

OFFICE FÉDÉRAL DE L'ÉNERGIE
Section technique énergétique
3003 BERNE

Projet N° 10484 – Contrat N° 58222

**SUIVI TECHNIQUE POUR LE MODULE
BIOGAZ DISCONTINU
(ADER)**

RAPPORT

Mandataire :

EREP SA
Chemin du Coteau 28 Tél. : 021/869.98.97
1123 ACLENS Fax : 021/869.97.94

Responsable : Yves MEMBREZ, ing. dipl. ETS/UTS, EUR-ING

Octobre 1996

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION
 2. INSTALLATION-PILOTE
 3. SUIVI TECHNIQUE
 - 3.1 Méthode
 - 3.2 Calendrier
 4. RÉSULTATS
 - 4.1 Capacité du module
 - 4.2 Production totale de biogaz
 - 4.3 Production journalière de biogaz
 - 4.4 Productions spécifiques de biogaz
 - 4.5 Composition du biogaz
 - 4.6 Données d'exploitation
 - 4.7 Investissement
 5. COMMENTAIRES
- ANNEXES
- Schéma de l'installation
 - Illustrations
 - Références bibliographiques

1. INTRODUCTION

L'Association pour le Développement des Energies Renouvelables (ADER) soutient le développement d'un système modulaire de production de biogaz à alimentation discontinue de fumier solide. Le but poursuivi est de mettre au point un système pratique à exploiter, ne demandant pas trop de manipulation et assurant une production de biogaz régulière.

Un premier module a été construit et installé en 1994 chez M. Jacques DELAFONTAINE à 1604 PUIDOUX (VD), cet agriculteur étant par ailleurs membre du comité et responsable du groupe "biogaz" de l'ADER.

Afin de confirmer les résultats obtenus sur cette première installation, l'ADER a souhaité réaliser une deuxième installation-pilote. Cette expérience, dont le financement a été largement soutenu par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et par la Délégation à l'énergie du canton de Vaud, a pu être concrétisée dans le cadre de l'exploitation de M. Pierre-Alain CHEVALLEY à 1501 PALÉZIEUX-VILLAGE (VD). La famille CHEVALLEY, qui est une "pionnière du biogaz" en Suisse, dispose déjà d'une unité de biogaz à alimentation en continu de purin, ainsi que des infrastructures pour l'utilisation du biométhane.

Le suivi technique des performances de cette installation-pilote a été confié par l'OFEN à EREP SA, sur la base de sa proposition du 30.9.1994.

2. INSTALLATION-PILOTE

Le module est constitué par une cuve parallélépipédique d'un volume total de 54 m³ (longueur : 6 m, largeur : 3 m, hauteur : 3 m) dotée d'une porte amovible étanche avec fermeture par clavettes; il se présente sous la forme d'un "garage" dont les dimensions sont prévues pour permettre l'accès d'un tracteur avec fourche frontale. Le module est construit en tôle d'acier (e = 5 mm) avec renforts en fer sur les parois et la porte. Une isolation constituée de plaques de polystyrène expansé (LUXIT, e = 20 cm), protégée par une bâche, a été posée après mise en place du module.

Le digesteur est posé sur un radier en béton dans l'épaisseur duquel les concepteurs ont jugé utile de noyer un serpentin de chauffage et une isolation thermique. Le circuit de réchauffage par le sol est alimenté par une chaudière à gaz installée dans l'abri technique créé dans le prolongement du digesteur.

Le type d'installation de méthanisation en discontinu mis en œuvre chez M. CHEVALLEY est à substrat non immergé et sans précompostage du fumier par aération forcée, avec digesteur hors-sol. Des installations du même genre ont été construites notamment en France dans les années huitante (par exemple DANGUY Frères à MARCHESIEUX).

Le biogaz produit par le module est conduit vers le réseau (stockage et valorisation) équipant déjà l'installation de digestion en continu de lisier. On trouvera en annexe un schéma général de ce réseau et de l'intégration de l'unité à alimentation discontinue, ainsi que des photos de l'installation-pilote.

Les travaux d'installation et de raccordement du module ont été effectués durant le printemps 1995 et son isolation a été posée en octobre 1995.

3. SUIVI TECHNIQUE

3.1 Méthode

Trois paramètres principaux ont fait l'objet de ce suivi :

- **La production de biogaz et l'autoconsommation thermique du système.** A cet effet, l'installation existante a été équipée de deux compteurs à gaz étalonnés de type WOHLGROTH, G-4E/RF1, monotube, l'un destiné à mesurer la production du module et l'autre installé à l'entrée de la chaudière du circuit de réchauffage par le sol. Ce matériel, pris en charge par le budget de suivi, a été installé à fin août 1995. Jusqu'à cette période, la production gazeuse était mesurée par un compteur non étalonné prêté par l'ADER. Les relevés ont été effectués périodiquement par nos soins, l'exploitant effectuant en outre un pointage journalier de la production.
- **La composition du biogaz.** Cette évaluation a été périodiquement effectuée par analyse des teneurs en gaz carbonique (CO_2) et en hydrogène sulfuré (H_2S) du gaz produit, au moyen de tubes réactifs DRAEGER "anhydride carbonique 5% A" et "hydrogène sulfuré 100/a".
- **L'analyse physico-chimique des fumiers, avant et après digestion.** Les échantillons prélevés lors de certains remplissages et vidanges ont été confiés au LABORATOIRE ORLAB SA à 1350 ORBE, qui a déterminé la matière sèche, la matière organique (cendres), la teneur en calcaire total (CaCO_3) et le carbone total sur matière sèche.

Par ailleurs, les données relatives à l'exploitation et au coût d'investissement du module ont pu être obtenues en observant les opérations de remplissage et de vidange et en considérant les éléments communiqués par l'ADER.

3.2 Calendrier

La campagne de suivi a permis de couvrir 4 cuvées, à savoir :

- cuvée N° 1, du 7 mai 1995 au 17 octobre 1995;
- cuvée N° 2, du 21 octobre 1995 au 5 décembre 1995;
- cuvée N° 3, du 11 décembre 1995 au 16 avril 1996;
- cuvée N° 4, du 25 avril 1996 au 4 octobre 1996.

4. RÉSULTATS

4.1 Capacité du module

La conception et la géométrie du digesteur font que le volume utile de digestion n'est que de l'ordre de 40 à 45 m³, soit 75% à 83% de la capacité totale du module. La densité des fumiers encuvés durant le suivi se situant approximativement à 0,8 t/m³, on peut estimer à environ 32 à 36 tonnes les quantités de substrat lors de chaque chargement.

4.2 Production totale de biogaz

Le tableau qui suit résume les résultats globaux de chacune des cuvées :

Cuvée N°	Dates début / fin	Temps de séjour [jours]	Production biogaz [m ³]	Production moyenne de biogaz [m ³ /jour]	Réchauffage module [m ³]	Part autoconsommation [%]
1	07.05.95 / 17.10.95	163	1357,697	8,3	-0-	-0-
2	21.10.95 / 05.12.95	45	222,427	4,9	24,852	11,1
3	11.12.95 / 16.04.96	127	478,188	3,8	78,181	16,3
4	25.04.96 / 04.10.96	162	1214,038	7,5	72,075	5,9

Globalement et sur 497 jours de production, les 4 cuvées ont permis de produire **3270,350 m³ de biogaz**, soit une production journalière moyenne brute de 6,58 m³/jour et nette (avec déduction de la part consacrée au réchauffage) de 6,23 m³/jour.

4.3 Production journalière de biogaz

Les graphiques qui suivent présentent, pour chacune des 4 cuvées, les productions moyennes journalières, les autoconsommations moyennes journalières, ainsi que les températures du digesteur.

Bien que l'exploitant ait régulièrement noté les productions, nous avons choisi d'établir ces graphiques en ne retenant que les valeurs relevées lors de nos visites périodiques.

Graphique 1 : cuvée N° 1 : production

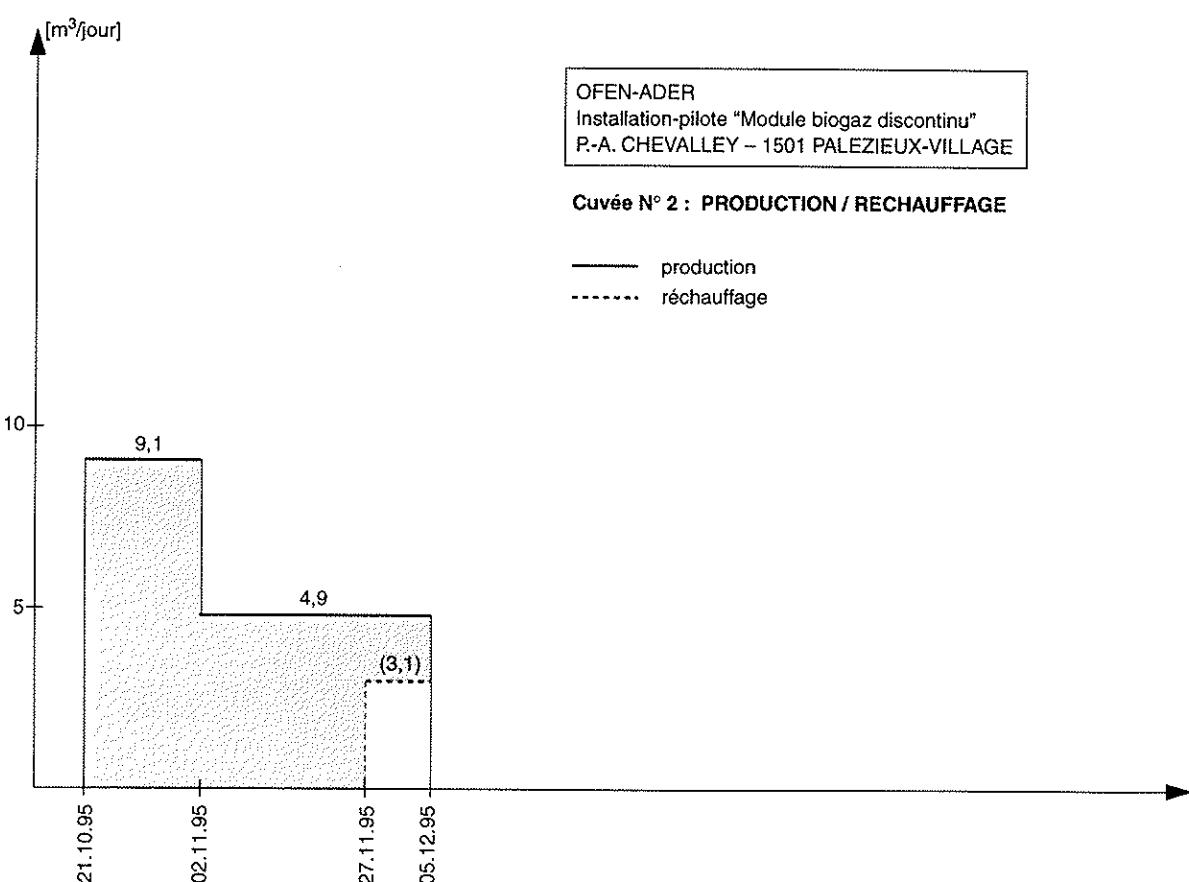
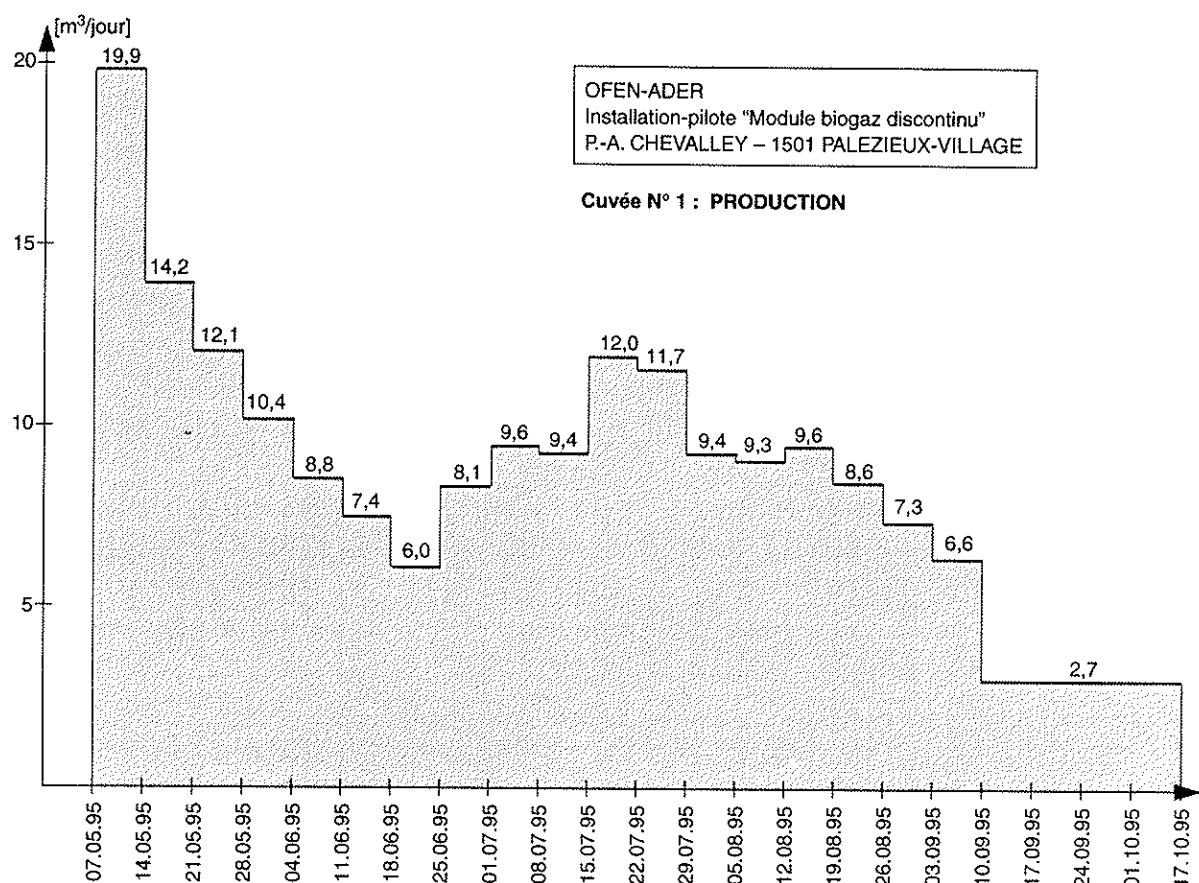
Graphique 2 : cuvée N° 2 : production / réchauffage

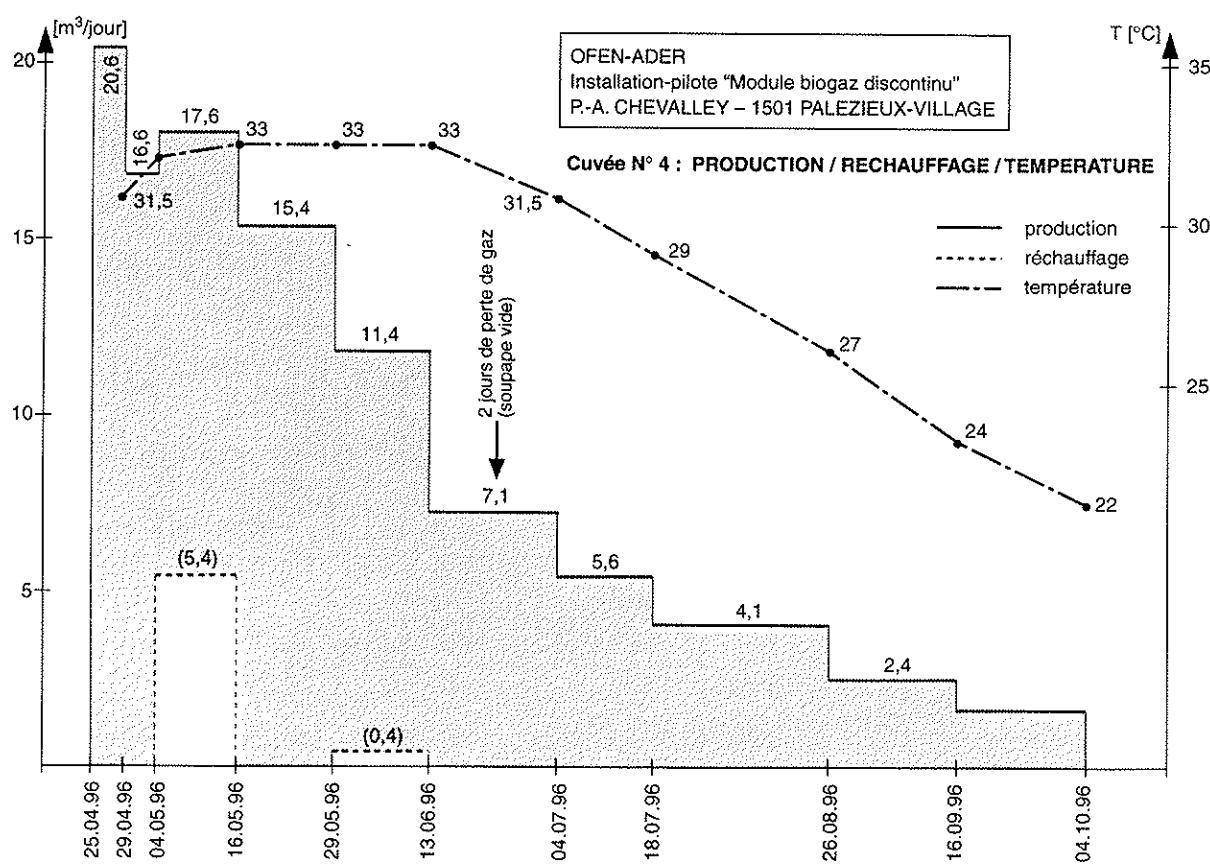
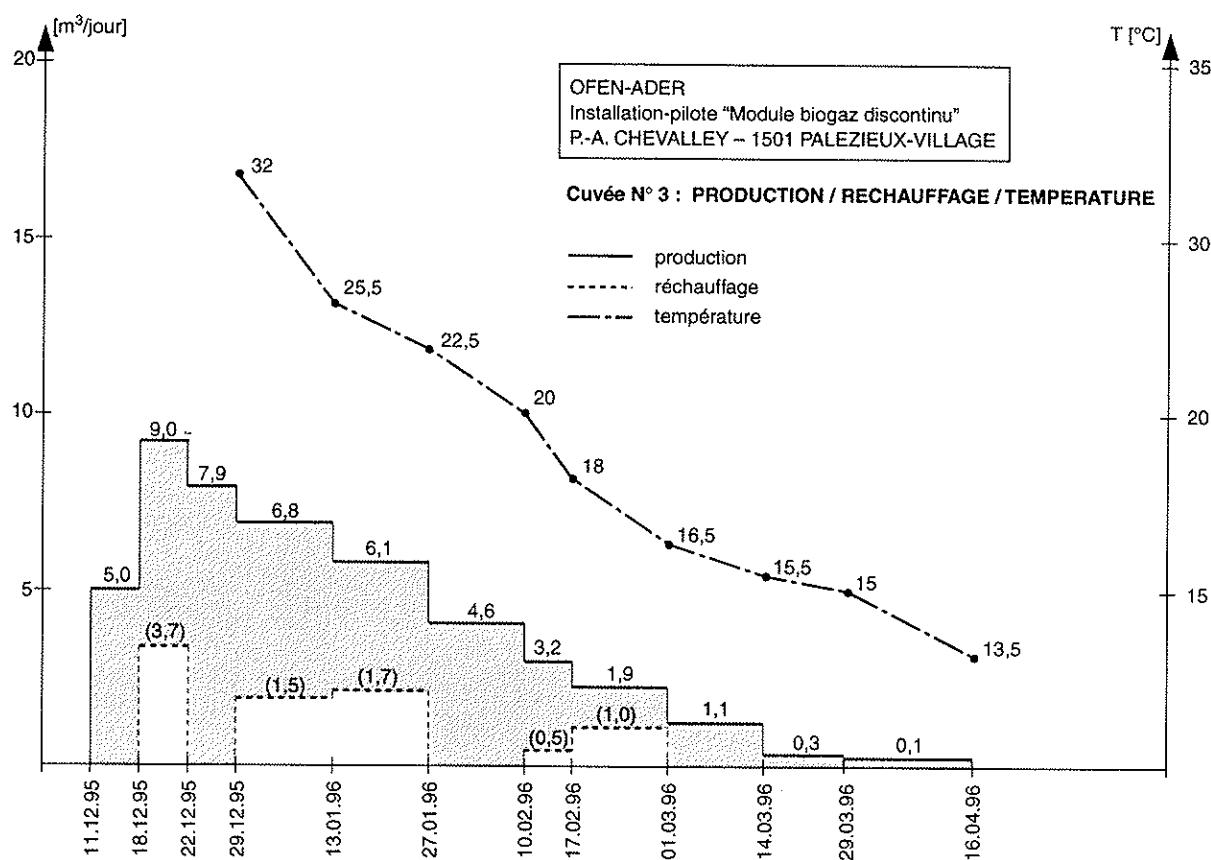
Graphique 3 : cuvée N° 3 : production / réchauffage / température

Graphique 4 : cuvée N° 4 : production / réchauffage / température

SUIVI TECHNIQUE POUR LE MODULE BIOGAZ DISCONTINU (ADER)

4





4.4 Productions spécifiques de biogaz

a) Rendement de conversion

Ce paramètre caractérise les performances d'un digesteur en fonction de la conversion de la matière organique en biogaz. Le tableau suivant présente les résultats obtenus sur le module ADER :

Cuvée N°	Production mesurée de biogaz [m ³]	Matière organique (M.O.) introduite [t] [*]	Production spécifique [m ³ biogaz / kg M.O.]
1	1357,697	7,14	190
2	222,427	5,0	44
3	478,188	— n. d.—	—
4	1214,038	11,91	102

* selon analyses ORLAB; estimation du volume et de la densité

n. d.: non déterminé

Par comparaison, les productions spécifiques enregistrées sur des installations en discontinu (source : "La méthanisation des fumiers", AFME-Paris, mars 1986) de référence, pratiquant le pré-compostage et l'immersion du fumier, atteignent la valeur de 320 m³ biogaz / kg de matière organique introduite.

Les analyses de matière organique effectuées sur des échantillons de fumier frais et digéré des cuvettes 1 et 4 (un seul prélèvement en début et fin de cuvée) donnent des résultats assez divergents (réduction de 6,15% pour la cuvée 1 et de 26,29% pour la cuvée 4) qui ne permettent pas de confirmer les taux de conversion en biogaz.

b) Production moyenne unitaire

Ce paramètre exprime la productivité journalière en biogaz en fonction de l'unité de volume du digesteur. Pour le module suivi, il est compris entre 0,15 m³/m³ réacteur · jour et 0,07 m³/m³ réacteur · jour (cuvée 1 et cuvée 3), avec une **moyenne** qui s'établit à **0,12 m³ biogaz/m³ réacteur · jour**.

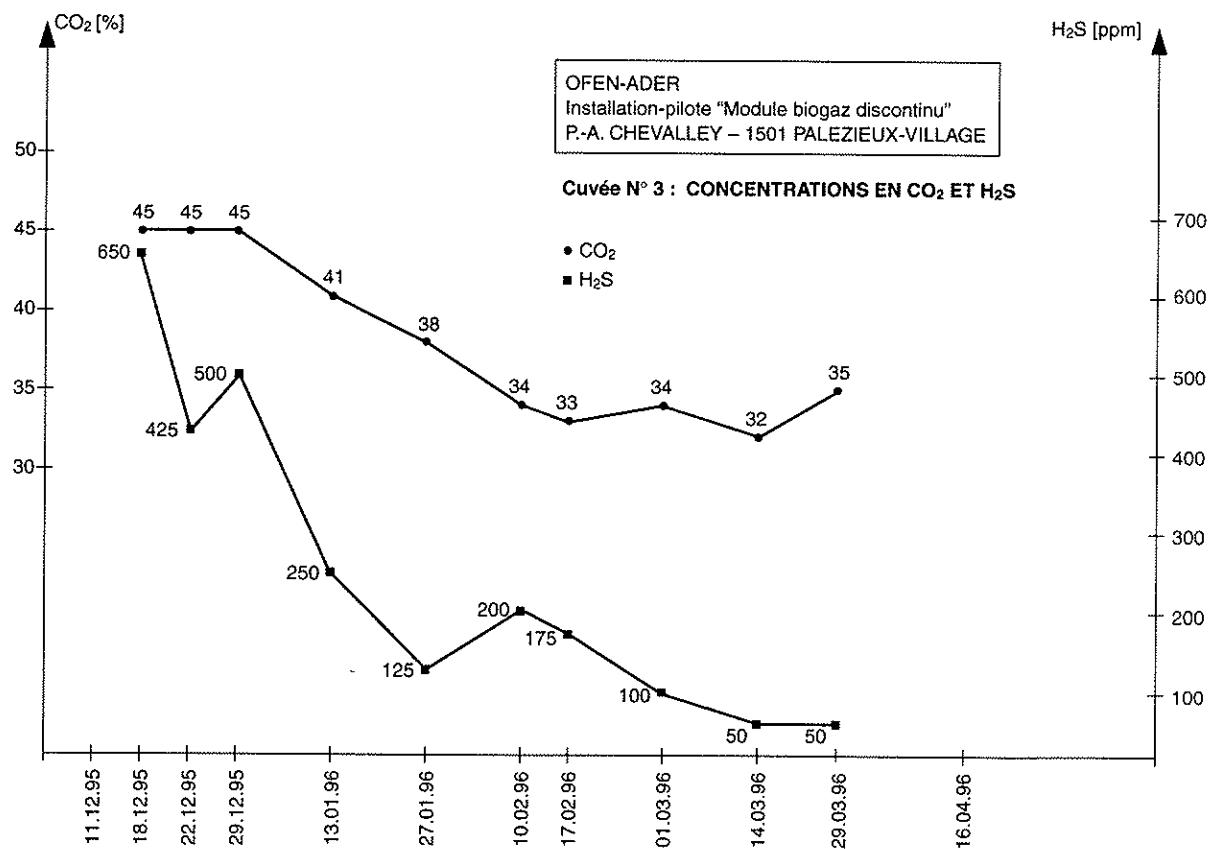
Ces résultats peuvent être comparés avec ceux des installations en discontinu déjà citées (ITCF/Boigneville et RAIMBAULT/Craon) ou à d'autres références plus récentes (CHABLOZ/Lully), fonctionnant toutes avec une phase de pré-compostage suivie de l'immersion du fumier, qui se situent entre 0,9 et 1,3 m³/m³ · j. Il faut cependant noter que ces performances ont été obtenues avec des temps de séjour nettement plus courts (35 à 45 jours). A titre de comparaison, le module ADER a réalisé sur 34 jours une production moyenne unitaire de 0,4 m³/m³ · jour, lors de la 4^e cuvée observée.

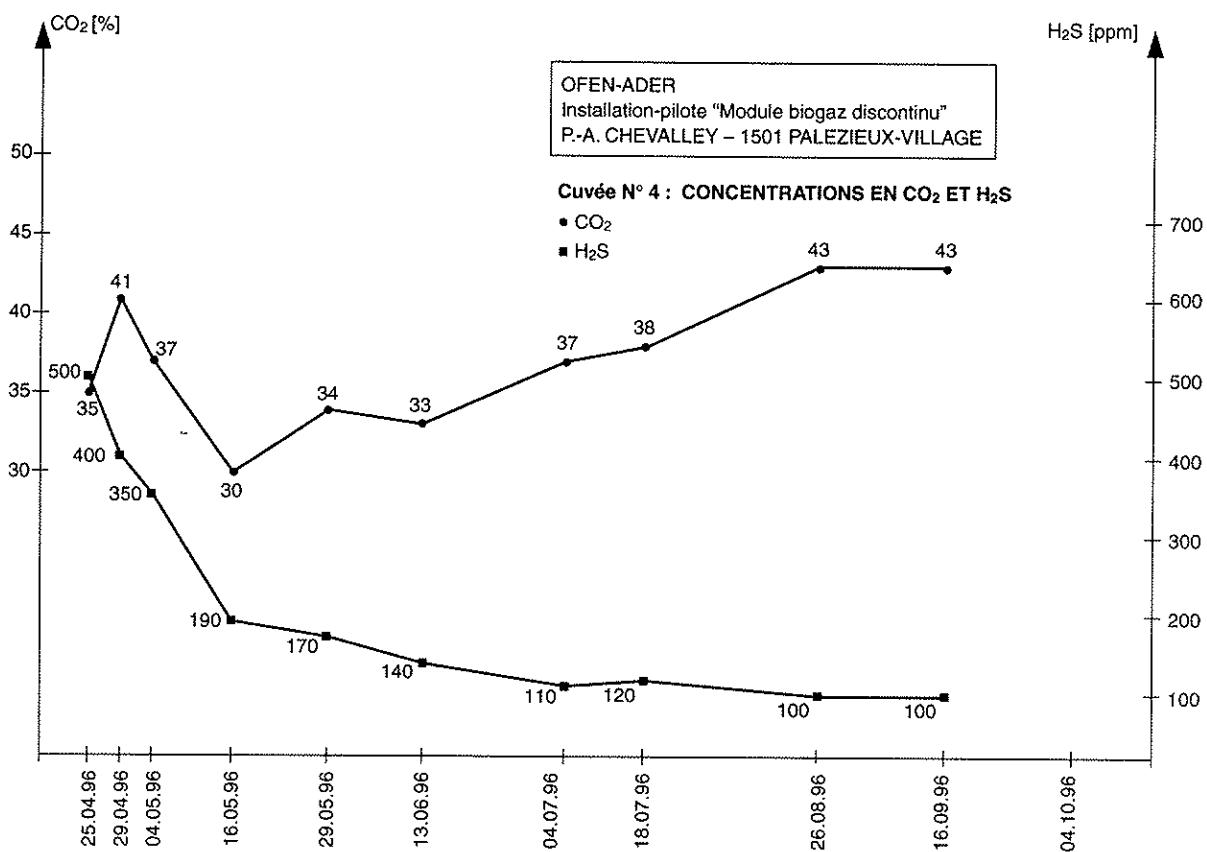
4.5 Composition du biogaz

Les graphiques qui suivent présentent pour les cuvées N° 3 et N° 4 les concentrations en gaz carbonique (CO₂) et en hydrogène sulfuré (H₂S) relevées lors des visites périodiques. Pour les cuvées N° 1 et N° 2, seules des analyses ponctuelles ont été effectuées; leurs résultats se situent dans les fourchettes des valeurs figurant sur les graphiques.

Graphique 5 : cuvée N° 3 : concentration en CO₂ et en H₂S

Graphique 6 : cuvée N° 4 : concentration en CO₂ et en H₂S





Par simplification, on peut admettre que la teneur en méthane du biogaz est de $100\% - [\text{CO}_2]\%$. C'est ainsi que les teneurs moyennes en méthane des cuvées observées sont :

- cuvée N° 3 : $[\text{CH}_4]$ moyenne = 62%
- cuvée N° 4 : $[\text{CH}_4]$ moyenne = 63%

Le pouvoir calorifique moyen du biogaz produit au cours du suivi se situe à environ 22,4 MJ/m³. Le contenu énergétique des 3270,350 m³ de biogaz produit au cours des 4 cuvées observées correspond environ à **73256 MJ (20351 kWh)**.

4.6 Données d'exploitation

Remplissage du module

Le temps de travail comportant la reprise du fumier depuis la place à fumier et le chargement du digesteur nécessite 3 à 4 heures de tracteur avec benne frontale (60 CV).

Vidange du module

Le temps de travail de décharge du module est de l'ordre de 2 heures. L'opération comporte : le dégagement de la porte, la récolte du purin s'écoulant de la masse digérée (environ 1000 l), la reprise du fumier et le chargement de la remorque. La durée d'engagement du tracteur est de l'ordre d'une heure.

En première approximation, on peut évaluer le coût énergétique des opérations de remplissage et vidange du module au cours des 4 cuvées observées à 2859 MJ (794 kWh).

4.7 Investissement

Les frais engagés pour la réalisation de l'installation-pilote sont constitués par :

- a) les fournitures (digesteur, radier [béton, armature, tout-venant], isolation, bâche, serpentin de chauffage, petit matériel, prestations J. Delafontaine), pour un total de Fr. 32'578.-, selon décompte établi par l'ADER le 30.07.1996.
- b) la main-d'œuvre engagée pour la mise en place et le raccordement du module. Ce travail a été estimé à 48 heures (2 hommes durant 3 jours) par M. CHEVALLEY. Au tarif de 20 Fr./h, tel qu'il est pratiqué pour les décomptes entre agriculteurs, les frais de main-d'œuvre peuvent être estimés à Fr. 960.-.

Au total, l'investissement constitué par cette installation-pilote est de **Fr. 33'538.-**.

Il convient toutefois de noter que cet investissement ne couvre que la partie "production" d'une installation de biogaz. Les coûts de la partie "utilisation" (stockage du biogaz, ligne biogaz y compris organes de sécurité, chaudière pour le réchauffage du module, équipements de valorisation du biogaz) devraient être ajoutés pour évaluer l'investissement d'une éventuelle future installation.

5. COMMENTAIRES

Les remarques qui peuvent être formulées à l'issue de cette campagne de suivi relèvent de trois domaines :

a) La conception de l'installation

Les performances observées sont conformes à celles déjà obtenues par des digesteurs de même conception, pratiquant la méthanisation des fumiers sans immersion du substrat. Comme l'ont confirmé plusieurs travaux et développements, l'optimisation de la digestion en continu de fumiers passe **obligatoirement** par l'immersion du substrat (permettant de recirculer et de réchauffer la phase liquide) et le précompostage de la partie solide. Le concept retenu par l'ADER en serait ainsi modifié.

La réalisation d'un digesteur hors-sol facilite les travaux de manutention du fumier lors du remplissage et de la vidange; de plus il permet d'éviter l'engagement d'une grue à fumier (indispensable pour des cuves de digestion enterrées). Toutefois, le temps de travail et donc les coûts d'exploitation ne sont pas réduits (0,129 h/m³ de fumier pour le module ADER hors-sol contre 0,103 h/m³ de fumier pour les digesteurs enterrés de l'installation-pilote OFEN – CHABLOZ/LULLY).

Le système de réchauffage incorporé au radier du module, n'ayant été utilisé que de façon épisodique, ne peut pas être évalué de façon définitive. Il y a cependant lieu de penser que son efficacité est très limitée, la masse de fumier n'étant pas favorable pour un transfert efficace de la chaleur.

b) La conduite de l'installation

La température constituant le paramètre déterminant pour le succès ou l'échec d'une cuvée, l'exploitant s'est efforcé de veiller à remplir le module de fumier en phase de compostage aérobio et dont la température était de l'ordre de 40° à 60° C. Dans certains cas, il a été nécessaire de recourir à des fumiers extérieurs à l'exploitation (cuvée N° 4 : $\frac{1}{3}$ fumier de cheval + $\frac{2}{3}$ fumiers de bovins et de moutons).

La conduite très extensive de l'installation (temps de séjour de l'ordre de 4 à 5,5 mois) correspond au mode d'utilisation du biogaz sur l'exploitation de la famille CHEVALLEY (cuisson et appont à un système de chauffage à bois). Les jugements qu'on peut porter sur les performances énergétiques de cette installation doivent absolument tenir compte de ce fait.

c) Bilan énergétique

L'analyse globale des résultats observés sur les quatre cuvées suivies permet de constater :

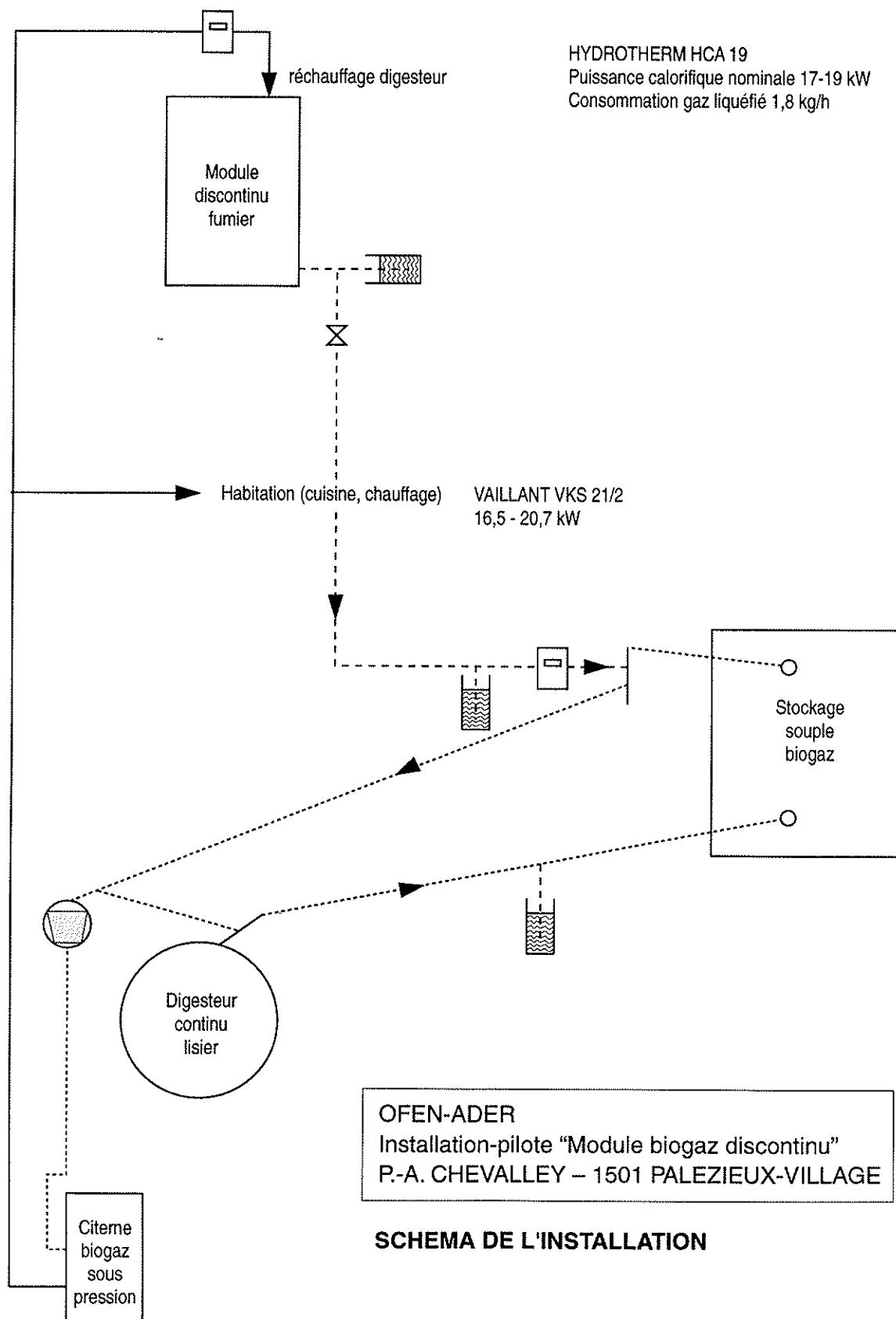
- i) que l'**autoconsommation du système de réchauffage** du module a absorbé **8,9%** du biogaz produit par les cuvées N° 3 et N° 4;
- ii) que l'énergie investie pour les **opérations de remplissage et de vidange** du module ne représente approximativement que 32 m³ par cuvée, soit **3,8%** du biogaz produit par les cuvées N° 3 et N° 4.

Nous remercions ici la famille CHEVALLEY pour son indispensable collaboration et le sympathique accueil réservé lors de chacune de nos visites, ainsi que Madame Marie-Hélène NODIN et Monsieur Jacques DELAFONTAINE (tous deux de l'ADER) pour leur coopération et les enrichissants échanges d'opinions.

Aclens, octobre 1996

ANNEXES

- Schéma de l'installation
 - Illustrations
 - Références bibliographiques
-



Illustrations

1. Digesteur sur radier en béton; porte amovible étanche et prise de gaz (19.06.1995)
2. Digesteur : détail arrière, raccord pour thermomètre, serpentin de chauffage dans le radier (19.06.1995)
3. Chargement de la cuvée N° 2 : le module sans porte (19.10.1995)
4. Chargement de la cuvée N° 2 : le module sans porte, détail (19.10.1995)
5. Tracteur équipé d'une benne frontale lors du remplissage de la cuvée N° 2; à l'arrière-plan, l'habitation de M. CHEVALLEY (19.10.1995)
6. Digesteur avec isolation : vue côté porte (02.11.1995)
7. Digesteur isolé avec bâche de protection; sur la gauche de la photo, la bâche protège l'abri technique (13.01.1996)
8. Vue du module en hiver; à droite en haut : la conduite aérienne conduisant le biogaz au gazomètre souple (10.02.1996)
9. Vidange cuvée N° 3 : enlèvement de la porte (16.04.1996)
10. Vidange cuvée N° 3 : collecte et reprise dans un puisard du purin s'écoulant de la masse digérée (16.04.1996)
11. Vidange cuvée N° 3 : vue du substrat après enlèvement de la porte (16.04.1996)
12. Vidange cuvée N° 3 : reprise du fumier digéré au moyen d'une fourche frontale (16.04.1996)
13. Remplissage cuvée N° 4 : vue du module avant fermeture (23.04.1996)
14. Remplissage cuvée N° 4 : nettoyage et graissage des joints d'étanchéité (23.04.1996)
15. Remplissage cuvée N° 4 : reprise de la porte, vue face intérieure (23.04.1996)
16. Remplissage cuvée N° 4 : mise en place de la porte (23.04.1996)
17. Remplissage cuvée N° 4 : mise en place des clavettes de fermeture de la porte (23.04.1996)



1



2



3



4



5



6



7



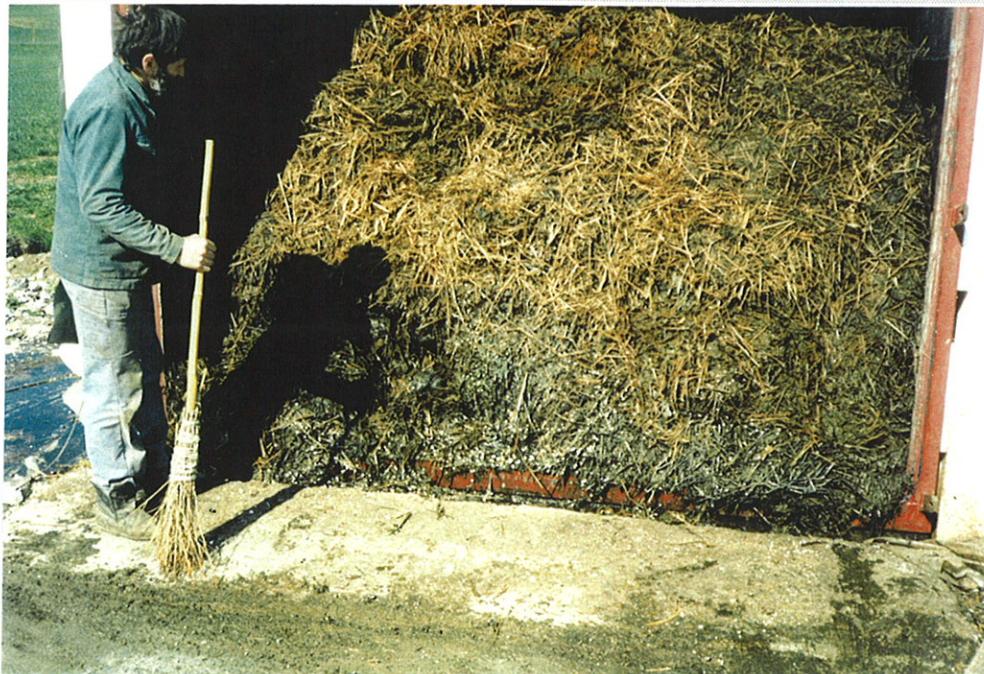
8



9



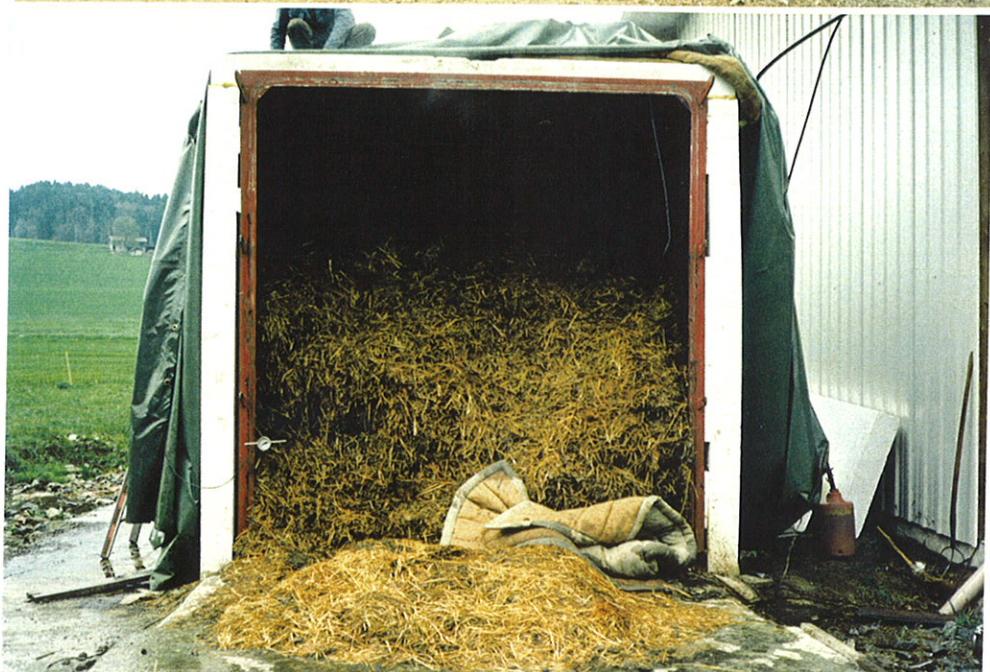
10



11



12



13



14



15



16



17

Références bibliographiques

- "La méthanisation des fumiers", Agence française pour la maîtrise de l'énergie (AFME), mars 1986.
- "Gaz de fumier", PREGERMAIN J., Institut technique des céréales et fourrages (ITCF), 1982.
- "Système modulaire de méthanisation en discontinu, phase 1 'Planification', rapport intermédiaire", EREP SA, Office fédéral de l'énergie, 30 mars 1990.
- "Système modulaire de méthanisation en discontinu, construction et exploitation de l'installation-pilote chez M. P. CHABLOZ – 1132 LULLY (VD), rapport final", EREP SA, Office fédéral de l'énergie, août 1994.
- "Expérience biogaz discontinu", ADER, DELAFONTAINE J., février 1993.
- "Projet biogaz", ADER, DELAFONTAINE J., NODIN Marie-Hélène, février 1995.
- "Suivi technique d'installations agricoles de méthanisation – Performances observées pour 53 installations", GIDA-Paris, décembre 1986 (non publié).