

# Intérêt de la co-digestion pour la valorisation des lisiers et le traitement de déchets fermentescibles à l'échelle d'un territoire

*Philippe POUECH, Régis COUDURE, Claire-Emmanuelle MARCATO*

*ADÆSO, 21 chemin de Pau, 64121 Montardon*

*Avec la collaboration de J. Guillerm, L. Maunas, J. Estanguet et E. Arribarrouy.*

## **Intérêt de la codigestion pour la valorisation des lisiers et le traitement de déchets fermentescibles à l'échelle d'un territoire**

Les travaux réalisés sur le plateau technique de l'ADÆSO (64) dans le cadre d'un programme expérimental permettent de mieux appréhender la codigestion. Plusieurs axes de travaux expérimentaux ont été développés. La caractérisation de la production de biogaz de sous-produits organiques d'origine agricole (effluents d'élevages) ou agro-industrielle (déchets de coopératives, d'entreprises de transformation de produits carnés...) a permis la constitution d'une banque de données de référence. Ainsi, le potentiel méthanogène des effluents d'élevages varie entre 187 et 652 NL CH<sub>4</sub>/kg MO ; celui des effluents agro-industriels varie entre 173 et 738 NL CH<sub>4</sub>/kg MO. Ces tests montrent l'importante diversité de la production de biogaz des différents déchets fermentescibles ; paramètre important pour le dimensionnement de scénarios de traitement. Sur l'unité de méthanisation, des essais à l'échelle pré-industrielle ont été réalisés afin de valider l'intérêt de la codigestion pour le traitement d'effluents d'élevage en mélange avec des déchets lipidiques et/ou lignocellulosiques. Les performances de production de biogaz sont nettement accrues grâce à l'introduction des co-produits sans dysfonctionnement de l'installation. La codigestion des trois produits, permet une production d'énergie quotidienne de 1471 kWh représentant un gain énergétique de 143 % par rapport à la méthanisation des lisiers de porcs seuls. Les essais agronomiques sur les digestats montrent l'intérêt de la fraction liquide sur les rendements maïs (augmentation de 16 % par rapport à une fertilisation minérale) ; ces résultats encourageants méritent d'être reconduits et approfondis. La fraction solide du digestat est comparable à un compost et constitue un produit intéressant comme amendement organique.

## **The usefulness of anaerobic co-digestion in the conversion of pig slurry and in the treatment of organic waste on a large scale**

The feasibility of co-digestion was studied using the platform of ADÆSO ('département' 64) within the framework of an experimental programme. Several axes of research have been developed. The characterization of biogas production from organic by-products of agricultural origin (animal slurry from farms) or from the food industry (waste from cooperatives, slaughterhouses or food companies...) allowed the establishment of reference data bank. The methane producing potential of farm effluent varied from 187 to 652 NL CH<sub>4</sub>/kg OM, while that of the food industry varied from 173 to 738 NL CH<sub>4</sub>/kg OM. There was a large variability in biogas production from organic waste depending on its origin. This is an important parameter in the calculation of co-digestion processing.

The anaerobic fermentation unit was used to test, at a pre-industrial scale, the usefulness of co-digestion in the processing of effluent from farms with added fat and/or cellulose waste. The levels of biogas production were increased due to the introduction of co-substrates. The unit functioned normally despite an increase in the level of organic matter. The anaerobic co-digestion of fat or cellulose or fat/cellulose with pig slurry allowed the production of 1471 kWh/d, which is the equivalent of a 143% increase in energy production compared to the anaerobic digestion of pig slurry on its own. Agronomy tests using the effluents from anaerobic fermentation show that the liquid fraction improved maize yields (increase of 16% relative to mineral fertilisation). These encouraging results need to be confirmed and studied more closely. The solid fraction of the effluent produced by anaerobic fermentation is comparable to compost and could be used to improve soil quality.

## INTRODUCTION

La méthanisation est un processus de biodégradation de la matière organique fermentescible qui s'accompagne de la production de biogaz, mélange de méthane et de dioxyde de carbone, permettant une valorisation énergétique. Ce procédé est largement développé au niveau industriel. Le parc français des sites équipés d'unités de méthanisation était, fin 2003, d'environ 250 dont moins de 160 de taille dite « industrielle » (capacité > 15 000 tonnes). Une étude sur le marché de la méthanisation en France, fait ressortir le marché de la méthanisation comme un sous segment du marché de l'élimination des déchets organiques, le biogaz étant le plus souvent considéré comme un sous produit parfois utile, parfois non désiré (AND International, 2004). Les modes de décision s'appuient d'une part sur un coût plus avantageux que celui des autres procédés d'élimination et, d'autre part, sur une façon de traiter des matières organiques résiduelles qui est conforme à la recherche de modèles de développement durable (POUECH et al, 1998).

Pour le traitement des effluents d'élevage les installations de méthanisation sont quasi inexistantes en France depuis le développement des années 1980 du biogaz à la ferme (HEDUIT et al, 1985 ; LA FARGE, 1995). Plusieurs projets de co-digestion sont actuellement à l'étude dans diverses régions. Faute de références existantes et de cadre réglementaire spécifique, on ne peut donc se référer qu'aux expériences étrangères pour tenter un pronostic. Au Danemark, le pays où ce concept est né, et dont le parc n'est pas encore considéré comme saturé, il y a 25 installations de co-digestion pour 5,5 M d'habitants, presque 13 millions de porcs, et 2 millions de bovins. Considérant que la France compte 60 M d'habitants, 15 millions de porcins et 20 millions de bovins, on peut penser que le potentiel y serait au moins d'une centaine d'installations pour autant que soient établies les conditions nécessaires à leur développement. L'Allemagne pour sa part a privilégié le développement de la méthanisation en mettant en place un tarif de rachat de l'énergie renouvelable attractif. Cette politique a conduit à un développement important d'unités de petite dimension à l'échelle de l'exploitation et de son environnement. On dénombre ainsi plus de 2000 unités de co-digestion réparties dans le pays. Pour respecter les engagements de la France dans le cadre du protocole de Kyoto qui a fixé un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'échéance 2010, le Gouvernement s'est doté d'un plan d'actions au travers du Plan Climat 2004 (MEDD, 2004). Parmi les mesures préconisées figure la mise en place de « plans biogaz régionaux pilotes » privilégiant la valorisation des déjections et autres sous-produits agricoles et agroalimentaires par la voie anaérobie. L'objectif est d'expérimenter le traitement des déjections animales par méthanisation pour collecter et valoriser le biogaz. Un nouvel essor de la méthanisation se dessine peut-être.

Sur son plateau technique expérimental de Pau-Montardon (64), l'ADÆSO exploite un digesteur depuis 1982 sur des effluents agricoles constitués à 80 p.cent de lisiers de porcs et de palmipèdes et, depuis 2000, en co-digestion avec divers produits fermentescibles (COUDURE et CASTAING, 1997 ; CASTAING et POUECH, 1999). La méthanisation joue ainsi

un rôle de stabilisation, d'homogénéisation et d'hygiénisation des effluents. En plus de l'intérêt de la production d'énergie renouvelable, la qualité des produits méthanisés ou digestats est un atout pour la fertilisation organique agricole. Les actions de recherche engagées par l'ADÆSO ont pour objectif d'apporter des références techniques potentiels de la filière afin de faciliter le développement de la co-digestion sous l'angle de la production d'énergie et de l'utilisation agronomique rationnelle des digestats (CASTAING et al, 2002). Dans cet esprit, cet article présente des résultats récents obtenus sur la plateforme expérimentale de l'ADÆSO afin de compléter les connaissances actuelles sur les possibilités de développement de la co-digestion en utilisant comme substrat de base des effluents d'élevages auxquels sont rajoutés des résidus/déchets agroalimentaires produits à l'échelle d'un territoire. Cette approche s'effectue de manière originale et unique en France à l'échelle opérationnelle d'un site regroupant des élevages, une unité de méthanisation et des exploitations agricoles pour la valorisation de l'effluent.

## 1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 1.1. Matières premières

Les différents effluents et résidus fermentescibles utilisés dans le cadre de ce travail proviennent d'une part des ateliers zootechniques de la station pour les effluents d'élevage et d'autre part de différentes exploitations agricoles et agro-industries de l'Aquitaine pour les autres produits. Les échantillons utilisés pour les expérimentations ont été prélevés en respectant les bonnes pratiques d'échantillonnage et de conservation.

### 1.2. Test de production de biogaz

Le protocole mis en place permet d'obtenir la production totale en biogaz de l'effluent représentative de son niveau de biodégradabilité anaérobie. Les essais sont réalisés dans des erlenmeyers d'une capacité de 500 mL. Fermés hermétiquement, ces fermenteurs sont maintenus à 40°C dans un bain thermostaté. Ils sont agités régulièrement. Chaque erlenmeyer est relié à une colonne d'eau permettant la mesure visuelle du volume de biogaz produit quotidiennement ainsi que le prélèvement pour une analyse par infrarouge de la composition en CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub>. Le liquide de garde de l'éprouvette de mesure est une solution acide saturée en sel (acide citrique 5 %, NaCl 20 %) afin de réduire au maximum la dissolution du CO<sub>2</sub>. Les volumes de gaz obtenus sont corrigés en température pour une expression des résultats en norme litre (NL). Pour chaque test, une série de batchs est réalisée comprenant : 2 batchs témoins (inoculum bactérien seul) ; 2 batchs essais (inoculum + échantillon). Les résultats sont moyennés sur les deux mesures expérimentales.

### 1.3. Unité expérimentale de méthanisation

#### 1.3.1. Descriptif technique

L'unité de méthanisation dispose des équipements de mesure nécessaires à l'établissement des bilans de fonctionnement des scénarios de co-digestion testés (débitmètre effluents et biogaz, analyseur infrarouge biogaz, échantillonneur et

matériels d'analyse pour les produits entrants et les digestats) (CASTAING et al, 2002). Les équipements de traitement se composent : d'une fosse d'homogénéisation et d'introduction de 15 m<sup>3</sup>, d'un réacteur de 150 m<sup>3</sup> de type 'infiniment mélangé, d'un tamis rotatif (maille 250 µm) pour la séparation de phase liquide/solide, de fosse de stockage des effluents, de matériel d'épandage de type rampe avec pendillard pour les essais agronomique.

### 1.3.2. Protocole expérimental

Le protocole est basé sur des études préliminaires en pilote de laboratoire non détaillées dans cet article (COUDURE et al, 2004). L'essai comprend 3 phases expérimentales correspondant à l'alimentation du digesteur : lisiers seuls, lisiers et déchets lipidiques, lisiers en mélange avec les déchets lipidiques et les déchets lignocellulosiques. Les essais ont consisté à suivre les performances de l'installation pendant les 3 phases de co-digestion (paramètres de fonctionnement, quantité et composition du biogaz, analyses de l'effluent). Chaque phase correspond à une durée supérieure à deux fois le temps de séjour de l'effluent dans le réacteur. Les essais sont conduits en régime mésophile (39°C). Les produits sont introduits quotidiennement 5 jours par semaine. Les résultats obtenus sont moyennés sur la période stabilisée représentative (minimum 2 fois le temps de séjour).

## 1.4. Essai agronomique de plein champ

### 1.4.1. Protocole expérimental

Pour comparer la valeur fertilisante du lisier méthanisé à celle d'un engrais minéral, des parcelles ont été définies sur culture de maïs variété tardive PR34A92 (indice 580). Le dispositif expérimental comporte : 5 parcelles parallèles de 64 m<sup>2</sup> partagées en 4 blocs. Chaque parcelle comprend 8 rangs de maïs de 10 mètres de long. Cinq modalités sont comparées : Témoin : sans apport de fertilisants chimique ou organique ; T2 : ammonitrate 150UN ; T3 : filtrat digestat 150UN ; T4 : filtrat digestat 130UN ; T5 : lisier brut 150UN. Une fertilisation avec un engrais starter est réalisée pour toutes les modalités expérimentales. L'épandage de lisier, qu'il soit brut ou méthanisé, est réalisé au moyen d'une rampe à pendillards permettant l'application du lisier par dépôt au sol au niveau de l'interligne maïs en contrôlant les débits des apports. L'ammonitrate est épandu au moyen d'un enfouisseur d'azote.

### 1.4.2. Suivi et analyses

Au stade 8 feuilles, une régularisation du peuplement est réalisée pour homogénéiser entre parcelles les densités de peuplement. Au moment de la récolte, des prélèvements sont réalisés pour permettre les mesures suivantes : teneur en eau, poids de 1000 grains, nombre de grains par épi. Ces informations permettent le calcul du rendement aux normes.

## 1.5. Bioessais

Les risques éventuels de phytotoxicité des digestats sont évalués au moyen d'un test de germination et d'un test de crois-

sance sur deux végétaux : maïs (variété SAMSARA de Maïsador), haricot (variété FACILA de Vilmorin). Les digestats ont été comparés à un substrat témoin neutre (sable + perlite) et à un substrat témoin compost (produit commercial normalisé NF 44051). Le semis est réalisé en bacs Jacobsen, soit 50 graines par bac. Les bacs sont recouverts d'un couvercle translucide afin de conserver l'humidité du mélange jusqu'à la levée totale des plantes. L'irrigation est réalisée en subirrigation (avec plateau réservoir d'eau), sans apport nutritif. Les plantes sont maintenues en culture durant 28 jours après le semis. Pour le test de croissance, le nombre de feuilles, le poids de matière fraîche et le poids de matière sèche sont réalisés à 28 jours. A noter que l'essai est réalisé en serre avec un contrôle en continu de l'humidité et de la luminosité.

## 2. RÉSULTATS

### 2.1. Production de biogaz de différents résidus fermentescibles

La production mesurée représente la quantité maximale de biogaz pouvant être produite par un produit organique donné. Cette mesure est spécifique de chaque produit et représentative de son niveau de biodégradabilité. Le potentiel méthanogène représente la production spécifique en méthane.

#### 2.1.1. Effluents d'élevage

Le potentiel méthanogène des effluents d'élevages varie entre 187 et 652 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t MO (figure 1). Les effluents de palmipèdes présentent les meilleures performances avec des potentiels méthanogènes supérieurs à 500 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t MO avec une teneur en CH<sub>4</sub> élevée. Cette production est attribuée à la présence d'amidon alimentaire résiduel dans les effluents. Les lisiers de porcs ont des productions comprises entre 167 et 442 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t MO selon la nature des animaux. Certains effluents présentent des performances moindres qui peuvent s'expliquer par une limitation de la fermentation par l'ammoniac en concentration plus ou moins importante selon le type d'effluent. C'est le cas des potentiels obtenus sur les fientes de volailles et le lisier de vache laitière. L'association de lisiers d'origines diverses permet d'améliorer les performances individuelles, ce qui est particulièrement intéressant dans le cas du lisier de porcs.

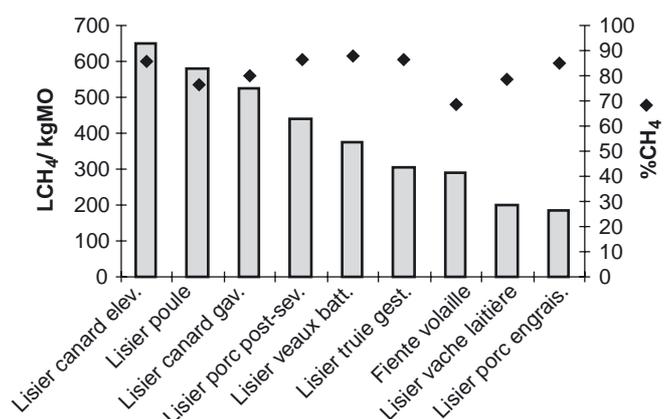
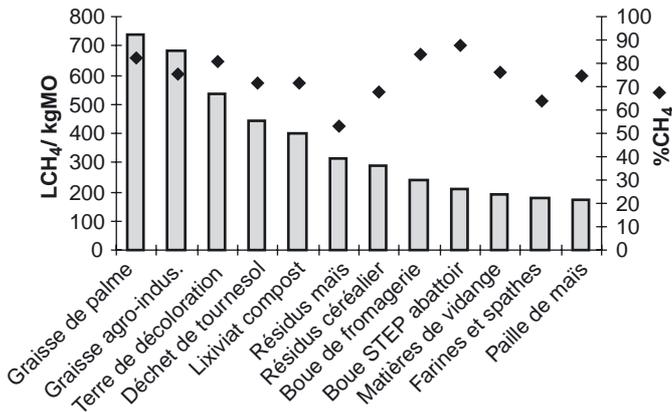


Figure 1 - Potentiels méthanogènes, effluents d'élevage

### 2.1.2. Résidus organiques d'agro-industries

En ce qui concerne les effluents agro-industriels, leurs potentiels méthanogènes varient entre 173 et 738 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t MO (figure 2). Les graisses seules présentent des performances intéressantes ; leur potentiel méthanogène est supérieur à 500 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t MO et la teneur en méthane est élevée, comprise entre 75,1 et 82,4 %. C'est la graisse de palme qui a les performances les plus élevées avec un potentiel méthanogène de 738 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t MO.



**Figure 2** - Potentiels méthanogènes, sous-produits agro-industriels

Les substrats ligno-cellulosiques ont des potentiels méthanogènes compris entre 292 et 441 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t MO. La teneur en méthane est généralement plus faible que pour les substrats lipidiques, comprise entre 52,7 et 71,7 %. Parmi les effluents produisant moins de 250 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t MO, il y a les effluents industriels type boues de STEP, matière de vidange et des substrats ligno-cellulosiques présentant des niveaux de biodégradation plus faible. Il peut s'agir d'un problème d'accessibilité de la matière organique ou de limitation de la fermentation.

Ces essais montrent l'importante variabilité qui peut exister entre des résidus fermentescibles de différentes origines. La démarche de caractérisation de la production de biogaz est indispensable dans la construction d'un schéma de traitement par co-digestion. L'ajout aux lisiers en conditions maîtrisées de résidus organiques à teneur en matière sèche élevée et présentant une production de biogaz élevée est un moyen pour augmenter les performances d'un traitement anaérobie tout en solutionnant une problématique de traitement de déchet.

## 2.2. Performances de scénarios de co-digestion

### 2.2.1. Méthanisation de lisiers de porcs seuls

Cette phase est représentative d'un fonctionnement d'une unité de méthanisation d'effluents d'élevages à base de lisiers de porcs. Le mélange à l'introduction est composé essentiellement de lisiers porcins (>80 %), et de lisiers de palmipèdes, canards gavages (<20 %). Le mélange d'effluents d'élevages introduit dans le digesteur est faiblement chargé en matière sèche (MS=1,4 % ± 0,2 /PB). la charge organique volumique (COV) introduite est inférieure à 1 kg MO/m<sup>3</sup>.j (tableau 1). Le temps de séjour est de 11 jours. Il subit quelques variations liées aux évacuations depuis les salles d'élevage et imposées par les essais expérimentaux qui y sont menés ; sans répercussions notables sur les performances de l'installation. Pendant les phases d'expérimentation, les conditions de fermentation mésophile sont maintenues constantes (T= 39 ± 1 °C). La teneur en méthane dans le biogaz est en moyenne de 66,8 ± 1,1 % ; ce qui correspond aux valeurs classiquement observées pour la digestion d'effluents animaux sans ajout de co-substrat.

Le rendement volumique de l'unité de méthanisation est de 0,61 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.j. En phase lisier seul, la production de biogaz est de 92 m<sup>3</sup>/j, ce qui représente une production d'énergie de 614 kWh potentiellement valorisable quotidiennement.

### 2.2.2. Co-digestion de lisiers et de déchets lipidiques

L'essai de co-digestion a été conduit avec des terres de décoloration issues du procédé de production d'huile alimentaire. Ces terres permettent d'éliminer les pigments colorés contenus dans les huiles brutes et absorbent lors du traitement 70 % de leur masse en huile ; elles sont donc fortement «chargées» en lipides et sont considérées comme un produit lipidique de référence.

Le mélange obtenu est près de 4 fois plus chargé en matière sèche (5,0 % vs 1,4 % de MS/PB) et près de 3 fois plus chargé en matière organique (1,5 vs 0,8 kg MO/m<sup>3</sup>.j). La COV introduite est doublée par rapport à la phase précédente sur lisiers d'élevages. Le temps de rétention hydraulique (TSH) est de 16 jours. Le pH demeure stable (7,66 ± 0,06), avec un écart-type hebdomadaire faible. La température est maintenue constante en régime mésophile (37,9 ± 0,2 °C). La teneur en méthane est très légèrement augmentée et atteint 68,0 ± 1,2 % de CH<sub>4</sub> ; elle est comparable à celle observée lors de l'étude en pilote de laboratoire (68,9 ± 1,5 %). Le

**Tableau 1** - Principaux paramètres de fonctionnement de l'unité de méthanisation

| Phases   | TSH (j) | T. (°C) | COV (kgMO/m <sup>3</sup> .j) | Vol. (m <sup>3</sup> /j) | Prod. (Nm <sup>3</sup> /t PB.j) | Rdtvol (Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .j) | CH <sub>4</sub> (%) | PG (Nm <sup>3</sup> /tMO.j) | PG CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> /tMO.j) |
|--|---------|---------|------------------------------|--------------------------|---------------------------------|---|---------------------|-----------------------------|---|
| Lisiers seuls                                  | 11      | 36,1    | 0,8                          | 50                       | 3,6                             | 0,61  | 66,8                | 398                         | 266   |
| Lisier+Terres de décoloration (TD) 95/5 (%vol) | 16      | 37,9    | 1,5                          | 165                      | 16,8                            | 1   | 68,0                | 691                         | 470   |
| Lisier +TD + Résidus céréaliers 92/3/5 (%vol)  | 15      | 37,3    | 3,5                          | 269                      | 25,3                            | 1,6   | 61,3                | 484                         | 296   |

potentiel méthanogène est augmenté de 75 % par rapport à la phase sans ajout de co-substrat (470 vs 266 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t MO). La productivité est multipliée par un facteur 5 et le rendement volumique par un facteur 2 (1 vs 0,61 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.j).

L'apport d'un co-produit de nature lipidique permet une augmentation de la quantité de biogaz produite quotidiennement ainsi que la teneur en méthane. Cette productivité représente une production d'énergie de 1020 kWh qui peut trouver différentes formes de valorisation énergétique.

### 2.2.3. Co-digestion de lisiers, de déchets lipidiques et lignocellulosiques

Les quantités de lisier introduites quotidiennement sont maintenues par rapport à la phase précédente. L'ajout de déchets de maïs (résidus de séchage des céréales maïs) entraîne une augmentation du taux de matière sèche de l'effluent entrant de plus de 50 % par rapport au lisier seul (7,5 % vs 1,4 % de MS/PB), ce qui se traduit par un taux de matière organique doublé et atteignant 5,3 % en moyenne contre 0,9 % en phase lisiers seuls. L'augmentation de la charge de l'effluent et des quantités introduites se traduit par une augmentation notable de la COV (3,5 vs 0,8 kgMO/m<sup>3</sup>.j). La température (37,3 ± 0,3°C) et le pH (7,52 ± 0,11) restent stables pendant la phase stabilisée prise comme référence. Du fait de l'ajout du substrat ligno-cellulosique, la teneur en méthane est diminuée de près de 10 % par rapport à la phase précédente (61,3 ± 1,1 % de CH<sub>4</sub>), ce qui se traduit par une diminution du potentiel méthanogène notable par rapport à la précédente phase (296 vs 470 Nm<sup>3</sup>/kgMO.j). Mais cependant, le taux de matière organique dans le mélange de co-digestion étant élevé, la production est augmentée d'un facteur 1,5 (25,3 vs 16,8 Nm<sup>3</sup>/kgPB.j) et le rendement volumique est augmenté de 60 % (1,6 vs 1 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.j). Ainsi la production d'énergie quotidienne s'élève à 1471 kWh ce qui est un gain énergétique de 43 % par rapport au scénario de co-digestion précédent.

La matière organique apportée par les terres de décoloration est beaucoup plus facilement dégradable que celle des déchets de maïs, ce qui se traduit par des potentiels de gazéification beaucoup plus élevés. Ce phénomène s'explique de façon biochimique par le fait que les molécules lipidiques sont des chaînes carbonées relativement simples (longues chaînes linéaires, avec peu de ramifications), très réduites tandis que les fractions ligno-cellulosiques sont constituées par des molécules plus complexes (celluloses, lignines...), ramifiées, et très oxydées.

Ces résultats démontrent l'intérêt d'étudier différents scénarios de co-digestion pour permettre un gain de production de biogaz. Cette recherche d'augmentation de la production d'énergie renouvelable joue un rôle important dans l'équilibre économique d'une installation de méthanisation.

## 2.3. Intérêt agronomique des digestats

### 2.3.1. Effet fertilisant organique du filtrat

Sur la station expérimentale l'effluent de méthanisation subit une séparation de phase au niveau d'un tamis rotatif (maille

250 µm). La fraction liquide appelée «filtrat» est stockée en fosse sans agitation ni aération. Le filtrat, considéré comme une fertilisant azotée organique, est épandu en inter rang sur culture de maïs au stade 5-8 feuilles autour de la station selon un plan d'épandage raisonnée. Le protocole expérimental a permis de comparer l'effet fertilisant organique de différents produits : lisier brut, filtrat de digestat à différentes doses et ammonitrate (figure 3).

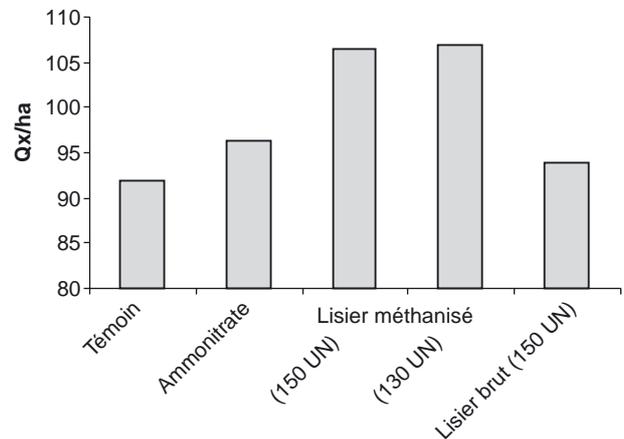


Figure 3 - Rendements grains aux normes

Pour effectuer des comparaisons le rendement est calculé « aux normes », c'est-à-dire à 15 % d'humidité du grain. Les résultats montrent une nette amélioration des rendements dans le cas d'une fertilisation à partir de lisier méthanisé. Ainsi, le traitement à 130 unités d'azote permet d'augmenter le rendement de 16 % (102 quintaux grains/ha) par rapport au témoin (88 quintaux grains/ha), et de près de 11 % par rapport à la fertilisation minérale (92 quintaux grains/ha).

Ces résultats montrent un effet positif de l'effluent méthanisé sur la production végétale. Des essais complémentaires permettront de compléter ces résultats, en particulier dans le cadre d'une année climatique sans période de sécheresse comme celle connue au cours du mois d'août 2003.

### 2.3.2. Caractérisation du résidu solide

La fraction solide a une siccité de 24,6 % de MS, elle contient une fraction d'éléments minéraux et à un taux de matière organique de 52 %/MS lui donnant des caractéristiques d'amendement organique. Cette fraction subit une maturation aérobie en andain avant d'évaluer une éventuelle phytotoxicité.

Les tests de germination montrent qu'il n'y a aucun écart significatif entre les différents digestats d'une part et le témoin compost d'autre part (figure 4). Pour les différents digestats, le nombre de levées est globalement homogène : dans chaque configuration, 96 % des maïs ont levé. Pour le haricot, le pourcentage de levée est plus variable mais il est tout à fait correct (entre 90 et 100 % de levée). Pour le haricot, le pourcentage de levée le plus fort est avec le compost témoin, la fraction digestat se situe à 96 % de levée ce qui est tout à fait correct. Le témoin neutre (sable) est à 96 % de germination pour le maïs et 92 % pour le haricot.

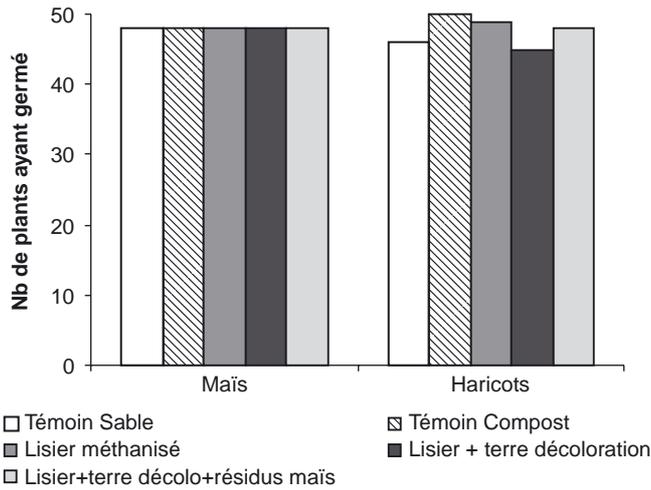


Figure 4 - Résultats de germinations

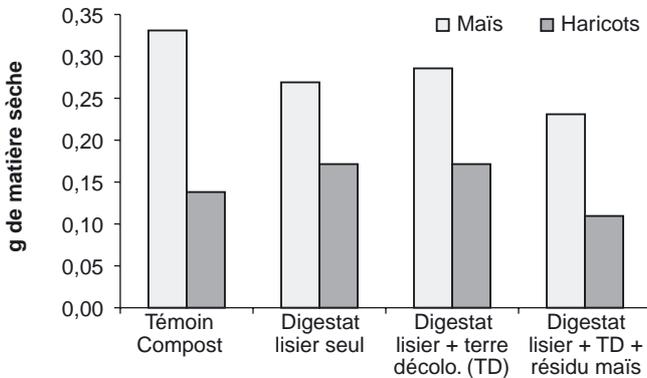


Figure 5 - Test de croissances

Les tests de croissance permettent de déterminer la biomasse végétale produite sur les différents supports (figure 5). Les résultats ne révèlent pas de différences significatives entre les digestats d'une part et le témoin compost d'autre part. Les digestats présentent un intérêt pour l'apport de matières fertilisantes nécessaires à la croissance des végétaux.

## CONCLUSION

Le programme visait à approfondir les conditions de mise en œuvre de la co-digestion d'effluents d'élevages en mélange avec des résidus fermentescibles agro-industriels de nature lignocellulosique et/ou lipidique.

Le premier objectif recherché était de caractériser des substrats pouvant être traités et valorisés par méthanisation. Les effluents

d'élevage et les déchets agro-industriels sont les gisements étudiés. Selon les effluents, le potentiel méthanogène varie entre 187 et 652 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t MO. Différents effluents d'élevage ont été testés selon le type d'animaux et le mode d'élevage. Les lisiers de porcs ont des productions comprises entre 167 et 442 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/t MO selon la nature des animaux. En ce qui concerne les effluents agro-industriels, leurs potentiels méthanogènes varient entre 173 et 738 NLCH<sub>4</sub>/kg MO. Ces tests montrent l'importante diversité de la production de biogaz des différents déchets fermentescibles. Ce paramètre est essentiel pour le dimensionnement de scénarios de traitement.

La validation de scénarios de co-digestion a pu être menée sur l'installation préindustrielle de la plate-forme de l'ADÆSO. Le suivi du fonctionnement du digesteur montre la faisabilité et l'intérêt de l'ajout de déchet lipidique (terre de décoloration) et de déchet lignocellulosique (résidus céréaliers) aux effluents de porcs. La production de biogaz est considérablement augmentée sans dysfonctionnement de l'installation. Les rendements obtenus quotidiennement représentent une production énergétique non négligeable tant sur le plan fonctionnel qu'énergétique pour de telles installations.

Au niveau des digestats, Les résultats montrent une nette amélioration des rendements dans le cas d'une fertilisation à partir de lisier méthanisé. Ils augmentent de 16 % par rapport à un témoin non fertilisé et de 11 % par rapport à une fertilisation minérale. Ces résultats sont encourageants et méritent d'être poursuivis sur des essais à moyen terme afin d'approfondir les raisons des bénéfices sur les cultures.

Les fractions solides des digestats présentent des caractéristiques voisines à des composts maturés et constituent des amendements organiques intéressants pour une valorisation agronomique.

Les résultats obtenus au cours de ce programme expérimental montrent l'intérêt du traitement des lisiers de porc par co-digestion, augmentation de la production d'énergie biogaz et intérêt des digestats comme fertilisant organique. La codigestion est une voie intéressante pour le traitement de déchets fermentescibles produits à l'échelle d'un territoire.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un programme expérimental qui a bénéficié du soutien financier de l'ADEME et de la contribution d'ARVALIS Institut du végétal.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AND International, 2004. Le marché de la méthanisation en France. Hypothèses à 5 et 10 ans. Synthèse du groupe d'experts du 21/04/04. 15p.
- CASTAING J., POUÉCH P., 1999. An experimental platform in south of France. II International symposium on anaerobic digestion of solid waste, Barcelone, Spain. Vol. 2.
- CASTAING J., POUÉCH P., COUDURE R., 2002. Journées Rech. Porcine, 34, 195-202.
- COUDURE R., CASTAING J., 1997. Journées Rech. Porcine en France, 29, 335-342.
- COUDURE R., POUÉCH P., MARCATO C., GODON JJ., ST JOLY C., 2004. Amélioration des performances de la production de biogaz en co-digestion et évaluation de l'intérêt agronomique de l'effluent de méthanisation. Rapport final du programme de recherche. 110p.
- HEDUIT M., THEOLEYRE M.A., 1985. Journées Rech. Porcine en France, 17, 339-350.
- LA FARGE B., 1995. Le biogaz, Masson ed., Paris, 237p.
- MEDD, 2004. Plan Climat 2004. Face au changement climatique, agissons ensemble. Plan d'action, 90p.
- POUÉCH 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.