

Bilan de fonctionnement d'une unité de méthanisation de lisier de porc

R. COUDURE, J. CASTAING

Association Générale des Producteurs de Maïs, Route de Pau - 64121 Montardon

avec la collaboration de J.M. Estanguet et la participation du personnel de la station «Utilisations Animales» de l'AGPM à Montardon

Bilan de fonctionnement d'une unité de méthanisation de lisier de porc

Depuis 15 ans, l'A.G.P.M. dispose d'une unité de fermentation méthanique des lisiers de porcs. En moyenne, quotidiennement, 12 m³ de lisiers bruts sont introduits dans le biodigester de 150 m³. Le volume de biogaz produit est de 90 m³/j. Il est utilisé comme combustible dans un groupe moto-alternateur de 32 kw et/ou comme combustible dans une chaudière pour la production d'eau chaude.

La méthanisation permet la désodorisation des lisiers tout en produisant une énergie renouvelable. L'intérêt économique est dépendant de la valorisation de l'énergie. Le rendement de l'énergie transformée en électricité est faible. La valorisation du biogaz est dans ce cas limitée par les possibilités de la répartition des consommations d'énergie électrique et la régularité sur le site.

La production de chaleur est nécessaire au maintien de la température du digesteur à 35°C. Une augmentation jusqu'à atteindre 50-55°C permettrait d'installer une fermentation thermophile, la température étant un facteur favorable à une dégradation plus importante de la matière organique et une production de biogaz supérieure.

Après séparation de phase solide/liquide, les lisiers filtrés gardent leur valeur agronomique pour la fertilisation azotée du maïs par épandage dirigé en interligne sous feuillage.

Assessment of the management of a methanization process unit for pig slurry

The AGPM has a methanization process unit for pig slurry which has been operating for 15 years. A daily average of 12 m³ of crude effluent is introduced into the 150 m³ digester. The quantity of biogas produced per day is 90 m³. It is used as a fuel in a motor-driven generator unit of 32 kW and/or as a fuel in a hot water boiler.

The methanization process allows the pig slurry to be deodorised and at the same time produces a renewable energy source. The economic importance depends on the utilisation of the energy. The output of transformed energy in the form of electricity is low. In this case, the utilisation of biogas is limited by the possibility of co-ordinating the consumption of electrical energy and regularising its use on the site.

The production of heat is necessary to maintain the temperature of the digester at 35°C. An increase in temperature up to 50-55°C can allow thermophilic fermentation, which increases the degradation of organic matter and increases the production of biogas.

After the separation of the solids from the liquid, the filtered effluents maintain their agricultural value as a nitrogen fertiliser for maize. They are spread using a system which delivers the liquid between the rows and under the leaves of the growing plant.

INTRODUCTION

L'Association Générale des Producteurs de Maïs à Montardon (64) traite depuis 1981 les lisiers de porcs de ses élevages expérimentaux par méthanisation. L'installation a bénéficié d'aides de la part de l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie, aujourd'hui Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), l'ANVAR et le Ministère de l'Agriculture.

La fermentation méthanique est un processus biologique de dégradation de la matière organique par fermentation en milieu anaérobie, qui s'accompagne d'une production d'un mélange gazeux combustible ($\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$) saturé en eau. Le biogaz obtenu est un combustible naturel et renouvelable.

Dans nombre de pays européens, dont la France, les infrastructures de traitement par méthanisation de matières organiques sont peu nombreuses et progressent peu. Un rapport du Service Biomasse de l'Agence Danoise de l'Énergie diffusé par SOLAGRO (1996) fait ressortir l'intérêt d'augmenter la valorisation des composés à conversion lente dans les lisiers.

Dans une brochure éditée par la Commission Européenne en charge du programme Thermie (1990-1994), la méthanisation des lisiers de porcs apparaît comme un moyen efficace de production d'énergie en relation avec les aspects environnementaux pour les exploitations agricoles.

De La FARGE (1995) passe en revue les principes de base de la production de biogaz et présente un aperçu de son champ d'exploitation et de ses enjeux environnementaux. Une installation de méthanisation peut résoudre des problèmes d'environnement, mais aussi, et c'est là son intérêt, produire une énergie renouvelable.

En 1985, HÉDUIT et THÉOLEYRE font un bilan de 9 installations de méthanisation dont celle de l'AGPM, construites entre 1980 et 1983 sur un atelier de production porcine et traitant le lisier selon le système continu mésophile infiniment mélangé. Il ressort que les conditions de rentabilité de ce type d'investissement nécessitent une étude préalable très soignée sur l'optimisation du mode de valorisation énergétique et par conséquent les économies espérées, mais aussi sur l'efficacité de désodorisation. Ils signalent la nécessité de mieux connaître les risques de vieillissement, de décantation et de dilution des lisiers en amont des digesteurs, considérant qu'en-dessous de 20 g/l de DCO, l'énergie produite est à peine suffisante au maintien en température du système.

Le peu de références à long terme sur des installations de méthanisation appliquées à des exploitations agricoles nous a conduit à faire un bilan après 15 années de fonctionnement de l'unité de biogaz de notre Centre Technique à Montardon (64).

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Présentation de l'installation

L'unité de méthanisation du Centre Technique de l'AGPM à Montardon, construite en 1981, produit du biogaz à partir de lisiers de porcs. L'objectif est de 3 natures : réduire les nuisances olfactives, réduire la charge polluante et valoriser les éléments fertilisants des effluents, en particulier la fraction azotée, pour la culture du maïs.

1.1.1. Descriptif de l'installation

- Préfosse

La récupération du lisier se fait dans une préfosse de 45 m³ cloisonnée (voir schéma hydraulique). Une couronne concentrique plus grande de 15 m³ (F2) reçoit le lisier méthanisé. Ce système a pour objet de récupérer des calories sur l'effluent à la sortie digesteur. L'homogénéisation dans la préfosse est assurée par une hélice.

Une pompe (P1) immergée de 2,2 kW assure l'alimentation du fermenteur. Une pompe (P2) immergée de 2,2 kW fonctionnant par régulation de niveau assure le brassage de l'effluent en couronne et sa circulation vers l'unité de séparation de phases et les fosses de stockage.

Une garde hydraulique (G1) assure l'étanchéité de la phase gazeuse et la sécurité de pression de biogaz.

- Digesto-gazomètre hors sol (fabriqué par Biomagaz - PEC Engineering)

Fait en béton de 6 m de haut, son volume utile est de 150 m³. Cet ouvrage est surmonté d'une cloche métallique mobile sur rail. Sa capacité est de 100 m³ maxi. L'alimentation du fermenteur (Y1) se fait par le bas avec un tuyau en Y et une surverse (S1) en partie haute permet l'évacuation par la garde G1 d'un volume équivalent.

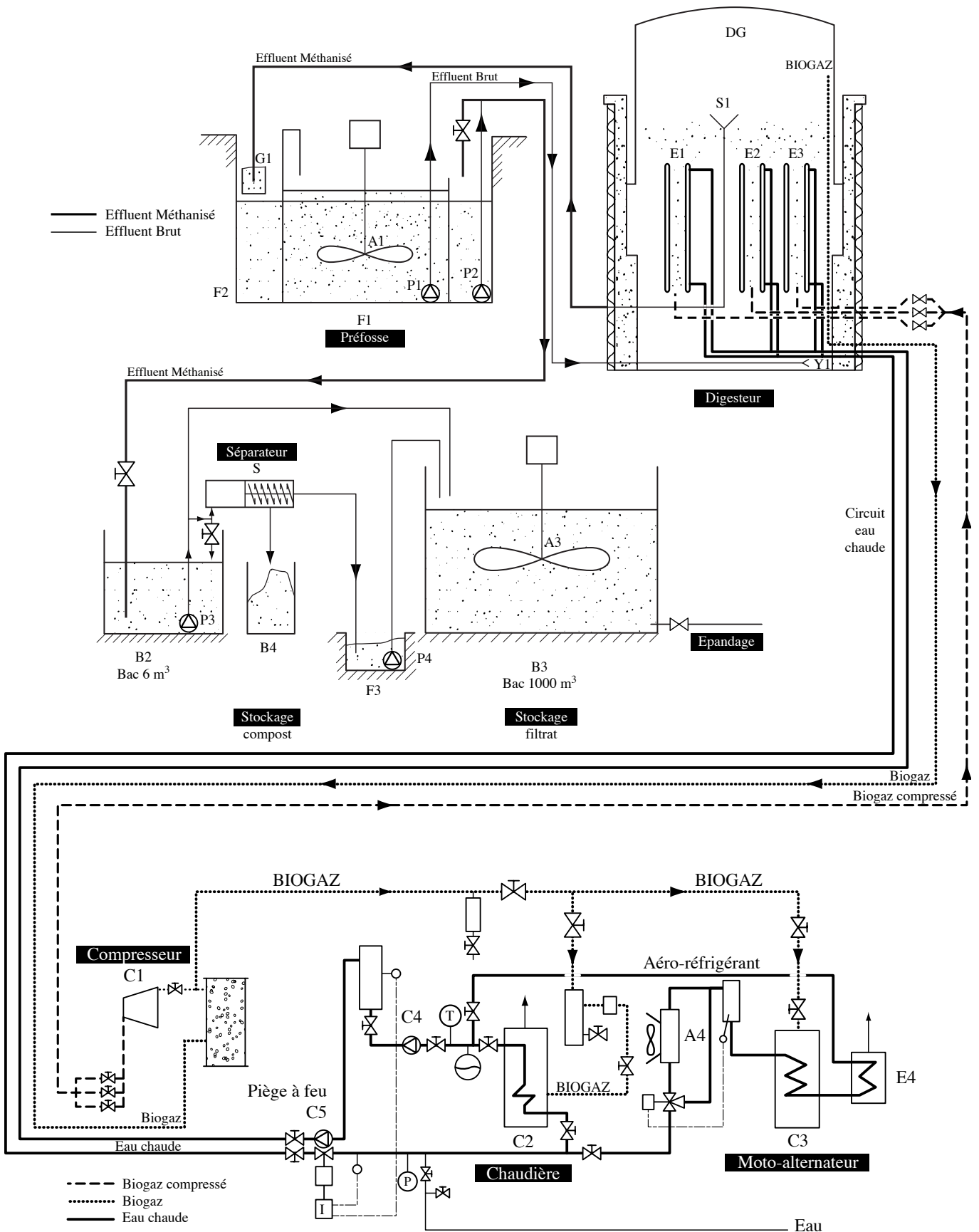
Une circulation d'eau chaude réalisée dans 3 échangeurs (E1, E2, E3) type annulaire noyé placés dans le digesteur maintient la température du lisier. Ces échangeurs ont également pour fonction d'éviter au maximum la sédimentation au fond du digesteur par l'effet thermosiphon. Cet effet naturel est accentué cycliquement par une circulation forcée de biogaz à travers chaque échangeur. Elle est faite à partir d'un groupe de circulation (C1). Le biogaz est comprimé à 1 kg/cm² et l'opération est commandée par programmation.

Le biogaz est extrait du gazomètre dans le bas de la phase gazeuse du digestomètre et est envoyé directement, sans traitement, au réseau de distribution des appareils (compresseur, chaudière et groupe moto-alternateur).

- Local technique

Le biogaz passe par un fût en inox rempli de cailloux (piège

SCHEMA HYDRAULIQUE DE L'UNITE DE METHANISATION



à feux) qui assure le coupe feu et sert de pot de condensation de l'eau du biogaz. Une dérivation permet ensuite son recyclage dans le digesteur par le compresseur de 7,5 kW (C1).

Le biogaz est utilisé en priorité dans un groupe moto-alternateur (C3) de 32 kW qui fournit durant son fonctionnement de l'électricité qui est utilisée dans le bâtiment d'élevage pour alimenter les circuits de chauffage et ventilation.

De l'eau chaude issue des échangeurs du moteur et d'échappement (E4) sert à maintenir le digesteur en température. En cas de manque de calories du digesteur ou de panne du moteur, le biogaz est utilisé dans la chaudière de 58 kW (C2) pour réchauffer le circuit échangeur. Le groupe ventilateur (A4) situé à l'entrée du moteur se met en marche si la température du circuit de refroidissement est supérieure à 55°C.

- Stockage et séparation

Le lisier méthanisé est vidangé dans une cuve de 6 m³ et est traité par un séparateur (Flygt) de type presse-à-vis. Le filtrat est stocké dans deux bacs de stockage de 600 m³ et de 1000 m³. La matière solide (particules de taille supérieure à 150 µm) tombe dans un container de transport pour être acheminée vers une unité de compostage placée sous un hangar.

Les matériels utilisés au niveau de l'unité sont alimentés par le réseau électrique de l'EDF.

1.1.2. Principe de fonctionnement et contrôles effectués

- Fonctionnement

Le lisier est traité en continu dans un digesteur de type mésophile infiniment mélangé. Le biogaz produit est stocké dans le gazomètre coiffant le digesteur. Il sert à l'agitation du lisier dans le digesteur par réinjection et de combustible à la chaudière ou au groupe moto-alternateur. L'électricité produite par le groupe est utilisée pour le chauffage, la ventilation et l'éclairage d'un bâtiment d'élevage de porcs. La température de fonctionnement du digesteur est obtenue par une circulation d'eau à travers la chaudière ou les échangeurs moteur et échappement du groupe.

L'introduction du lisier respecte une procédure bien établie. La quantité de lisier introduite quotidiennement varie de 10 à 15 m³. Il provient de deux unités d'élevage, d'une part du troupeau expérimental de 180 truies, de quatre salles de post-sevrage de 180 places et de 6 ateliers d'engraissement de porcs charcutiers (750 places), et d'autre part du troupeau naisseur-engraisseur de l'élevage AGPM - Inter Profession Porcine d'Aquitaine. Les lisiers sont préalablement homogénéisés dans la préfosse en amont du digesteur. Le fonctionnement de la pompe d'introduction fait l'objet d'une surveillance jusqu'à observer l'écoulement de l'excédent au niveau de la garde hydraulique. Tout dysfonctionnement entraîne un arrêt technique pour vérification de tous

les points critiques de l'installation.

Le groupe moto-alternateur est mis en route par l'opérateur. Les appareillages électriques alimentés par le groupe sont sélectionnés par l'opérateur jusqu'à concurrence de la puissance délivrée. En cas de dépassement, l'arrêt est automatique. De même le défaut de biogaz entraîne l'arrêt du groupe moto-alternateur et le réseau EDF reprend le relais. Un nouveau démarrage nécessite l'intervention de l'opérateur.

1.1.3. Historique de l'installation

L'unité de méthanisation fonctionne depuis 15 ans. La mise en route de cette unité a été effectuée en 1982. Quelques temps après le démarrage, des transformations au niveau de l'alimentation et du recyclage du lisier se sont avérées utiles. De même, les commandes automatiques et les vannes pneumatiques ont été supprimées, la présence d'un opérateur est apparue beaucoup plus sécurisante.

Les premiers travaux importants ont été réalisés en 1990 : arrêt technique pour améliorer et simplifier les canalisations, changer et modifier les échangeurs du digesteur et remplacer le moteur du groupe moto-alternateur. Enfin en 1995, il y a eu de nouveau un remplacement du moteur et une remise à neuf de l'alternateur.

1.2. Contrôles effectués

1.2.1. Relevé des productions électriques

Les relevés de la production électrique du groupe moto-alternateur, sa durée de fonctionnement, la consommation électrique (EDF) de l'unité et la production thermique récupérée sur la circulation d'eau chaude sont effectués quotidiennement.

1.2.2. Caractéristiques du lisier brut et méthanisé

Les échantillons de 500 ml de lisier sont effectués selon des périodes de contrôles au moment de l'introduction le premier jour de la période de contrôle, puis les 11ème ou 12ème jour de la période de contrôle. Au même moment, 500 ml de lisier méthanisé sont prélevés. Les prélèvements sont effectués au cours de l'introduction à partir d'une dérivation sur le circuit d'introduction et dans la garde en sortie du digesteur.

Les teneurs en matière sèche (M.S.) en azote Kjeldhal et D.C.O. ont été régulièrement déterminées. Elles sont complétées selon les contrôles par les résultats de teneur en azote ammoniacal, en matières minérales dont le phosphore et par la mesure du pH.

La quantité de lisier introduite chaque jour est mesurée par jaugeage dans la préfosse.

1.2.3. Évaluation de la production de méthane

La production de biogaz n'est pas mesurée par comptage

volumétrique suite à la corrosion rapide des systèmes. La quantité de méthane produite est estimée à partir du modèle de Hashimoto présenté par DE LA FARGE (1995), applicable dans le cas d'une fermentation en continu de substrats d'origine animale en infiniment mélangé.

2. RÉSULTATS

Les résultats présentés ici sont issus de contrôles effectués au cours des cinq dernières années. Ils portent sur les caractéristiques moyennes des lisiers avant méthanisation, après méthanisation, et sur la production électrique permise par l'utilisation du biogaz.

2.1. Caractéristiques des lisiers avant méthanisation

Les données présentées au tableau 1 sont le résultat moyen de plusieurs analyses ou prélèvements pour constituer un échantillon moyen.

Tableau 1 - Caractéristiques des lisiers avant méthanisation (en % / brut)

Résultats des lisiers avant méthanisation						
Année	JRP 85	1992	1993	1994	1996	Moy.
pH		6,9	7,36	7,07	6,78	7,03
M.S.T.	1,85	1,87	2,13	1,4	2,42	1,93
N. Kjeldhal	2,5	1,88	2,45	2,07	1,92	2,16
Ammonium		1,62	1,88	-	-	1,75
D.C.O., g/l	22,1	24,1	39,57	14	39,66	27,69

Le pH des lisiers, en moyenne 7,03, varie peu (6,78 à 7,36).

2.1.1. Teneur en matière sèche

La teneur en matière sèche totale (M.S.T.) des lisiers provenant des différents ateliers expérimentaux du Centre est très variable. Les résultats par échantillon (non rapportés ici) varient de 1 à 2 % pour les ateliers où les nettoyages sont très fréquents, à 6 % dans les ateliers où la conduite d'élevage et alimentaire limite au maximum les quantités d'eau utilisées. La teneur moyenne en M.S.T. des lisiers bruts collectés dans la préfosse d'homogénéisation est de 1,93 p. cent. Elle varie de 1,4 à 2,5 p. cent selon l'année de contrôle.

2.1.2. Teneur en matière azotée

La teneur en matière azotée totale (N Kjeldhal) est en moyenne de 2,16 p. cent. Elle varie selon les contrôles de 1,88 à 2,8 p. cent.

La teneur en azote ammoniacal (ou ammonium) est en moyenne de 1,75 p. cent. Elle varie de 1,62 à 1,94 p. cent. Cette forme d'azote représente en moyenne 80,2 p. cent de l'azote total.

2.1.3. Demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène (D.C.O.) est en moyenne de 27,69 g O₂/l de lisier brut. Elle varie de 14 à 60,6 g O₂/l selon les contrôles ponctuels.

2.2. Caractéristiques des lisiers après méthanisation

Les résultats moyens de l'analyse figurent au tableau 2.

Le pH du lisier après méthanisation est de 7,62 en moyenne, légèrement supérieur à celui mesuré avant méthanisation.

Tableau 2 - Caractéristiques des lisiers après méthanisation (en % / brut)

Résultats des lisiers après méthanisation						
Année	JRP 85	1992	1993	1994	1996	Moy.
pH			7,89	7,56	7,42	7,62
M.S.T.	1,71	2	1,7	1,4	1,3	1,62
N. Kjeldhal	2,4		2,63	2,27	2,21	2,38
Ammonium		1,92	1,96		-	1,94
D.C.O., g/l	11,5	18,9	26,9	20	13,2	18,10

2.2.1. Teneur en matière sèche

La teneur moyenne en matière sèche des lisiers à la sortie du digesteur est de 1,62 p. cent. Elle varie de 1,4 à 2,0 p. cent. Dans nos conditions, il n'est pas possible de rapprocher la teneur en matière sèche des lisiers après méthanisation de la teneur à l'entrée. En effet, les quantités introduites quotidiennement sont mélangées au volume total, et la quantité sortie (par surverse) est un mélange de toutes les quantités introduites la quinzaine précédente. De plus il faut prendre en compte la purge en partie basse des boues de décantation.

2.2.2. Teneur en matière azotée

La teneur en N Kjeldhal est en moyenne de 2,38 p. cent. La teneur moyenne en azote ammoniacal est de 1,94 p. cent. Cette fraction représente en moyenne 79,8 p. cent de l'azote total.

Comparativement aux teneurs à l'introduction, la teneur en azote est de même ordre.

2.2.3. Demande chimique en oxygène

La D.C.O. est en moyenne de 18,10 g O₂/l. Elle varie de 11,5 pour le contrôle réalisé en 1985 à 26,9 en 1993.

Cette demande est fortement réduite comparativement à la valeur moyenne observée sur les lisiers bruts avec une valeur inférieure de 34,6 p. cent.

2.3. Production électrique

Les résultats de fonctionnement de l'unité sont mesurés au niveau de la production électrique quotidienne.

Tableau 3 - Production électrique (kwh/h moteur)

Année	1992	1993	1994	1995	1996	Moy.
Maxi	12,73	9,63	8,75	10,9	10,4	
Moyenne	8,91	7,73	6,35	7,46	8,63	7,80
Mini	7,15	6,10	4,61	5,94	6,55	

Les résultats de production électrique reportés au tableau 3 sont issus du calcul de la production moyenne mensuelle exprimée en kwh/heure de fonctionnement moteur en charge à vitesse de rotation stabilisée.

La production d'électricité maxi est observée en 1992 (12,73 kwh/h moteur). La production moyenne observée est de 7,8 kwh/h moteur. Au cours des cinq dernières années elle a été en moyenne de l'ordre de 7,46 à 8,91 kwh/h moteur, excepté en 1994 où elle n'est que de 6,35 kwh/h moteur. Cette baisse est à rapprocher de problèmes techniques du moteur qui ont nécessité son remplacement courant 1995.

2.4. Consommation et production de biogaz

2.4.1. Estimation du volume consommé pour la production électrique

Le volume de biogaz consommé journalièrement par l'alternateur est calculé à partir de la production électrique sur la base de 10 kwh/m³ de méthane et 60 % de méthane dans le biogaz, soit 6 kwh/m³ de biogaz.

Tableau 4 - Consommation journalière de biogaz par groupe moto-alternateur (m³)

Année	1992	1993	1994	1995	1996	Moy.
Maxi	52,3	45,8	32,2	34,2	45,3	
Moyenne	39,2	38,0	25,5	25,6	37,6	33,5
Mini	28,3	30,0	19,6	18,9	31,5	

Le volume estimé de biogaz consommé journalièrement pour la production électrique varie, de 52,3 m³/j (maximum en 1992) à 18,9 m³ (minimum en 1995). En moyenne, la consommation de biogaz estimée à partir de la production électrique est de 33,5 m³/j, en considérant un rendement électrique du groupe de 25 p. cent.

2.4.2. Calcul théorique de la production de biogaz

À partir des paramètres usuels pour décrire le fonctionne-

ment d'un fermenteur, il est possible de calculer la production volumique ou rendement technologique selon le modèle de Hashimoto (De La FARGE, 1995).

Modèle de Hashimoto appliqué à l'unité A.G.P.M. :

Volume utile du digesteur

$$(V) = 150 \text{ m}^3$$

Débit volumique

$$(Q) = 12 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$\text{Temps de rétention hydraulique (TRH)} = V/Q = 11,5 \text{ j}$$

Charge initiale

$$(MO) = 14,5 \text{ g/l}$$

$$\text{Constante d'inhibition } K = 0,6 + 0,021 \cdot 10^{0,05} (MO)$$

Température de fermentation

$$(T) = 25^\circ\text{C}$$

$$\text{Coefficient cinétique (Mm)} = 0,013T - 0,129$$

Potentiel de production de méthane

$$Bo = 0,45 \text{ m}^3/\text{kg MO}$$

Rendement biologique B (m³ CH₄/kg MO)

$$B = Bo [1 - (K/(Mm - TRH) + K - 1)]$$

Rendement technologique VVJ (m³/m³j)

$$VVJ = B \cdot (MO/TRH)$$

Production de méthane Qm (m³/j)

$$Qm = VVJ \cdot V$$

La production moyenne journalière théorique de biogaz calculée à partir du modèle de Hashimoto à la température de fermentation contrôlée de 25°C, pour une quantité journalière de lisiers traitée de 12 m³ avec une teneur en matière sèche totale de 19,6 g/l, est de 54,3 m³ de CH₄, soit approximativement 90 m³ de biogaz/j.

Le même calcul à partir de la diminution en D.C.O. des lisiers méthanisés par rapport aux lisiers introduits sur la base d'une constante de production de méthane par kg D.C.O. dégradé de 0,35 m³ CH₄/kg D.C.O., donne 40,3 m³ de biogaz/j.

En considérant ces valeurs théoriques, il apparaît en moyenne une perte de production ou de rendement électrique équivalente à environ 60 m³/jour. Dans ces conditions, le rendement de l'énergie fournie par le biogaz ne serait que de 33 p. cent transformée en énergie électrique.

DISCUSSION - CONCLUSION

Depuis sa mise en route en 1982, l'installation de fermentation méthanique des lisiers de porcs de l'A.G.P.M. fonctionne correctement, assurant en particulier une désodorisation très satisfaisante des lisiers.

La valorisation de l'énergie produite peut être améliorée. Le faible rendement de transformation électrique apparaît comme le facteur limitant primaire d'une utilisation optimale du biogaz produit. C'est pourquoi il peut être souhaitable d'utiliser une partie du gaz pour produire de la chaleur à partir de la chaudière, afin d'augmenter la température de

fermentation actuelle qui n'est que de 25°C en hiver comme en été. Dans ces conditions, l'objectif est d'atteindre et de maintenir une fermentation mésophile à 35°C et donc d'améliorer la dégradation de la matière pour un même temps de rétention hydraulique. La quantité d'énergie nécessaire pour augmenter et maintenir la température de fermentation de 25 à 35°C est de 500 kwh/j. En considérant que cette quantité d'énergie est fournie pour partie par le moteur de l'alternateur (de l'ordre de 320 kwh/j de fonctionnement), il reste à fournir 180 kwh/j, soit 30 m³ de biogaz. La quantité de biogaz nécessaire est largement disponible. Les résultats laissent une quantité importante de biogaz non encore utilisée à laquelle il convient de rajouter la quantité supplémentaire produite compte tenu de l'élévation de la température. De plus, sur un plan pratique pour plus d'efficacité, la chaudière et le moteur pourraient fonctionner à des moments différents, de nuit pour la chaudière

pendant 5 à 6 heures et le jour pendant 6 à 8 heures pour le moteur.

Dans un deuxième temps, il peut être recherché une augmentation plus importante de la température pour installer une fermentation thermophile à 50-55°C et augmenter en conséquence la dégradation de la matière organique tout en produisant un supplément d'énergie à partir du groupe moto-alternateur.

Sur le plan environnemental, les lisiers méthanisés et séparés se caractérisent par un filtrat liquide désodorisé valorisable pour la fertilisation azotée du maïs par épandage dirigé sous feuillage de mai à juin, la fermentation méthanique n'ayant pas modifié la teneur en azote. La phase solide est valorisable après compostage comme amendement organique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence Danoise de l'Énergie, 1996. Les installations de biogaz centralisées en Danemark. Version française éditée et diffusée par SOLA-GRO.
- DE LA FARGE B., 1995. Le Biogaz. Masson éd, Paris.
- Energy Efficiency and Environment Concerns in Agricultural Buildings. Produced by OPET - Ademe, Paris.
- HÉDUIT M., THÉOLEYRE M.A., 1985. Journées Rech. Porcine en France, 17, 339-350.
- RATOARINORO N., MISSET E., 1996. Unité de méthanisation sur le lisier de porc. Compte rendu AGPM, Montardon (64) - CIEN, Tarbes (65)