup>/t de produit brut (pb) fait apparaître la faible siccité des lisiers avec des productions inférieures à 20 Nm<sup>3</sup>/tpb. Cette importante dilution est responsable des faibles rendements volumiques du réacteur de méthanisation. L'ajout aux lisiers, en conditions maîtrisées, des déchets industriels à forte teneur en matière sèche et présentant une production en biogaz de 517 Nm<sup>3</sup>/tpb, est un moyen pour améliorer les performances du traitement.

### 2.2. Performances de la digestion anaérobie

#### 2.2.1. Fonctionnement de l'installation

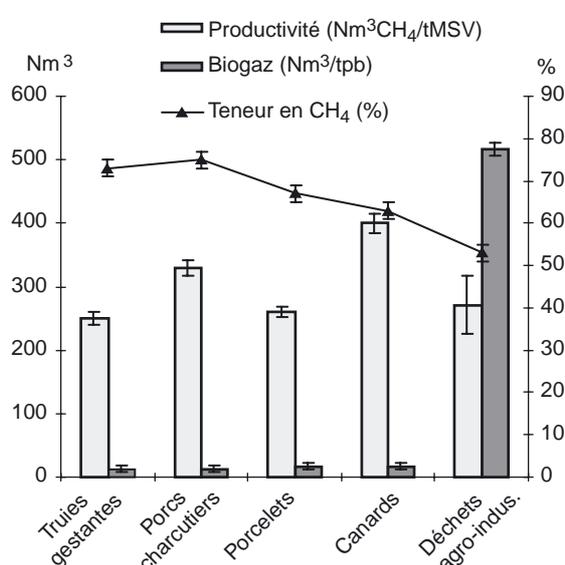
Pendant les phases d'expérimentation, les conditions de fermentation mésophile sont maintenues constantes (37,5<T°C<39). On observe un temps de rétention hydraulique (TRH) moyen de 12 jours (tableau 3).

L'addition des déchets agro-industriels aux lisiers permet une augmentation significative de la matière sèche (MS) de l'effluent à l'introduction, siccité augmentée de 3,2. Par voie de conséquence, la charge organique volumique (COV) passe de 1,13 en lisier seul à 3,80 avec seulement 800 kg de déchets introduits dans 13m<sup>3</sup> de lisier. Ces augmentations n'entraînent pas de modification du pH interne qui reste stable à 7,5 avec un fort pouvoir tampon. Ce bon fonctionnement entraîne une très nette amélioration du rendement volumique (RV) du réacteur avec une augmentation de 3,07 entre la phase lisier seul (0,58 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.j) et l'addition quotidienne de 800kg de déchets aux 13m<sup>3</sup> de lisier (1,78 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.j).

La productivité en phase lisier seul est élevée (298 NiCH<sub>4</sub>/kgMSV), liée à "l'effet lisier de canards" et démontre un bon fonctionnement de la méthanisation. Pour les phases de codigestion la productivité est conforme aux valeurs issues des tests de potentiel méthanogène, témoignant d'un très bon comportement du réacteur de fermentation. La baisse du taux de méthane est constatée et peut s'expliquer par l'augmentation de la part des déchets agro-industriels riches en composés lignocellulosiques.

#### 2.2.2. Bilan matière

Le bilan matière est calculé pour chacune des phases d'essai (tableau 4). Il révèle un taux d'abattement croissant de la matière sèche de l'effluent introduit, de 52,2% pour les lisiers

**Figure 3** - Potentiels méthanogènes des substrats

**Tableau 5** - Caractéristiques biochimiques des effluents de codigestion

Caractéristiques		fraction liquide	fraction solide	
			brute	maturée*
<b>H<sub>2</sub>O</b>	(g /kg pb)	983,00	772,70	692,60
<b>MS</b>	(g/kg pb)	17,00	227,30	307,40
<b>MSV</b>	(g/kg pb)	11,05	160,60	193,20
<b>MM</b>	(g/kg pb)	5,95	66,70	114,20
<b>Ntk</b>	(g/kg MSV)	198,00	43,34	42,39
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	(g/kg MSV)	186,00	3,61	0,83
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	(g/kg MSV)	<10 <sup>-4</sup>	<10 <sup>-4</sup>	0,72
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	(g/kg MSV)	36,92	110,77	128,83
<b>K<sub>2</sub>O</b>	(g/kg MSV)	48,82	12,20	19,51

\* maturation aérobie en andain pendant 60 jours avec 2 retournements

seuls à 66,1% pour la phase de codigestion lisier + déchet (800 kg/j). Ces résultats montrent la capacité de biodégradation de la digestion anaérobie et le fonctionnement adapté du réacteur infiniment mélangé de la plate-forme. On constate que le taux de matière sèche de l'effluent brut augmente jusqu'à 5,5% avec l'introduction de 800 kg de déchets. Cette charge organique n'a pas entraîné de déséquilibre de la fermentation et on pourrait envisager de continuer à augmenter la part du déchet jusqu'à un seuil de COV proche de 6 kgMSV/m<sup>3</sup>.j (seuil critique observé en pilote de laboratoire). Il restera à surveiller le taux de matière sèche résultant afin de ne pas provoquer des problèmes de transfert de l'effluent.

Après méthanisation, l'effluent présente des siccités plus faibles allant de 1,1 à 2,4 % car il y a biodégradation de matière sans élimination de volume d'eau. De même, il n'y a pas d'abattement biologique de l'azote dans l'effluent en sortie de digesteur. Les éventuelles baisses sont liées à des faibles pertes par volatilisation par brassage et/ou transfert des effluents (<3%). Les formes azotées sont modifiées en cours de fermentation avec une augmentation d'ions ammonium comme le révèle le rapport NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/Ntot. Cette minéralisation diminue d'intensité avec l'addition des déchets lignocellulosiques, le rapport NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/Ntot passant de 90,3 à 66,5, tendant à montrer une adaptation de la flore bactérienne au substrat (minéralisation moindre).

Ainsi, la méthanisation permet de garder toute la valeur fertilisante contenue dans l'effluent brut et de minéraliser l'azote organique, rendant l'effluent plus riche en fraction rapidement assimilable par les cultures.

### 2.2.3. Production énergétique

L'addition des déchets agro-industriels aux lisiers se traduit directement par une augmentation des productions de biogaz laquelle reflète le niveau de biodégradation de la matière au sein du réacteur anaérobie (figure 4).

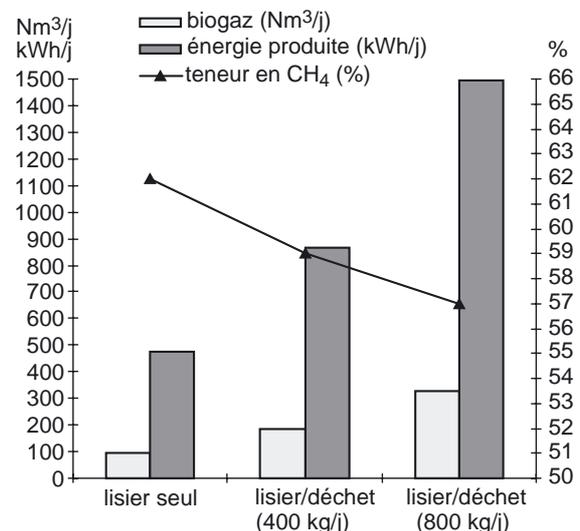
En phase lisier seul, la production de biogaz est de 96 Nm<sup>3</sup>/j, ce qui représente une valeur énergétique poten-

tielle de 480 kWh. Au fur et à mesure de l'augmentation des quantités introduites de déchets agro-industriels, la production de biogaz s'élève à 184 Nm<sup>3</sup>/j pour atteindre 327 Nm<sup>3</sup>/j à 800 kg/j de déchets. La production énergétique est ainsi augmentée d'un facteur de 3,2. Parallèlement le taux de méthane dans le biogaz diminue (62 à 57%) mais sans conséquence notable sur le potentiel énergétique disponible pour une valorisation chaleur et /ou électrique (1500 kWh produit quotidiennement).

Ces résultats démontrent l'intérêt de la codigestion pour le gain en biogaz produit, source d'énergie renouvelable. Cet aspect joue un rôle majeur dans l'équilibre économique d'une installation de méthanisation.

### 2.3. Caractérisation agronomique de l'effluent de codigestion

Sur la plate-forme, l'effluent issu du réacteur de méthanisation subit un post-traitement par séparation de phase liquide /solide sur une presse à vis. Le rendement de séparation de la matière sèche est d'environ 22% sur une grille à 150µm.

**Figure 4** - production énergétique

La fraction liquide est stockée en fosse et la fraction solide est mise en andain pour une maturation aérobie selon un procédé de compostage classique à deux retournements.

Le filtrat a une faible siccité (1,1% MS) et contient la majeure partie de l'azote initial sous forme d'ion ammonium  $\text{NH}_4^+$  ; les formes oxydées n'étant pas présentes en sortie de fermenteur anaérobie (tableau 5). Cette fraction contient également une importante partie de la potasse soluble.

La fraction solide a une siccité de 22,7% MS, elle contient la majeure partie du phosphore (insoluble) et, une part de l'azote, essentiellement sous forme organique. Par ailleurs, elle contient les fibres ligno-cellulosiques des déchets agro-industriels partiellement biodégradées dans le réacteur. Ces fibres permettent de structurer le résidu et de le disposer en andain pour assurer une maturation aérobie de la matière organique restante (biodégradation résiduelle et réorganisation).

Au cours de la maturation aérobie, la température au sein de l'andain s'élève à plus de 56°C et reste au-dessus de 50°C pendant plus de 35 jours. Pour ce temps de séjour, on peut penser à un effet hygiénisant qui reste à vérifier. Après 60 jours, le produit présente des caractéristiques biochimiques intéressantes et conformes à la norme NF 44-051 sur les amendements organiques pour les teneurs en matière organique et éléments fertilisants (N,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ).

Le post-traitement de l'effluent de codigestion permet une gestion raisonnée par épandage sur cultures de l'azote contenu dans la fraction liquide et de disposer d'une fraction solide qui après maturation aérobie constitue un amendement organique conforme aux normes en vigueur.

## CONCLUSION

La codigestion de lisiers de porcs et de déchets agro-industriels fait apparaître au vu du bilan de cette expérimentation, des perspectives particulièrement encourageantes.

Les tests de potentiels méthanogènes ont précisé la bonne biodégradabilité des effluents d'élevages et déterminé celle des déchets agro-industriels étudiés. Ces tests révèlent également l'intérêt de l'association aux lisiers de porcs d'un substrat de siccité élevée, permettant d'augmenter significativement la charge organique introduite avec l'apport d'une faible quantité de déchet.

Les essais expérimentaux concernant l'association des lisiers aux déchets agro-industriels issus des unités de séchage de céréales, apportent des données techniques sur les modalités de fonctionnement et l'intérêt de la codigestion :

La codigestion est un moyen de traiter avec des lisiers, un déchet dont l'élimination peut être difficile lorsque la méthanisation est envisagée pour la maîtrise des nuisances olfactives.

- La codigestion améliore les performances de l'unité de méthanisation (rendement, abattement matière) et les paramètres de fermentation sont stables avec l'apport du substrat exogène (pH stable, pas d'augmentation d'AGV).
- La production de biogaz est triplée avec l'introduction d'un mélange constitué à 95% de lisier et seulement 5% de déchets (en masse) ; 270  $\text{Nm}^3$  de biogaz sont produits quotidiennement en phase de codigestion, contre 90  $\text{Nm}^3$  /j en phase lisier seul. Au niveau qualitatif, le biogaz est moins riche en méthane (55 % contre 63 %) mais d'un point de vue quantitatif, cette baisse est largement compensée par l'augmentation de la production. Les 150  $\text{Nm}^3$  de méthane obtenus quotidiennement représentent une production énergétique non négligeable tant sur le plan fonctionnel qu'économique d'une telle installation (1500 kWh thermique, 500 kWh électrique).
- Le post-traitement par séparation de phases permet la valorisation du filtrat comme engrais organique, épandage et restitution au sol d'éléments fertilisants (N et K principalement). La maturation aérobie en andains de la fraction solide permet l'obtention d'un amendement organique conforme aux normes en vigueur pour une fumure de fond (apport de P notamment).

D'une manière générale, la codigestion apporte des réponses intéressantes et constructives à la problématique de la gestion des lisiers et plus largement de la matière organique. Elle peut s'appliquer à de nombreux autres contextes locaux et sa mise en œuvre peut s'inscrire dans le cadre d'un développement raisonné des territoires comme c'est le cas en Europe du Nord. Les résultats acquis au cours de ces travaux expérimentaux sont encourageants et montrent l'intérêt de poursuivre ce travail afin d'élaborer des références scientifiques et techniques pour l'application de scénarios potentiels à d'autres problématiques.

## REMERCIEMENTS

L'adaptation de l'unité de méthanisation à la codigestion et le travail expérimental présenté ont bénéficié du soutien financier de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) dans le cadre du programme de recherche national AGRICE (Agriculture pour la chimie et l'énergie) et de l'Europe dans le cadre du programme ALTERNER (DGTREN).

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEME, 2001. From biogas to energy, an European overview, Ademe éd., 80p.
- CASTAING J., POUECH P., 1999. An experimental platform in south of France. II International symposium on anaerobic digestion of solid waste, Barcelone, Spain. Vol 2
- CASTAING J., POUECH P., 2000. Approche territoriale de la gestion de la matière organique : étude de la codigestion d'effluents d'élevage et de produits fermentescibles, programme AGRICE, rapport final, 320p.
- COUDURE R., CASTAING J., 1997. Journées Rech. Porcine en France, 29, 335-342.
- HEDUIT M., THEOLEYRE M.A., 1985. Journées Rech. Porcine en France, 17, 339-350.
- IE, ITAVI, ITCF, ITP, 2001. Fertiliser avec les engrais de ferme, IE éd., 101 p.
- LA FARGE B., HEDUIT M., BRONDEAU P., MONGIN J.P., SAUGERE D., CAMBUS L., 1983. Journées Rech. Porcine en France, 15, 11-22.
- LA FARGE B., 1995. Le biogaz., Masson éd., Paris, 237 p.
- MOLETTA R., 1993. Biofutur, 4, 7-13.
- POUECH P., FRUTEAU H., BEWA H., 1998. Biomass co-fermentation in full-scale anaerobic digester, influence of runnings parameters. Biomass for Energie and Industry – 10<sup>th</sup> European Conference and Technologie Exhibition, 8-11 june 1998, Würzburg, Germany.