

Bibliothèque

LABORATOIRE DE MICROBIOLOGIE ORSTOM-ENSUT

(Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer,
Ecole Nationale Supérieure Universitaire de Technologie)

ENSUT - B.P. 5085 DAKAR SENEGAL.



RECHERCHE SUR LA PRODUCTION DE
METHANE ET DE COMPOST A PARTIR
DE DECHETS D'ABATTOIRS.

Cas des abattoirs de Dakar et Thiès

07/04/82
8940
E037-LEC

Anne PETITCLERC (AFME)
Stéphane LECLERCQ (ORSTOM)

JUILLET 1984.

Fonds Documentaire ORSTOM
Cote: **BT4568** Ex: **1**

Fonds Documentaire ORSTOM



010014568

METHANISATION DES DECHETS D'ABATTOIRS

SOMMAIRE

Introduction

Sigles et abréviations

1 - Contexte : les abattoirs municipaux

- 1.1 - Introduction
- 1.2 - Les déchets disponibles
- 1.3 - Les problèmes de pollution
- 1.4 - Les besoins énergétiques
- 1.5 - Le marché du compost
- 1.6 - Les orientations possibles

2 - Matériel et méthodes d'analyses

- 2.1 - Pilote de laboratoire continu
- 2.2 - Pilotes de laboratoire discontinus
- 2.3 - Pilotes discontinus de 4 m³
- 2.4 - Techniques d'analyses

3 - Caractéristiques des déchets et préparation du substrat

- 3.1 - Caractéristiques physico-chimiques
- 3.2 - Prétraitement des déchets
- 3.3 - Ensemencement

4 - Essais de fermentation : description et remarques

- 4.0 - Essai n° 0 : continu - 1,5 l - 37° - 5,5 % MS - Panses
- 4.1 - Essai n° 1 : discontinu - 2,5 l - 37° - 5,5 % MS - Panses
- 4.2 - Essai n° 2 : discontinu - 2,5 l - 37° - 11 % MS - Panses
- 4.3 - Essai n° 3 : discontinu - 2,5 l - 28° - 5,5 % MS - Panses
- 4.4 - Essai n° 4 : discontinu - 3,5 m³ - 25/30° - 14 % MS - Panses
- 4.5 - Essai n° 5 : discontinu - 1,5 l - 37° - 6 % MS - Fumier
- 4.6 - Essai n° 6 : discontinu - 1,5 l - 37° - 6 % MS - Fumier

Courbes

5 - Synthèse des résultats

5.1 - Durée optimale de fermentation

5.2 - Tableau des résultats

5.3 - Commentaires

5.3.1 - Influence de la température

5.3.2 - Influence de l'agitation

5.3.3 - Influence de la dilution

5.3.4 - Comparaison continu-discontinu

5.3.5 - Comparaison fumier-contenu de panses

6 - Conclusion

Bibliographie

Fonds Documentaire ORSTOM
Cote: Bx 14568 Ex: 1

Introduction

Ce rapport d'activité est essentiellement le compte-rendu du travail effectué au cours du premier semestre 1984 par Anne Petitclerc et Stéphane Leclercq, dans le cadre du laboratoire de microbiologie de l' ENSUT, régi par une convention ENSUT - AFME, et une convention ENSUT - ORSTOM.

Ce travail a été réalisé en totale collaboration, aussi nous n'avons pas jugé bon de rédiger deux rapports distincts, l'un pour l' AFME et l'autre pour l'ORSTOM, mais un seul rapport commun.

Suite à un inventaire des disponibilités en substrats fermentescibles au Sénégal réalisé par A. Petitclerc au cours du dernier trimestre 1983, nous avons choisi de travailler sur les déchets des abattoirs SERAS de Dakar pour différentes raisons :

- La disponibilité d'une source bien localisée de déchets à priori fortement fermentescibles, en quantité importante et facilement collectables.
- La production régulière de ces déchets tout au long de l'année.
- L'aspect polluant de ces déchets qui sont rejetés en mer (Baie de Hann) ou en pleine nature (Thiès).
- Les besoins en énergie importants de la SERAS.
- La possibilité de récupération d'un compost de bonne qualité permettant de valoriser les sols maraîchers avoisinant.

Pour ces raisons, auxquelles s'ajoutait une nette motivation de la direction de la SERAS, nous avons jugé qu'il s'agissait là d'une des sources de substrat méthanisable les plus intéressantes du Sénégal.

Nous avons donc commencé des essais en laboratoire pour évaluer la fermentescibilité de ces déchets d'abattoirs, et la production de biogaz que l'on peut escompter ; en parallèle, nous avons étudié le fonctionnement des abattoirs afin de connaître les possibilités d'intégration de la filière biogaz-compost.

Sigles et abréviations

A.F.M.E. : Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie.

C.E.R.E.R : Centre d'Etudes et de Recherches sur les Energies
Renouvelables au Sénégal

E.N.S.U.T. : Ecole Nationale Supérieure Universitaire de Technologie

I.R.A.T : Institut de Recherche Agronomique Tropicale

O.R.S.T.O.M : Office de Recherche Scientifique et Technique
d'Outre-Mer

S.E.R.A.S : Société d'Exploitation des Ressources Animales au
Sénégal.

M.S. : Matières Sèches

M.M : Matières Minérales

M.V.S : Matières Sèches Volatiles

A.G.V : Acides Gras Volatils

D.C.O : Demande Chimique en Oxygène

T.A.C : Titre Alcalimétrique Complet

N_{TK} : Azote Organique et Ammoniacal

1 - Contexte : les abattoirs municipaux

1.1 - Introduction

Les abattoirs municipaux sont, de façon générale, confrontés à plusieurs problèmes qui pourraient être en partie résolus par la fermentation méthanique. Il s'agit :

- D'un problème énergétique : les abattoirs sont de gros consommateurs d'eau chaude et de vapeur, et consomment également de l'énergie électrique.
- D'un problème de pollution : l'abattage des animaux produit de nombreux déchets, de nature variée. Ce sont les déjections des bovins parqués la nuit précédant l'abattage, les contenus des boyaux, le sang, les os, et tous les déchets divers (cornes, sabots, poils ...). Seuls les os font actuellement l'objet d'une récupération dans l'usine de farine d'os attenante à l'abattoir de Dakar. Tous les autres déchets sont soit entassés dans les terrains vagues avoisinant, soit rejetés à la mer. La pollution n'est pas encore considérée comme le problème le plus crucial du Sénégal, mais les autorités commencent cependant à s'inquiéter de l'aspect des environs de Dakar, ainsi que de la pollution marine, et il est probable que d'ici quelques années, la pollution engendrée par les entreprises soit taxée par l'Etat, comme elle l'est déjà depuis longtemps en Europe.

Devant l'étendue de ces problèmes, nous avons entamé une étude visant à évaluer la possibilité de traiter les déchets des abattoirs par la fermentation méthanique, qui présente le triple avantage de dépolluer les effluents et de produire un gaz combustible et du compost fertilisant, dans un pays qui manque cruellement d'amendement organique.

1.2 - Les déchets disponibles (cf Tableau I)

Ce sont, grossièrement :

- le sang : on en compte habituellement 20 litres par bovin. Il n'est pas à proprement parler disponible, puisqu'une usine de farine de sang existe et devrait fonctionner prochainement .

- les déjections bovines : les parcs de stabulation (au nombre de six pour Dakar) sont nettoyés périodiquement, et les fécès entassés dans un terrain vague. Les quantités sont de l'ordre de 1 à 2 kg par bovin.

- les contenus de panses, ou matières stercoraires, constituent un déchet extrêmement abondant. Une étude consistant à peser un grand nombre de panses a permis d'évaluer le poids moyen du contenu d'une panse de bovin au Sénégal, qui est d'environ 45 kg, ceci en poids de matière fraîche évidemment. Nous avons effectué une analyse de ce substrat, ainsi que du fumier et des eaux résiduaires. (cf tableau II, §3) Il faut simplement noter que ce déchet est à priori facilement fermentescible, puisque la panse des ruminants est naturellement le siège d'une fermentation méthanique. Compte-tenu de son abondance, nous avons donc centré notre étude sur ce déchet, quitte à y mélanger, plus tard, d'autres déchets comme le sang ou les fécès.

Il faut noter également que nous n'avons travaillé que sur les déchets de bovins, qui constituent la grande majorité des animaux abattus au Sénégal.

1.3 - Les problèmes de pollution

Nous nous sommes intéressés jusqu'à présent aux abattoirs de Dakar et de Thiès, situés l'un à proximité de la mer, et l'autre à l'intérieur des terres, ce qui crée des situations bien distinctes.

- A Thiès tout d'abord, le problème est relativement simple. Comme il n'existe pas de tout-à-l'égout, les eaux résiduaires - environ 15 m^3 par jour ouvrable - sont déversées dans la nature, et en l'occurrence arrosent le verger d'un voisin, qui s'en déclare satisfait. Les déchets solides, eux, et en particulier les contenus de panses, sont déversés manuellement dans des charrettes qui vont les entasser dans le terrain vague voisin. Tout ceci pose évidemment des problèmes cruciaux de salubrité. L'abattoir traite en moyenne 17 bovins par jour ouvrable, cela représente donc environ 700 kg de matières stercoraires par jour. Une cuve en béton avait été prévue pour les recueillir, de 10 m^3 , qui fut, on s'en doute, rapidement pleine.

- A Dakar, l'abattoir municipal traite en moyenne 200 bovins par jour ouvrable, et rejette donc environ 10 tonnes de matières stercoraires. Les panses et divers boyaux sont vidés manuellement dans l'égoût, puis lavés à grande eau, cette eau de lavage servant à entraîner le tout jusqu'à la mer, ainsi que les eaux provenant de la salle de saignée, relativement chargées de sang. En aval de ces deux salles, les déchets sont donc fortement dilués, mais l'aspect des eaux résiduaires est très variable dans le temps, le vidage des panses ainsi que le lavage se faisant plutôt par à-coups. On peut cependant calculer le taux de charge moyenne théorique de ces eaux : la consommation d'eau est de l'ordre de 130 m^3 par jour, et se retrouve intégralement dans l'égoût. La quantité de Matière Sèche rejetée est de 1650 kg environ (10 tonnes à 16,5 % de M.S.). Cela donne donc une concentration d'environ 12 g/l de M.S en moyenne. On voit que ce résultat est très différent de celui d'une analyse à un instant donné (cf tableau II)

1.4 - Les besoins énergétiques

Ce sont essentiellement des besoins en eau chaude. L'installation initiale de l'abattoir de Dakar comportait une chaudière au fuel, qui est maintenant inutilisable. L'eau chaude est actuellement obtenue en chauffant sur feu de bois, à l'extérieur, des fûts de 200 l posés sur des pierres. L'abattoir a donc réduit sa consommation d'eau chaude au minimum, et elle est d'environ 1 000 litres par jour, à 70-80 °C. La consommation de bois de chauffe est de 50 kg par jour, vendus 30 FCFA/ kg, ce qui représente un coût journalier de 1500 FCFA. Nous comptons démarrer à l'ENSUT dans les prochains mois des essais d'utilisation du biogaz pour chauffer de l'eau en grande quantité, afin d'évaluer la quantité de gaz nécessaire aux besoins de l'abattoir. On compte généralement une équivalence de 1 m^3 de biogaz pour 1,5 kg de bois, mais ce chiffre reste à vérifier. Cela donne cependant un ordre de grandeur des besoins en biogaz de l'abattoir : 35 m^3 par jour pour la production d'eau chaude.

La consommation en énergie électrique est, elle d'environ 2650 kWh par jour, dont 90 % pour le groupe frigorifique, ce qui représente une facture quotidienne de 175 000 FCFA/jour. D'après les équivalences utilisées habituellement (1 m^3 de biogaz pour 7 kWh), il faudrait 380 m^3 de gaz par jour pour couvrir cette consommation électrique.

1.5 - Le marché du compost.

La méthanisation ne produisant pas seulement du gaz, mais aussi du compost, nous nous intéressons également à l'intérêt qu'il pourrait susciter chez les maraîchers et les horticulteurs, en vue d'en cerner le marché potentiel, et d'en évaluer le prix de vente. D'ores et déjà, des contacts ont été pris avec des horticulteurs, qui démarrerons au cours de l'hivernage 84 des essais d'efficacité du compost de contenu de panses produit dans notre fermenteur discontinu de 4 m³ (modèle IRAT). Le marché semble à priori très vaste, car la pénurie de matière organique dans les sols est grave, mais il faut cependant être prudent, car de nombreuses expériences ont échoué (cf le compostage d'ordures ménagères) et créent, vis à vis des cultivateurs, des précédents fâcheux. Nous pensons toutefois pouvoir compter sur un prix de vente approximatif de 10 FCFA/kg.

1.6 - Les orientations possibles

La fermentation méthanique est un procédé de dépollution et de valorisation des déchets qui, techniquement et économiquement, peut revêtir des aspects très variés : du plus petit au plus grand, de l'artisanat à la technologie de pointe, tout dépend de la nature du déchet traité, des conditions socio-économiques locales, et des priorités déterminées par les demandeurs.

Nous avons donc entrepris des essais de fermentation qui tiennent compte de ces différentes options et devraient aider notre choix.

D'un point de vue technique, on peut distinguer deux procédés bien distincts : le procédé continu et le procédé discontinu.

- le procédé continu : le digesteur est composé d'une seule cuve de fermentation, dans laquelle on introduit régulièrement (tous les jours par exemple) une certaine quantité de substrat, et on extrait la même quantité de matière fermentée. La fréquence des alimentations et leur volume par rapport au volume de cuve définissent le temps de rétention.

Les inconvénients de ce procédé sont : la nécessité de travailler avec du substrat très dilué, d'où une plus grande consommation d'eau, un plus grand volume de cuve, et l'obligation de décanter puis sécher l'effluent fermenté pour récupérer le compost.

Les avantages sont : une production de gaz régulière, une manutention réduite si l'alimentation et l'extraction sont automatiques, la possibilité de traiter directement les eaux résiduaires, en utilisant les procédés de traitement des eaux, bien maîtrisés maintenant en Europe, et une augmentation de la charge volumique journalière car on évite les temps morts du discontinu (vidage, remplissage, et temps de latence de la fermentation).

- le procédé discontinu : la cuve de fermentation est remplie entièrement, puis fermée, et n'est vidée que lorsque la fermentation est terminée. Pour avoir une production de gaz régulière, on prévoit l'installation de plusieurs cuves, dont les cycles sont décalés.

Les inconvénients sont : d'importantes manutentions pour remplir et vider les cuves, qui imposent à la cuverie des temps morts de plusieurs jours.

Les avantages sont : une technologie plus simple et donc plus fiable, la possibilité accrue de faire appel aux entreprises locales pour la construction et la maintenance, une économie d'eau (la faible quantité d'eau nécessaire à la fermentation peut être prélevée dans l'égoût, mais le besoin d'eau pour entraîner les déchets solides est diminué) et donc de volume de cuverie, et la disponibilité quasi-immédiate d'un amendement organique de bonne qualité.

Dans les deux cas, on a la possibilité de chauffer les fermenteurs ou non, de les agiter ou non. Le stockage du gaz, lui aussi, peut faire l'objet de nombreuses options : poche gonflable, cloche métallique, unité de compression, etc

Au point de vue du dimensionnement, il y a également plusieurs possibilités :

Soit on choisit de minimiser l'investissement, et de ne traiter que ce qui est nécessaire aux besoins énergétiques de l'abattoir, soit on choisit la dépollution maximale, et donc le traitement de tous les déchets, avec exportation du gaz en surplus. Le compost serait bien sûr vendu dans les deux cas.

En fonction de toutes ces orientations, et pour permettre un choix en toute connaissance de cause, nous avons donc réalisé à l'ENSUT, au laboratoire, des essais de fermentation du fumier et de contenu de panse, en discontinu surtout, mais aussi en continu, en faisant varier plusieurs paramètres : la température, la concentration, le volume...

Les conditions opératoires et les résultats sont consignés ci-après.

Nous ne pouvons pas encore faire de dimensionnement précis, mais au vue de ces premiers résultats, nous présenterons en conclusion deux exemples sommaires de dimensionnement.

TABLEAU I : Récapitulatif des données pour une journée de travail

	Capacité (bovins)	Consommation d'électricité	Consommation de bois	Consommation d'eau	Fécès	Contenu de panses
DAKAR	200	2650 kWh	50 kg	130 m ³	400 kg	10 000 kg
THIES	17			15 m ³		700 kg

2 - Matériel et méthodes d'analyses

2.1 - Pilote de laboratoire en continu (schéma 1)

L'essai en continu a été réalisé dans un pilote de volume utile 1,5 litre, chauffé à 37°C par une sonde intérieure chauffante thermostatée, et agitée mécaniquement par intermittence 4 à 5 fois par jour (agitateur magnétique à 2 étages de 4 pales tournant de P à 50 tours/mn).

L'alimentation est faite en semi-continu, une fois par jour, par gravité, à l'aide d'un entonnoir, sous agitation vive.

L'extraction du substrat méthanisé a été faite par aspiration à l'aide d'une seringue de 50 ml.

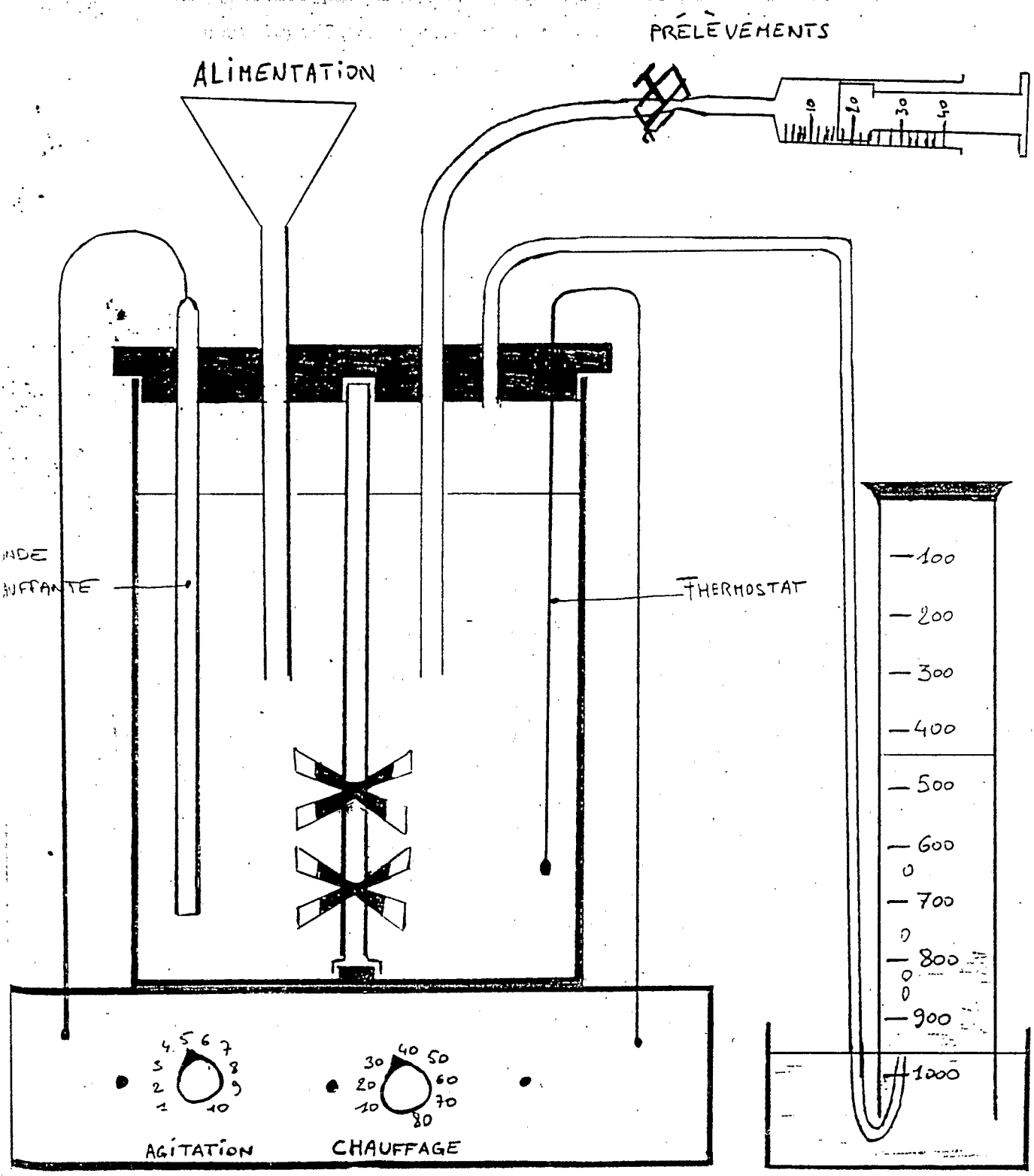
La quantité de gaz produit est mesurée dans des éprouvettes graduées plongées dans une solution acide de sulfate de potassium permettant d'éviter la solubilisation du gaz carbonique (acide sulfurique + K_2SO_4). Le volume de gaz est mesuré une fois par jour et les éprouvettes remises à zéro par aspiration du gaz avec une trompe à vide, après prélèvement du gaz pour analyse avec une seringue.

Sur ce fermenteur on a suivi régulièrement le pH, la DCO (brute et filtrée), le taux d'AGV, le TAC et la composition du gaz.

2.2 - Pilote de laboratoire en discontinu (schéma 2)

Les essais en discontinu au laboratoire ont été réalisés dans des pilotes de volume utile de 2,5 litres, chauffés à 28°C ou 37°C par bain-marie. Ces bains-marie sont chauffés et brassés par un bloc thermo-plongeur thermostaté, et muni d'une hélice de brassage. Le niveau est régulé par une réserve d'eau déminéralisée reliée au bain, au niveau choisi par la hauteur d'un tube de verre, et l'évaporation est limitée par un film de billes de polystyrène.

schema 1



FERMENTEUR 1,5 l.

GAZOMETRE

Les pilotes sont agités manuellement par rotation d'une hélice 2 fois par jour environ. Si cette agitation permet d'homogénéiser parfaitement le milieu 2 fois par 24 h, elle reste cependant imparfaite car la matière en suspension se remet en flottation entre ces deux agitations, surtout pour les faibles dilutions.

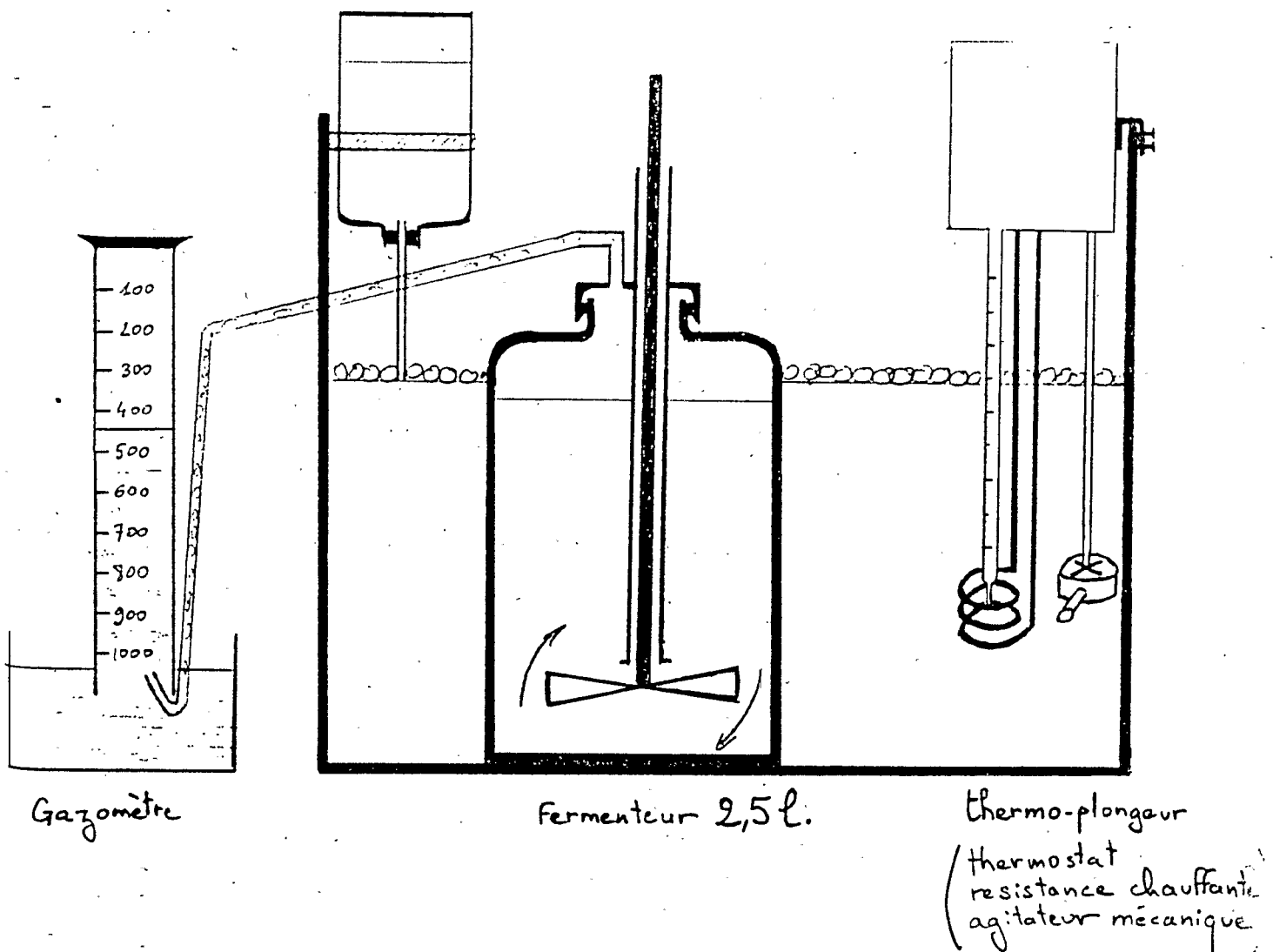
Le gaz est recueilli par le même procédé que pour le fermenteur en semi-continu.

Sur ces fermenteurs sont uniquement mesurés, pendant la fermentation, les volumes et composition du gaz produit.

FERMENTEUR DE LABORATOIRE EN DISCONTINU

Régulation du niveau d'eau

schema 2



2.3 - Pilotes discontinus de 4 m³ (schéma 3)

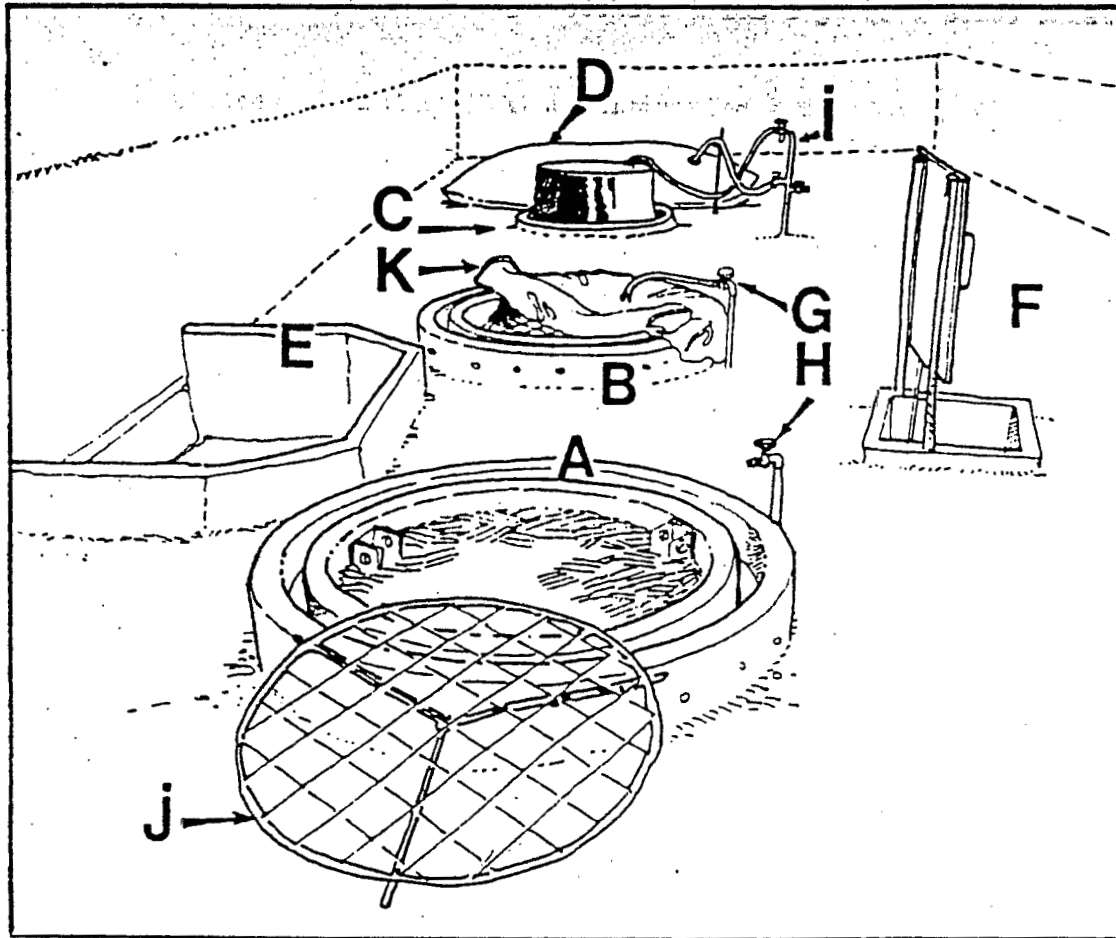
L'installation de fermentation du type rural de l'ENSUT comprend deux cuves de 4 m³ construites en ciment selon la méthode IRAT, un gazomètre cloche, un gazomètre souple de 6 m³ et des compteurs à gaz Schlumberger. Les cuves sont cylindriques, enterrées, d'une profondeur de 2 m et de diamètre intérieur 1,60 m. Elles sont recouvertes, l'une par une bâche souple, l'autre par un couvercle métallique, l'étanchéité étant assurée par un joint hydraulique.

Les fermenteurs ne sont ni brassés, ni chauffés et la température ambiante a avoisiné 25/30°C pendant les essais.

Au cours de la fermentation, seuls les volumes de biogaz produit ont été mesurés.

Malgré le peu de paramètres souples de ces fermenteurs, nous avons trouvé plusieurs intérêts à les utiliser dans le cadre de cette étude :

- Tester la technique la plus simple adaptable à des petites unités comme les abattoirs de Thiès, Saint-Louis ..., à moindre frais d'investissement, ces unités ayant une capacité d'épargne faible. On détermine la productivité en gaz de cette technique de base (volume de gaz par volume de cuve).
- Tester une motopompe d'irrigation à l'ENSUT et par extension connaître la consommation de moteurs ou groupes électrogènes fonctionnant au biogaz en fonction de leur puissance. A l'ENSUT, nous avons relevé des consommations de 1 à 1,5 m³/h suivant la qualité du biogaz pour une pompe de 5 CV débitant environ 15 m³/h d'eau.
- Tester le pouvoir calorifique du biogaz produit, pour chauffer de l'eau à l'aide de brûleurs adaptés aux fourneaux améliorés de type Ban-Ak-Suuf et comparer les résultats aux valeurs connues avec le bois (combustible actuel de la SERAS). Cet essai est programmé en collaboration avec le CERER à Dakar, pour septembre 1984.
- Tester la valeur agronomique du compost produit, par des essais comparatifs en horticulture. Ces essais sont programmés et démarrent en juillet 1984 avec la collaboration des "Jardins de France" à Dakar.



- A .. CUVL EN CHARGEMENT
- B .. CUVE VIDE
- C .. GAZOMETRE CLUCHE
- D .. GAZOMETRE BACHE
- E .. AIRE DE STOCKAGE
- F .. FANNEAU DE CONTROLE
- G,H .. CANALISATIONS DE DEPART DU BIOGAZ
- I .. "ARBRE DE NOEL"
(ARRIVEE, STOCKAGE ET DISTRIBUTION DU GAZ)
- J .. GRILLE ANTI-REFOULEMENT
- K .. BACHE DE FERMETURE ETANCHE A JUPES

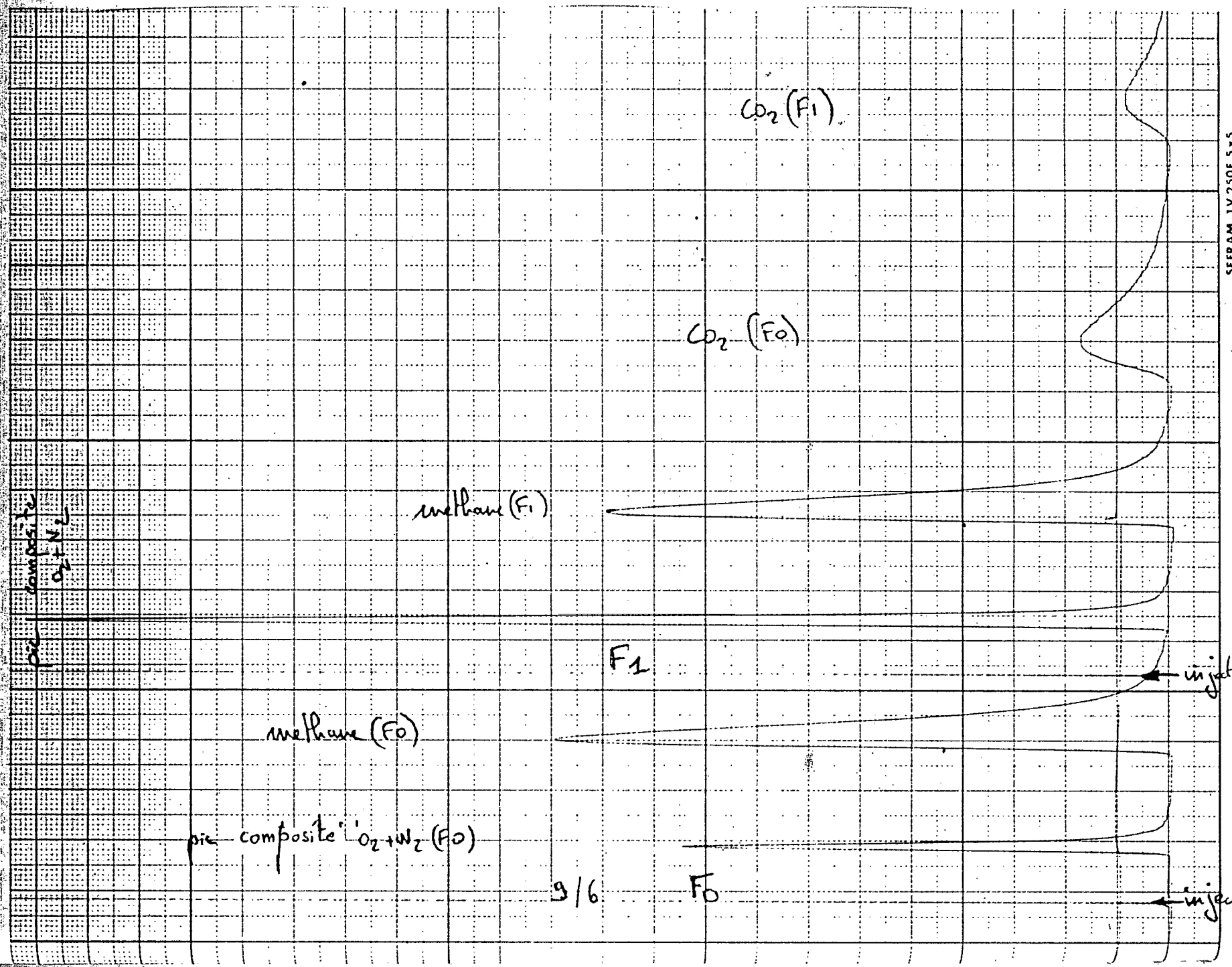
2.4 - Techniques d'analyses

- Matières Sèches (M.S) : Séchage à 105°C jusqu'à poids constant.
- Matières Minérales (M.M) : Calcination à 550°C pendant 1 heure.
- Matières Sèches Volatiles (MVS) : M.S disparues après calcination à 550°C pendant 1 h.
- Demande Chimique en Oxygène (DCO) : Méthode par oxydation des matières organiques au bichromate de potassium, à chaud en milieu acide, sous reflux, et dosage au Sel de Mohr.
- Azote Ammoniacal et Organique (N_{TK}) : Méthode du Kjeldahl, après une minéralisation de 7 h en milieu acide avec de l'eau oxygénée et du Sélénium, sur 10 ml de solution à 5,5 % de MS ou sur 0,5 g de compost sec.
- Titre Alcalimétrique Complet (TAC) : Mesure des Carbonates et Bicarbonates par dosage acide-base au pH-mètre.
- Acides Gras Volatils totaux (AGV) : Mesure approchée par dosage acide-base après ébullition à pH 3,5 de l'échantillon ayant servi au TAC.
- Composition du gaz en méthane, gaz carbonique et air (O₂ + N₂) par chromatographie en phase gazeuse dans les conditions suivantes :

Chromatographe Beckman GC 2120 à catharomètre
 Colonne acier inox 3 mm x 1,5 m remplie de charbon actif 80/100
 Gaz vecteur : Hélium
 Pression du gaz vecteur dans la colonne : 2 bars
 Température du four : 50°C
 Température de l'injecteur : 60°C
 Température du détecteur : 100°C
 Catharomètre réglé à 150 mA

ANALYSES DU SÉGÉZ
AU CHROMATOGRAPHE EN
PHASE GAZEUSE

(Fermantures 0 et 1 - le 9 juin 1974)



SEFRAM TV 250F 5x5

Département de Papier S. m. m.

Le pic composite d'air ($O_2 + N_2$) sort à 2 mn, le méthane à 6 mn et le gaz carbonique à 20 mn. Pour gagner du temps au cours des analyses, 2 analyses sont faites simultanément, les pics d'air et de méthane de la deuxième injection sortant entre le pic de méthane et celui de gaz carbonique de la première (cf figure 4).

1 ml de gaz est injecté. L'étalonnage est effectué en injectant des quantités connues des différents gaz purs. On mesure la hauteur des pics pour l'air et le gaz carbonique, et la surface pour le méthane.

3 - Caractéristiques des déchets et préparation du substrat

3.1 - Caractéristiques physico-chimiques

Les principales caractéristiques physico-chimiques des déchets solides et de l'égoût de l'abattoir de Dakar sont reportés dans le tableau II. On peut noter que différentes analyses du fumier et du contenu de panses ont montré une relativement bonne homogénéité dans les échantillons. Par contre la concentration en matières organiques et la composition chimique de l'égoût est variable suivant les flux d'eau lors du nettoyage des panses et des salles d'abattage. Les valeurs rassemblées dans le tableau II correspondent à un échantillon pris à un instant donné. On a vu en 1.3 que la concentration moyenne théorique est, elle, 2 fois plus importante.

Pour travailler en continu, il était nécessaire de diluer le contenu de panses. Pour certains essais en discontinu, nous avons voulu également procéder à une dilution. Nous avons jugé pratique de travailler avec une solution à 5,5 % de MS (soit 100 g de substrat frais pour 200 ml d'eau déminéralisée) pour l'essai continu, qui sera donc reprise pour les analyses physico-chimiques. Les chiffres de DCO et N_{TK} étant proportionnels à la concentration en MS, le rapport DCO/N_{TK} est donc le même pour le substrat frais que pour cette solution. Pour avoir un bon équilibre C/N et pour que les bactéries ne soient pas carencées en azote, il est nécessaire d'avoir un rapport DCO/N_{TK} inférieur à 350/5 (LETTINGA , 1980). Le contenu de panses ayant un rapport

TABLEAU II : Caractéristiques physico-chimiques des déchets

		Contenu de panses de bovins brut	Fumier de bovins brut
M.S.	g/kg	165	185
M.S.	%	16,5	18,5
M.M.	%	1,75	2,05
MVS	g/kg	147,5	164,5
MVS	%	14,75	16,45
N _{TK}	%MS	1,9	1,75
		Contenu de panses dilué à 100g+200ml	Egoût de l'abattoir de Dakar
M.S	g/l	56	5,9
M.S	%	5,6 %	0,59
pH		7,4	7,2
DCO _{brute}	mg/l	56 000	
DCO _{filtrée}	mg/l	3 500	2 100
N _{TK brut}	mg/l	1 250	365
N _{TK filtré}	mg/l	450	180
N _{ammoniacal}	mg/l	200	
DCO/N _{TK brut}		224/5 (45/1)	
DCO/N _{TK filtré}		40/5 (7,7/1)	60/5 (11,5/1)
TAC	mg/l	1 170	

M.S. : Matières Sèches

MVS : Matières Sèches Volatiles

M.M. : Matières Minérales

N_{TK} : Azote ammoniacal et organique

DCO : Demande Chimique en Oxygène

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

DCO/N_{TK} = 224/5, et le fumier ayant un rapport sensiblement identique, tous deux présentent un bon équilibre. La partie soluble du substrat avec DCO/N_{TK} = 40/5 accentue le fait que la dégradation ne sera pas limitée par la quantité d'azote. La quantité d'azote rapportée au taux de MS dans l'égoût est nettement supérieure à celle des déchets solides: ceci s'explique par le rejet du sang dans l'égoût, et pourra se révéler intéressant pour la valeur agronomique du compost obtenu.

Enfin, le contenu de panses dilué à 5,5 % de MS présente un TAC permettant de tamponner des taux d'AGV allant jusqu'à 600 mg/l (d'après LAGRANGE 1979). Cette valeur quoique relativement faible suffira à tamponner les acides gras volatils au cours des fermentations réalisées, la flore méthanigène étant bien adaptée.

3.2 - Prétraitement des déchets

Il consiste en un broyage du contenu de panse (pour l'essai en continu seulement : ce n'est nécessaire que pour l'extraction par seringue), et en différentes dilutions des substrats testés. D'après SPEYER, 1981, une bonne digestion anaérobie de la matière organique nécessite d'avoir un taux de MS inférieur à 15 %. D'autre part, il faut noter que le lavage des panses consomme déjà beaucoup d'eau, qui peut être réutilisée, dans tous les cas de figure, pour la dilution du substrat : ce n'est pas un élément limitant, contrairement aux installations de biogaz rural. Enfin, il ne faut pas oublier que si le taux de dilution doit être suffisant pour permettre une bonne dégradation de la matière, il doit cependant être limité car il influe sur la taille du digesteur et donc sur le coût de l'installation.

Ces trois remarques expliquent que nous ayons choisi de tester trois dilutions différentes en laboratoire et sur les fermenteurs de 4 m³. Nous avons travaillé à 5,5 % et 11 % de MS en laboratoire, et 13-14 % sur les 4 m³. Ceci nous permet de comparer les rendements volumiques et massiques pour chaque dilution.

3.3 - Ensemencement

L'ensemencement a été réalisé avec une partie du même substrat déjà fermenté précédemment pendant une période supérieure à 30 jours. Ceci a été fait dans le souci d'utiliser un inoculum adapté au substrat testé. En laboratoire, les fermenteurs discontinus ont été inoculés avec 6 % du volume de fermenteur (soit 150 ml). Sur les fermenteurs de 4 m³ on a recyclé un pied de cuve d'environ 200 l, soit 5 % du volume.

Dans les fermenteurs de laboratoire, l'inoculum a été intimement mélangé au substrat frais, ce qui n'a pu être le cas sur les 4 m³.

4 - Essais de fermentation : description et remarques

Le matériel et les traitements possibles du substrat ont été détaillés en § 2 et 3, aussi nous contenterons-nous ici de définir, pour chaque essai, les conditions opératoires choisies.

Les résultats seront consignés sur les courbes, pour chaque fermenteur, et rassemblés dans les tableaux III. et IV.

4.0 - Essai n° 0

Fermenteur continu Multigen - Volume utile 1,5 l - Température 37°C - Concentration 5,5 % de MS - Agitation intermittente.

A l'instant t=0, on a introduit dans le fermenteur :

- 700 ml de pied de cuve d'une précédente fermentation sur fumier
- 200 ml de contenu de panses dilué (100 g de Matière Fraîche + 200 ml d'eau : cf caractéristiques dans le tableau II)
- 700 ml d'eau déminéralisée

Puis, chaque jour, on effectue une alimentation en contenu de panses dilué, à raison de 50 ml/j jusqu'au 35^e jour, 75 ml/j ensuite, ce qui correspond à un taux de charge de 2,75 g de MS / l de cuve, et à un temps de rétention hydraulique de 20 jours.

On effectue en même temps une extraction de la même quantité, ce qui a permis de faire des analyses quotidiennes, dont les résultats se sont très vite stabilisés, pour donner les valeurs moyennes suivantes :

pH	DCO _f	DCO _b	TAC	AGV	% CH ₄
7,1	4,1 g/l	49 g/l	1,9 g/l	0,55 g/l	84

Remarques : - Il n'y a pas eu de problème d'acidification du milieu, le taux d'AGV restant stable et bas (problème fréquemment rencontré avec ce type de substrat). Au contraire, l'étape limitante semble être l'hydrolyse et la solubilisation des matières organiques, la DCO brute restant élevée et la DCO filtrée faible.

- La production moyenne de biogaz (cf tableau IV), qu'elle soit rapportée au volume utile de fermenteur ou au poids de MS, est faible, comparée aux productions habituelles trouvées dans la littérature avec ce genre de substrat (jusqu'à 2 l de biogaz / l de cuve utile / jour) et la matière organique n'est que faiblement dégradée.

Ceci peut s'expliquer de deux manières :

- l'expérience n' a pas duré assez longtemps pour atteindre un état stationnaire et une acclimatation suffisante de la flore. (Les temps d'adaptation sont souvent de l'ordre de 6 à 12 mois, et nous n'en sommes qu'à 70 jours).
- d'autre part l'éloignement de l'abattoir nous contraint à travailler sur du contenu de panse qui a été congelé, puis décongelé et dilué, et ce traitement doit détruire la flore active du substrat, au détriment de la production de méthane.

4.1 - Essai n° 1

Fermenteur discontinu - contenu de panse - 37°C - 55 % de MS -

Volume Utile : 2,5 l -

Le fermenteur est chargé avec 750 g de contenu de panses frais (soit 135 g de MS), 1500 ml d'eau, 50 ml de pied de cuve d'une fermentation de contenu de panse, et 100 ml de pied de cuve d'une fermentation de lisier, de façon à obtenir une flore aussi variée que possible. Le pH initial est de 7,3.

4.2 - Essai n° 2

Discontinu - Contenu de panses - 37 °C - 11 % de MS - Volume Utile 2,5 l-
Le fermenteur est chargé avec 1500 g de contenu de panse frais (soit 270 g de MS), 650 ml d'eau, et le même ensemencement que le fermenteur 1. Le pH initial est de 7,3.

Compte-tenu de la plus grande concentration de ce fermenteur, l'agitation est nettement plus difficile. Ce problème est important, car après chaque agitation on note une nette augmentation de la production de gaz.

4.3 - Essai n° 3

Discontinu - contenu de panse - 5,5 % de MS - 28 °C - Volume utile 2,5 l.
Cet essai est le même que l'essai n° 1, sauf pour la température qui est ici de 28 °C seulement.

4.4 - Essai n° 4

Discontinu - Contenu de panse - 14 % de MS - Température ambiante (25-30 °C)
Volume utile 3,5 m³.

Le fermenteur est chargé avec environ 3 m³ de contenu de panse frais (soit 525 kg de MS), 200 l de pied de cuve d'une fermentation d'un mélange contenu de panse + fumier, et 600 l d'eau, soit au total environ 3 500 l de substrat à 14 % de MS. Ce mélange a subi une préfermentation aérobie de 24 h avant fermeture de la cuve, ceci ayant permis une montée rapide de la température (environ 50 °C).

Ce fermenteur ne permet ni régulation de la température (qui est, en fait, assez stable à Dakar, entre 25 et 30 °C), ni agitation, ni analyse de gaz. Malgré le peu de contrôle possible de cette fermentation, on notera une bonne stabilité de la production de biogaz. Une analyse du compost obtenu est en cours, ainsi que des essais d'efficacité comme amendement organique des sols.

4.5 - Essai n° 5

Discontinu - Fumier - 37 °C - 6 % de MS - Volume utile 1,5 l -
(fermenteur Multigen utilisé en discontinu).

Le fermenteur est chargé avec 500 g de fumier frais provenant de l'abattoir de Dakar, 1 litre d'eau et 150 ml de pied de cuve provenant d'une fermentation sur lisier.

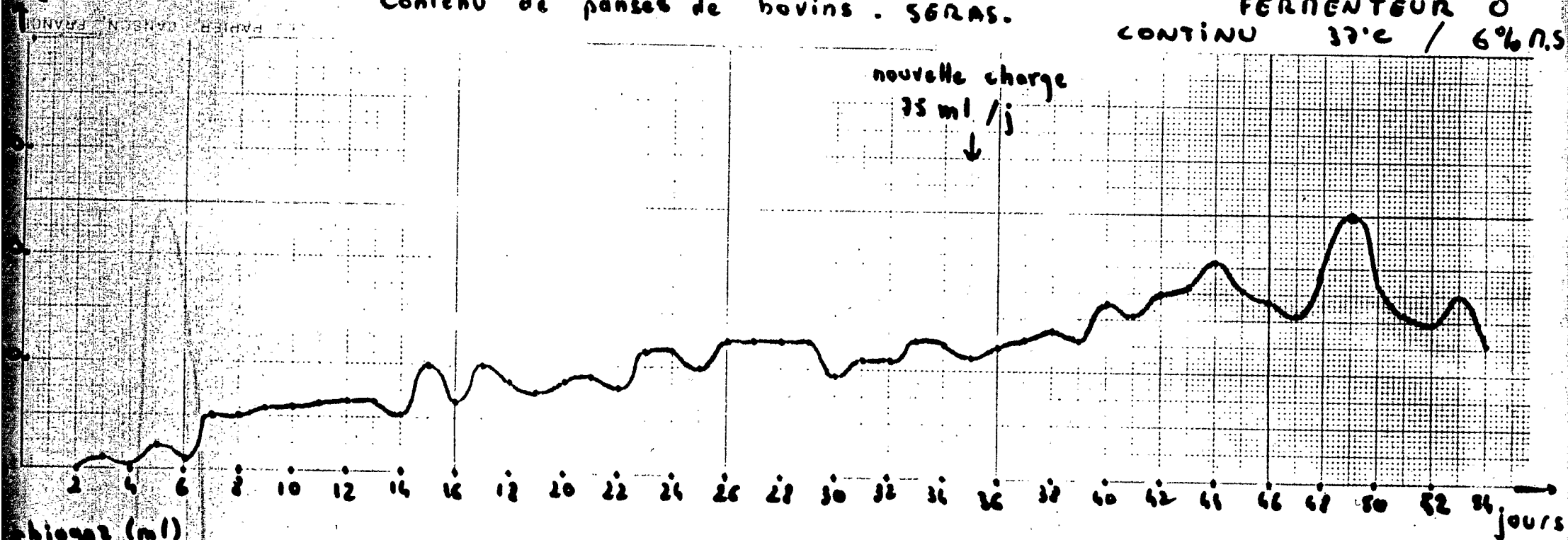
4.6 - Essai n° 6

Discontinu - Fumier - température ambiante - 13 % de MS - volume utile 4 m³
Le fermenteur est chargé avec environ 35m³ de fumier SERAS frais et 850 l d'eau, sans pied de cuve. On constate que la fermentation est plus longue à démarrer que pour le contenu de panse, mais cela s'explique par l'absence d'ensemencement initial.

ogaz (ml)

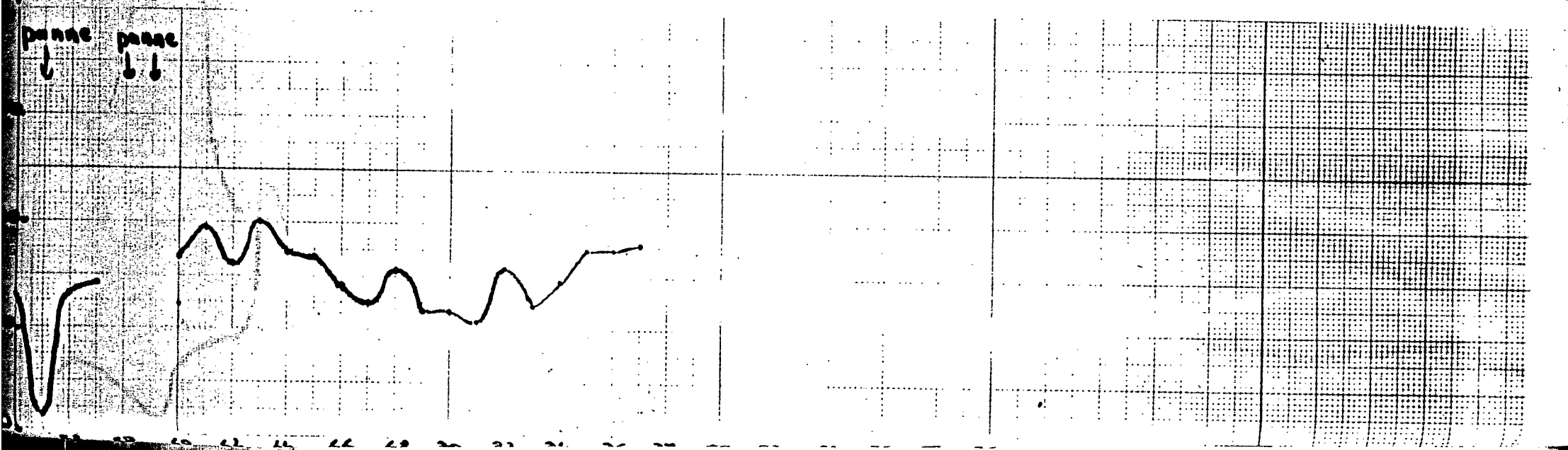
Contenu de panes de bovins . 5GRAS.

FERMENTEUR 0
CONTINU 37°C / 6% N.S



phioque (ml)

panne panne
↓ ↓



(ml)

Essais dis continus 1 et 5

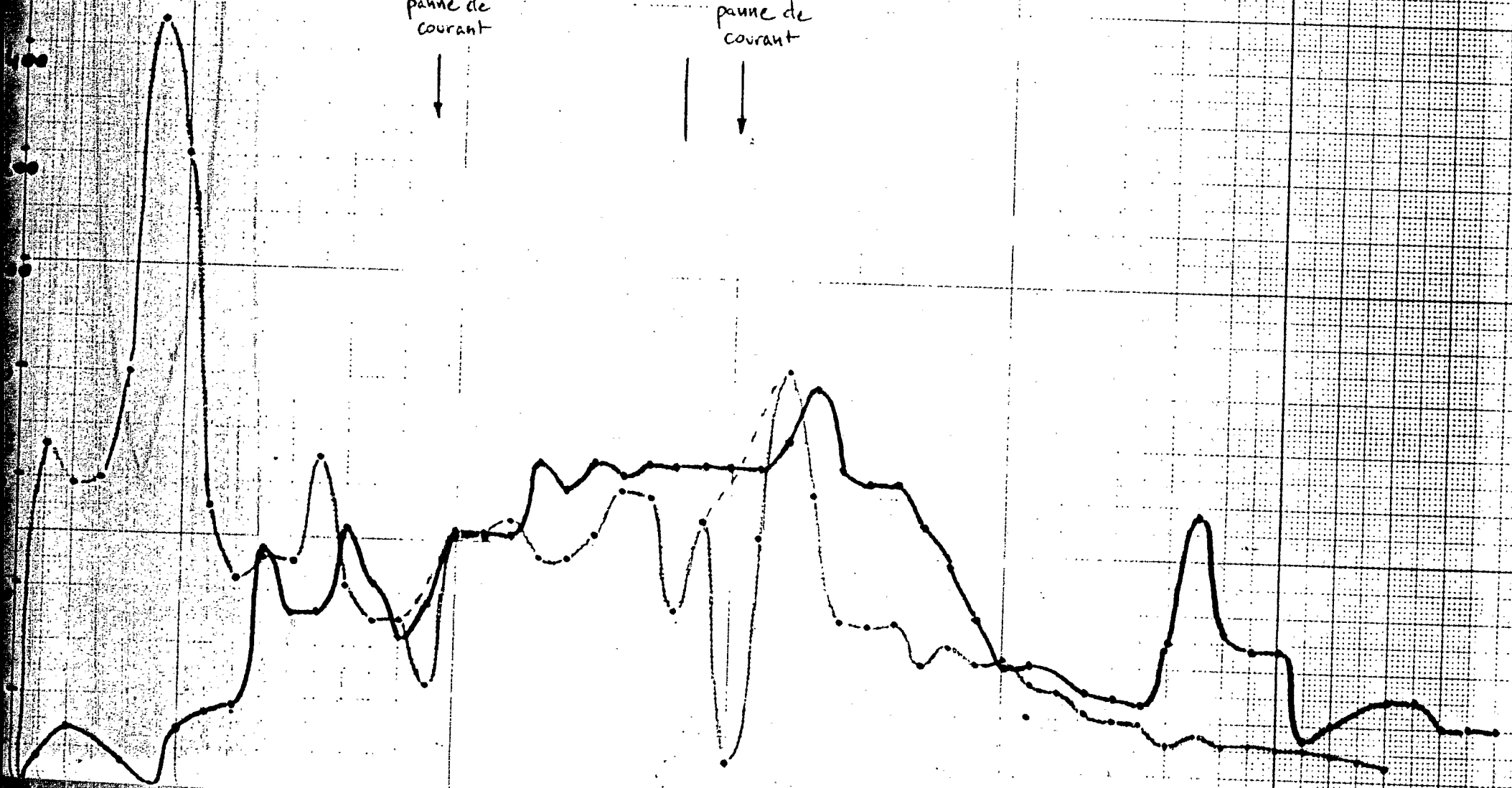
37°C - 5,5% MS

Contenu de panes (1)
Fumier (5)

contenu de panes:
panne de
courant
↓

contenu de panes:
panne de
courant
↓

Fermenteur 1
Fermenteur 5

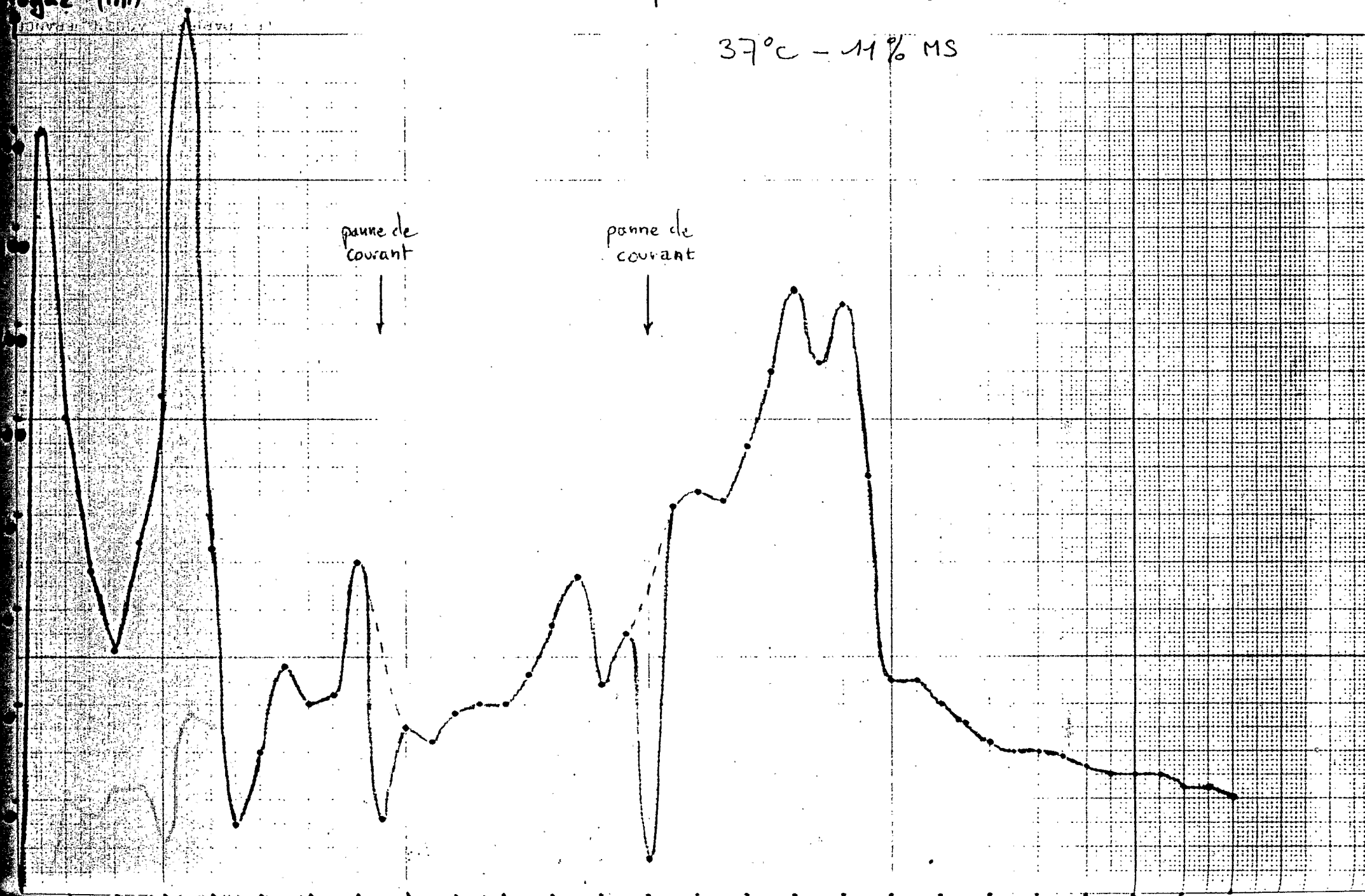


gaz (ml)

Contenu de panses de bovins - SERAS -

FERMENTEUR 2

37°C - 11% MS



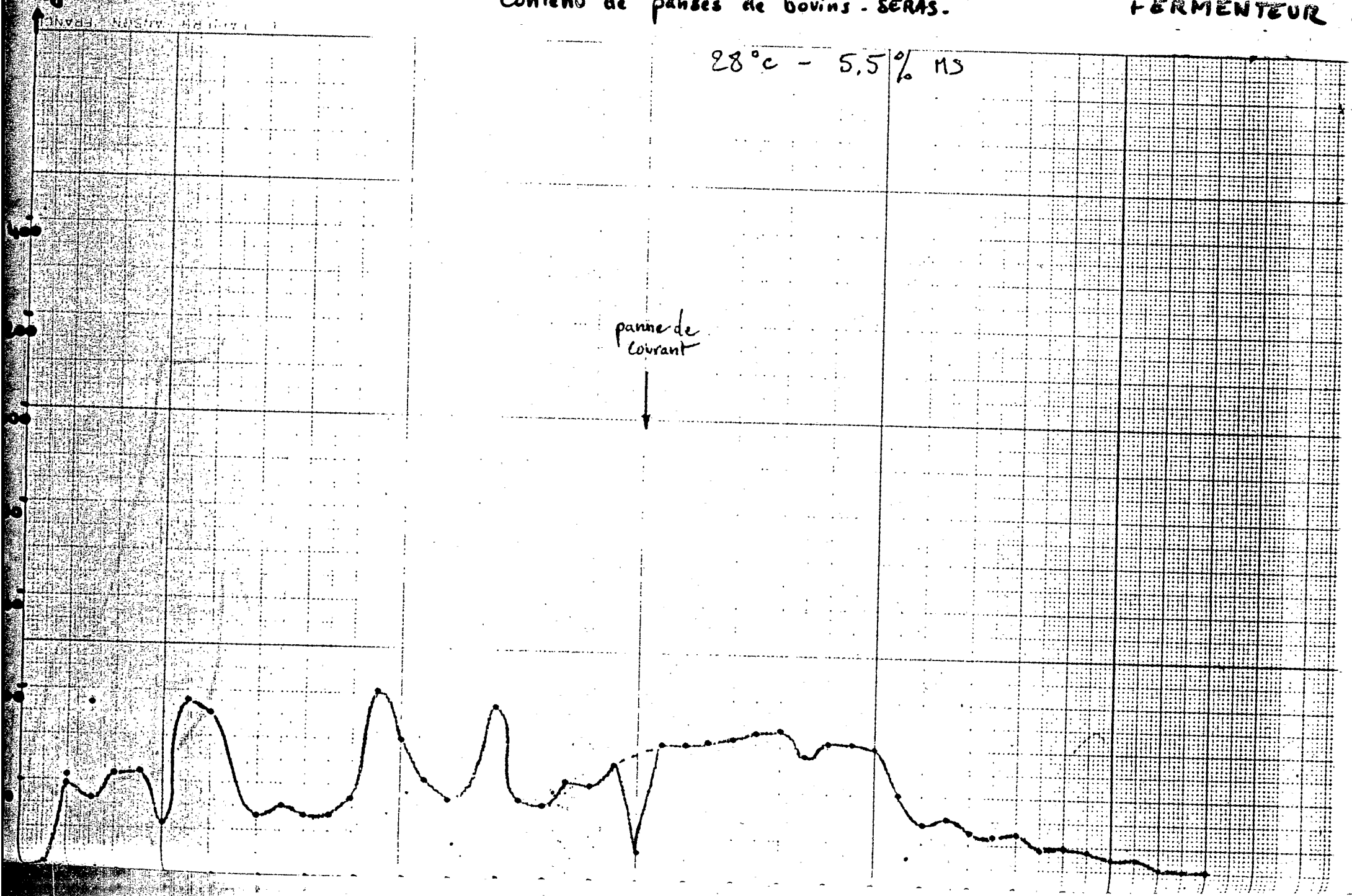
Biogaz

Contenu de pailles de bovins - SERAS.

FERMENTEUR 3

28°C - 5.5% MS

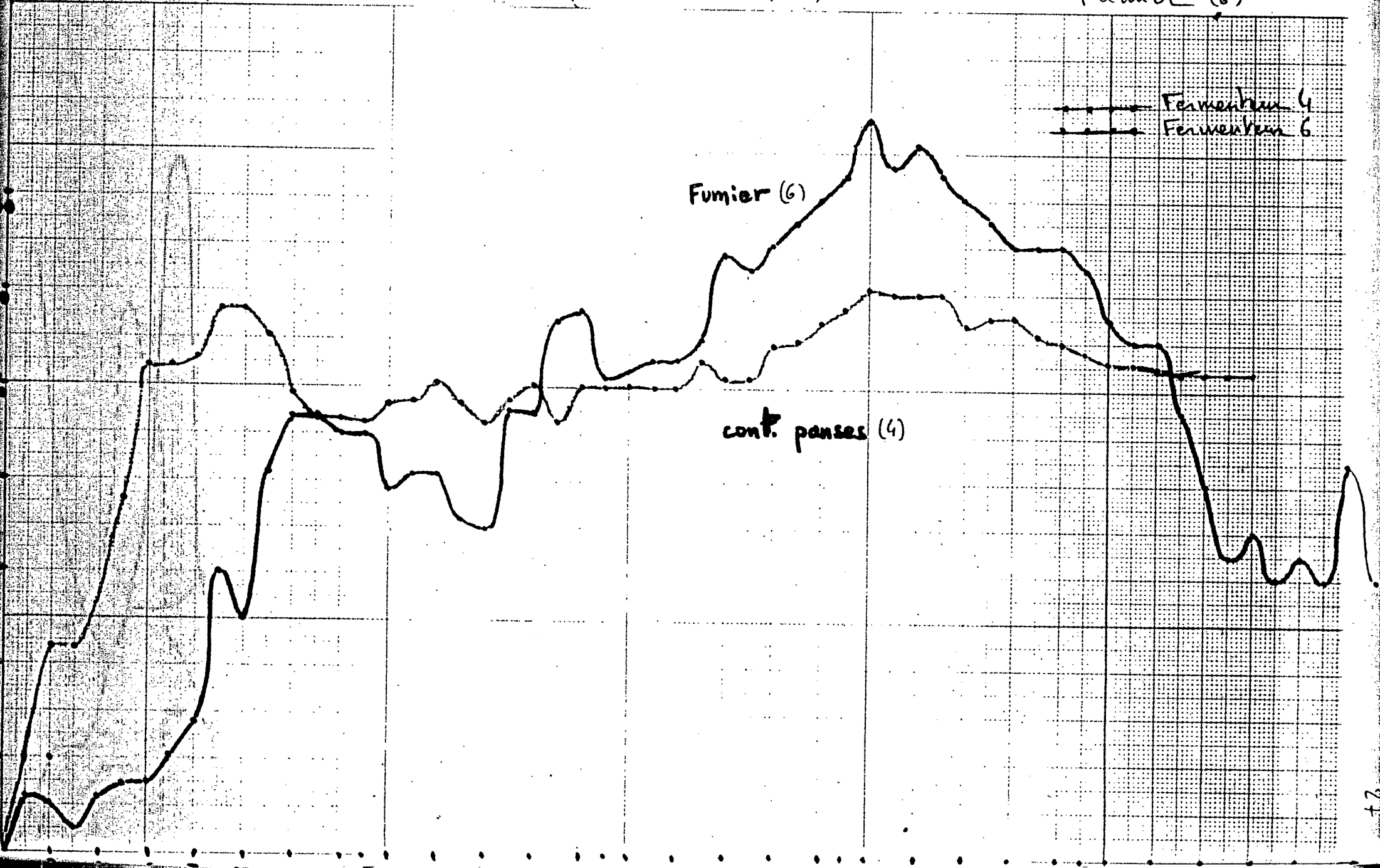
panne de courant



gaz (l)

Essais discontinus 4 et 6
(Fermenteurs 4 m³)

Contenu de pailles (4)
Fumier (6)

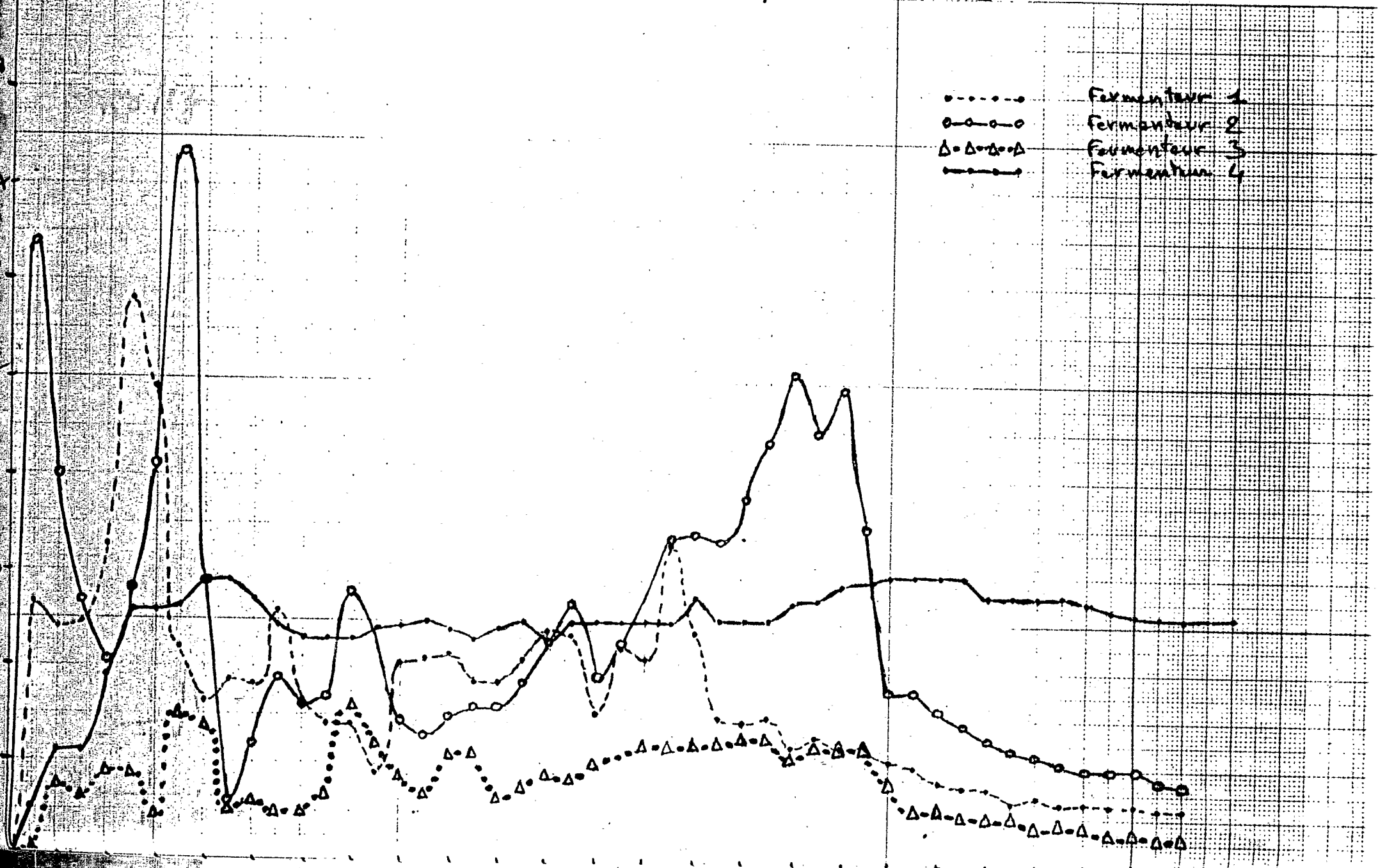


biogaz / fermentation

Essais d-continus 1-2-3-4

contenu de pauses SERAS

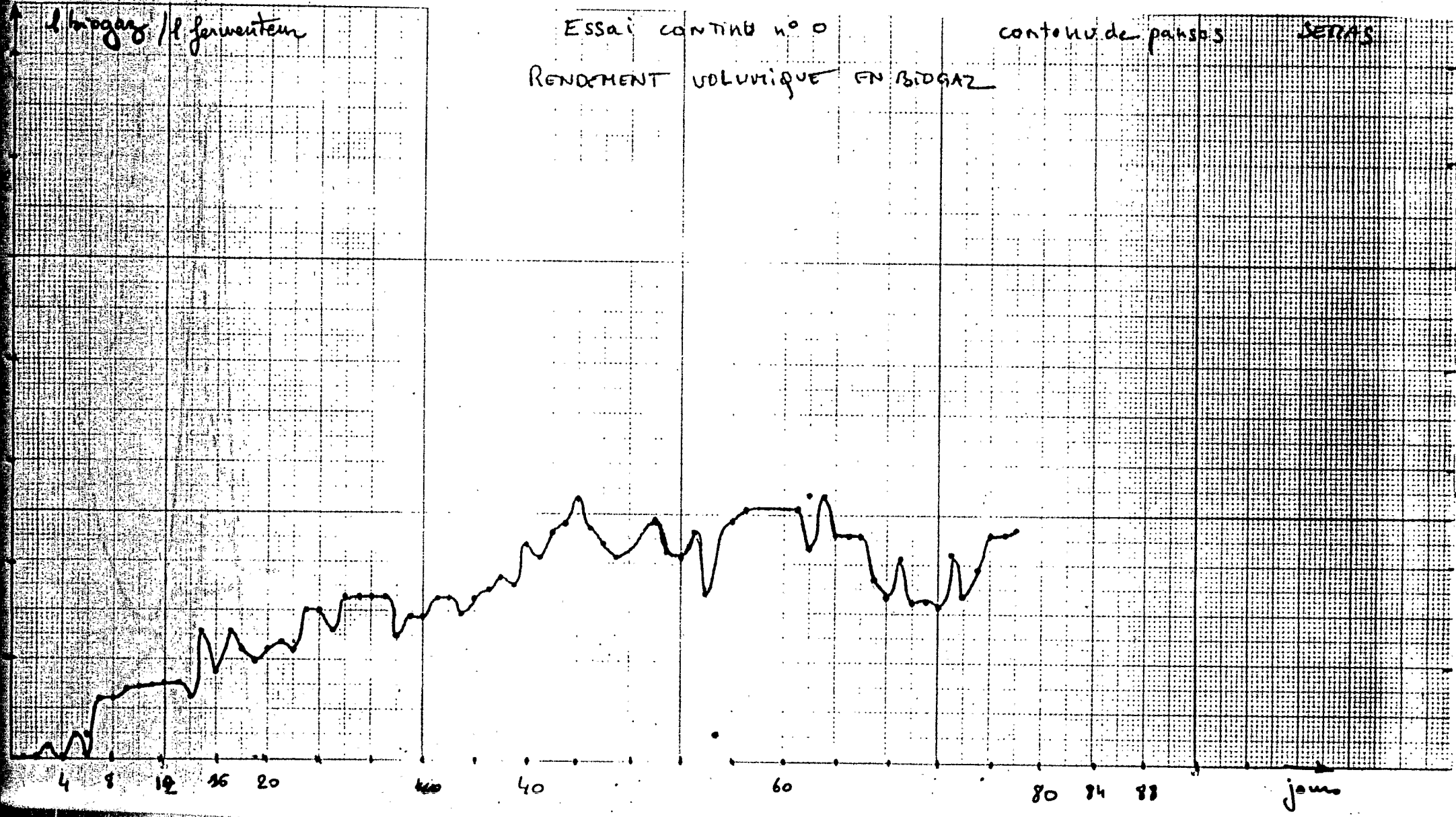
RENDEMENTS VOLUMIQUES EN BIOGAZ



l. biogaz / l. fermenteur

Essai CONTINU n° 0
RENDMENT VOLUMIQUE EN BIOGAZ

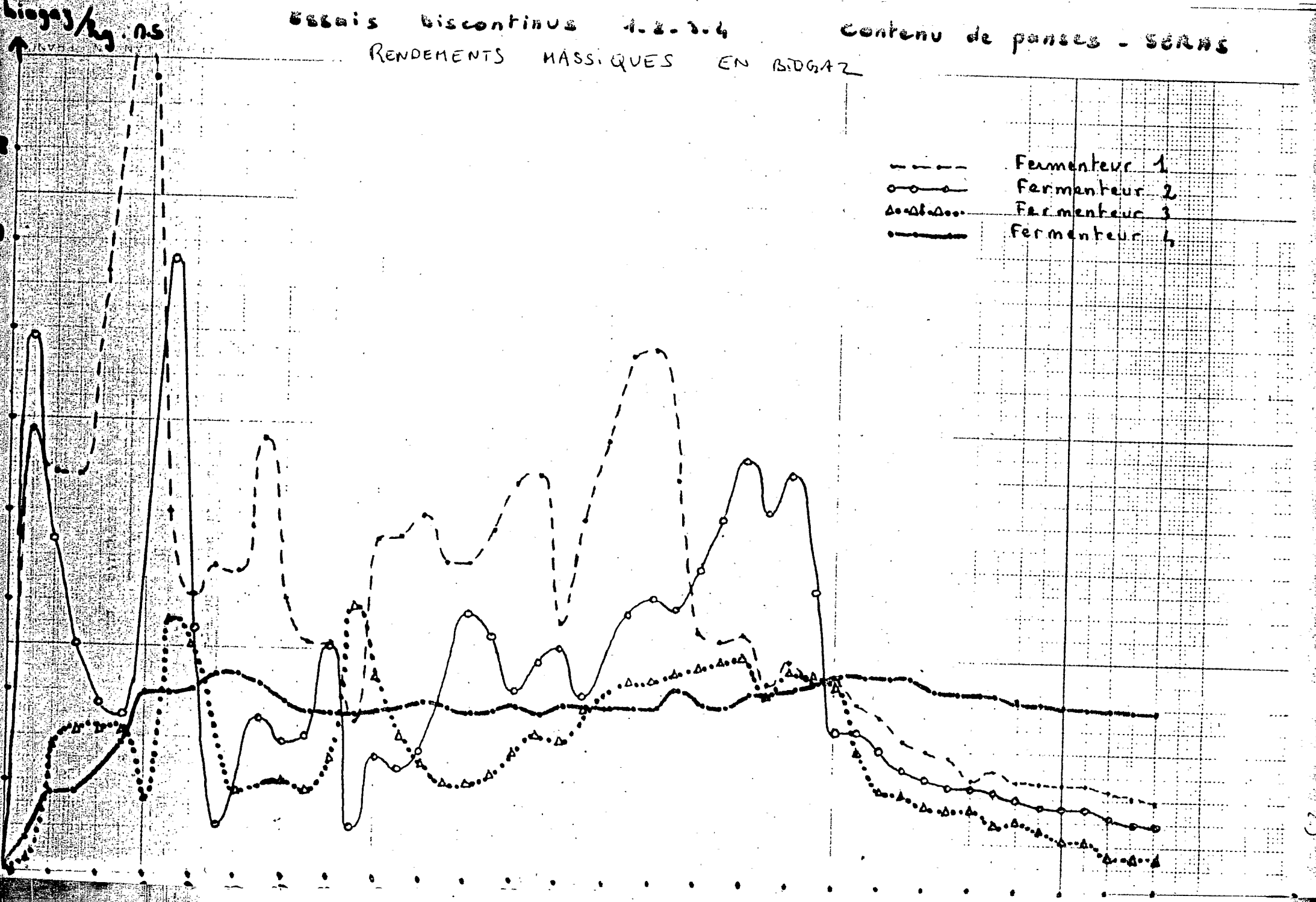
continu de pannes SERAS



Essais discontinus 1.2.3.4

Contenu de panes - seins

RENDEMENTS MASSIQUES EN BIOGAZ



5 - Synthèse des résultats

5.1 - Durée optimale de fermentation

A partir des résultats consignés dans le tableau III, on détermine la durée pour laquelle les rendements volumiques et massiques moyens sont maximum. Ceci définit la durée de meilleure rentabilité des cuves, pour un volume de cuve minimum, ceci avec cependant une durée minimale qui se situe aux environs de 30 jours.

On peut remarquer cependant que si le but recherché n'est pas d'optimiser les cuves, mais de produire un maximum de biogaz en fonction de la quantité de substrat disponible, on pourra augmenter le temps de séjour de 5 jours et le volume des cuves de 15 % sans pour autant avoir une baisse notable de rendement.

Tableau III : détermination de la durée optimale de fermentation

Fermenteur	20 jours		30 jours		40 jours		50 jours		60 jours		Durée Optimale	Meilleure Production moyenne
	Production totale	Production moyenne	Production totale	Production moyenne	Production totale	Production moyenne	Production totale	Production moyenne	Production totale	Production moyenne		
1	11,675	0,590	17,850	0,595	19,750	0,500	21,405	0,430	-	-	30 j	0,595
2	13,380	0,670	20,100	0,670	28,000	0,700	30,150	0,600	-	-	35 j	0,745
3	3,900	0,195	6,450	0,215	8,800	0,220	9,670	0,190	-	-	35 j	0,230
4	17 900	895	27 990	930	39 510	990	50 350	1 007				
5	6,540	0,325	13,470	0,450	17,640	0,440	20,250	0,405	-	-	35 j	0,460
6	10 610	530	21 245	710	35 285	880	47 485	950	53 890	900	50 j	950

Note : Toutes ces quantités sont exprimées en litres (productions totales) ou en litre/jour (Productions moyennes)

5.2 - Tableau des résultats

Pour chaque fermenteur on a noté dans le tableau IV, pour la durée optimale de fermentation définie en 5.1, les paramètres retenus pour interpréter la fermentation et les possibilités du substrat testé. On remarque que pour le contenu de panses la moyenne des résultats quotidiens d'analyses de gaz révèle un pourcentage très élevé de méthane. En fait il a pu y avoir au travers des tuyaux et dans les cloches à gaz un échange préférenciel entre l'air et le CO_2 plutôt qu'entre l'air et le méthane, puisque l'on retrouvait toujours 10 à 15 % d'air dans les échantillons analysés (par entrée d'air au travers des tuyaux, éprouvettes et seringues de prélèvement). Quoi qu'il en soit, même dans l'hypothèse la moins favorable, on a obtenu dans les fermenteurs un biogaz à plus de 70 % de méthane.

Tableau IV : Synthèse des résultats

Essai	Temps de rétention jours (1)	production totale litres	production moyenne litres/jour	% CH ₄ moyen (2)	Rendement vol. total l ³ biogaz / l ³ cuve	Rendement vol. moyen l ³ biogaz / l ³ cuve / j	Rendement mass. total l ³ biogaz / kg MS	Rendement mass. moyen l ³ biogaz / kg MS / j
0	20	-	0,350	85	-	0,23	85	-
1	30	17,85	0,595	89	7,15	0,24	130	4,4
2	35	26	0,745	90	10,4	0,30	96	2,75
3	35	8,05	0,230	90	3,2	0,09	60	1,7
4								
5	35	16,1	0,460	72	10,7	0,31	175	5,0
6	50	47 500	950	-	11,8	0,24	91	1,8

(1) : défini par la durée optimale de fermentation pour les essais en discontinu (1 à 6) et par le temps de rétention hydraulique pour l'essai en continu (0).

(2) : analyses effectuées quotidiennement

5.3 - Commentaires

5.3.1 - Influence de la température

L'essai n° 3 réalisé à la température minimale que retrouverait au Sénégal dans un fermenteur non chauffé, comparé à l'essai n° 1 effectué à 37 °C dans les mêmes conditions montre une nette différence de productivité en biogaz en faveur de l'essai à 37°C.

De même d'essai n° 2 (à 37°C) donne un meilleur rendement massique que l'essai n°4 (à environ 25-30°C). Toutefois pour ces deux essais intervenait une légère différence de concentration et d'agitation.

Nous estimons que, compte-tenu de la faible quantité de gaz nécessaire pour apporter une augmentation de température de 5°C dans les fermenteurs, il sera intéressant de prévoir un échangeur et une circulation d'eau chaude pour chauffer ceux-ci à environ 35°C. Si cette solution n'est pas retenue, on préconisera quelques jours de préfermentation aérobie du substrat de façon à en élever la température avant la fermentation méthanique.

Il faut remarquer que de fréquentes pannes de courant à l'ENSUT on provoqué des perturbations notoires de la température des fermenteurs de laboratoire. Ceci explique certaines variations journalières importantes dans la production de gaz. Ces journées ont été supprimées dans les calculs de rendements.

D'après Lagrange (Biométhane II), une variation de plus de 2°C est préjudiciable aux bactéries méthanogènes. On comprendra donc que ces pannes ont limité les rendements des fermenteurs de laboratoire. Il conviendra donc dans une installation de fermentation à la SERAS de limiter ces inconvénients en prévoyant une installation de chauffage au biogaz fiable.

5.3.2 - Influence de l'agitation

Lors de la fermentation des deux substrats testés, contenu de pannes et fumier de bovins, en laboratoire, la partie solide a tendance à être entraînée à la surface du fermenteur par les microbulles de biogaz produites. Ceci tend à former une croûte à la surface du fermenteur, croûte nuisible à la bonne évacuation du gaz.

Ceci a deux conséquences :

- par suite de cette accumulation de gaz, on observe une diminution de la surface d'échange entre les bactéries et le substrat.

- une partie du substrat se trouve en dehors de la phase liquide entre les 2 à 4 agitations quotidiennes .

Ces deux effets nuisent aux rendements de fermentation. Étant dans l'impossibilité technique de le faire plus de 2 à 4 fois par jour, le brassage obtenu a été fort utile mais les rendements peuvent être améliorés nettement par une agitation toutes les 1 à 2 heures sur différentes hauteurs du fermenteur.

On préconisera donc l'installation de brises-croûtes et d'agitateurs dans les fermenteurs.

Compte-tenu des pannes de courant et du défaut de brassage, on peut considérer que les résultats obtenus sont les résultats minimum que l'on peut obtenir. Ceci peut expliquer qu'ils soient légèrement en dessous de ceux trouvés dans la littérature.

5.3.3 - Comparaison continu-discontinu

Il convient d'abord de rappeler que, en continu, nous avons dû travailler sur du substrat congelé, ce qui a sûrement nuit à la vitesse de croissance des bactéries fermentatrices et ralenti le démarrage du fermenteur. Il faut noter également que l'acclimatation n'a duré que 80 jours ce qui est court pour un substrat difficile à hydrolyser.

Malgré cela, on aboutit après acclimatation à un rendement volumique, pour 5,5 % de MS, identiques pour les essais 0 et 1, soit environ 0,25 l biogaz / l fermenteur (voir courbes de rendements volumiques des fermenteurs 1-2-3-4 et du fermenteur 0).

L'hydrolyse de la matière organique étant le facteur limitant, un temps de séjour de 20 jours n'a pas permis une fermentation et une désodorisation complète du substrat. De plus, nous avons remarqué que les jours où nous ne l'avons pas alimenté, le fermenteur a produit sensiblement le même volume de biogaz. Ceci explique que l'on n'ait pour le même rendement volumique, à la même concentration en Matière Sèche, obtenu que 85 l de biogaz par kg de MS avec 20 jours de temps de séjour.

Il résulte

Il serait donc préférable de prendre un temps de séjour de 35 à 40 jours avec lequel pour un rendement volumique identique, on obtiendra un rendement massique de 150 l biogaz / kg de MS, soit sensiblement égal à celui obtenu en discontinu sur le fermenteur 1 (140 l biogaz / kg de MS en 35 jours).

D'autre part nous espérons améliorer les résultats en prolongeant l'essai sur 6 mois.

Ainsi les résultats des fermenteurs 0 et 1 avec un temps de séjour de 35 jours étant sensiblement identiques, le choix entre l'une ou l'autre technique se fera plus en fonction des paramètres d'installation :

- frais d'investissement (supérieurs en continu)
- frais de main-d'oeuvre (supérieurs en discontinu)
- complexité d'installation et d'utilisation ...

On remarquera, entre autre, que l'installation en continu devra comprendre un bac de décantation permettant de séparer le compost du surnageant.

5.3.4 - Influence du taux de dilution

La comparaison entre les essais 1 et 2 (respectivement 5,5 et 11 % de MS) montre deux différences entre les résultats obtenus pour ces essais :

- le rendement volumique en biogaz est supérieur pour l'essai n° 2 (10 l biogaz/ l de cuve) que pour l'essai n° 1 (7 l/l).
- le rendement massique, lui, est meilleur pour le fermenteur 1 (130 l/ kg) que pour le 2 (95 l/kg).

Ceci amène deux conclusions :

- Si le but recherché est de rentabiliser au maximum un faible volume de cuve (option choisie pour limiter l'investissement), on préconisera une dilution proche de 11 % de MS telle que pour l'essai n° 2.
- Si le but recherché est de produire un maximum de gaz, pour avoir l'autonomie énergétique complète de l'abattoir par exemple, on préconisera une dilution proche de 5,5 % de MS telle que pour l'essai n° 1; rentabilisant au mieux, en biogaz, la quantité de substrat disponible.

Ceci explique que l'on prévoit, dans notre aperçu de dimensionnement (cf § 6), deux types d'installation, correspondant à ces deux cas de figure, l'une en continu ou discontinu (cf 5.3.3) à environ 5,5 % de MS, l'autre nécessairement en discontinu à environ 11 % de MS. La puissance de brassage nécessaire sera plus élevée si on travaille sur substrat moins dilué, et la puissance de chauffe plus importante si on travaille sur substrat plus dilué.

6 - Conclusion

Tous ces résultats nous permettent de poursuivre notre travail, dans une optique plus éloignée du laboratoire (bien que certains essais restent à faire ou à confirmer), mais plus proche des réalités industrielles. En effet, pour savoir s'il est économiquement rentable de traiter les déchets des abattoirs du Sénégal par la filière biogaz-compost, il faut maintenant connaître les coûts des investissements et de la mise en oeuvre, le montant des économies réalisées, les débouchés de biogaz et du compost, et cela pour les différents cas de figure possibles.

Cette deuxième partie de notre étude sera réalisée au second semestre 1984 et au premier semestre 1985, mais nous pouvons d'ores et déjà, pour conclure, donner un aperçu très sommaire de deux cas de figure. Ces deux cas correspondent, pour en revenir à notre travail de laboratoire, à deux dilutions différentes du substrat : 5,5 % de MS et 11 %. Ils visent tous deux à traiter l'intégralité des contenus de panses de l'abattoir de Dakar, sans s'occuper des autres déchets (ce ne sont encore que des exemples :), mais dans le 1er cas, il s'agit de produire le plus de biogaz possible, et dans le 2nd, il s'agit de minimiser l'investissement initial nécessaire.

Le premier cas peut s'appuyer indifféremment sur un procédé continu ou discontinu (seuls des calculs économiques plus complets pourront faire la différence) et le second cas ne pourra être basé que sur un procédé discontinu, à cause de l'impossibilité de pomper un substrat aussi épais, (cf 5.3.)

TABLEAU V : aperçu de dimensionnement dans deux cas de figure

Paramètres	Premier Cas		Second Cas
Concentration en M.S.	5,5 %		11 %
Procédé	Continu	Discontinu	Discontinu
Rendement volumique moyen	0,25 l _{gaz} /1 cuve/jour		0,30 l _{gaz} /1 cuve/jour
Rendement massique moyen	4,5 l _{gaz} /kg _{MS} /jour		3 l _{gaz} /kg _{MS} /jour
Temps de rétention	30 jours		35 jours
Volume de cuve nécessaire	1 200 m ³		700 m ³
Répartition des cuves	1 cuve de 1200 m ³	8 cuves de 150 m ³	8 cuves de 90 m ³
Production journalière de biogaz (1)	300 m ³ /jour	260 m ³ /jour	190 m ³ /jour
Biogaz disponible par jour (2)	270 m ³ /jour	235 m ³ /jour	170 m ³ /jour
Equivalence énergétique approximative	50 kg bois + 1 650 kWh	50 kg bois + 1 400 kWh	50 kg bois + 950 kWh
Compost disponible par jour (3)	7 tonnes		7 tonnes

(1) : En discontinu, il faut compter que sur 8 cuves installées, seules 7 cuves produisent du gaz à un instant donné, à cause des temps morts de chargement-déchargement.

(2) : On compte ici une autoconsommation de 10 % du gaz produit pour le brassage et le chauffage.

(3) : On peut compter vendre ce compost entre 6 et 8 FCFA/kg, ce qui représente une recette quotidienne de 50 000 FCFA/jour.

35

Éléments de Bibliographie

- ARCHIPRETRE - INRA - 1983 - Méthanisation des déchets maraîchers
Etudes de laboratoire - 30 p.
- BIOMASSE ACTUALITES - Numéro spécial n° 2 - Janvier 1983 - Le biogaz -
- CASTAGNE M., GAUTIER F., MINE A., PROST C., VILLERMAUX J.- 1982 -
Fermentation des déchets et boues résiduelles provenant des
abattoirs. Institut National Polytechnique de Lorraine.
- COUSIN J.F - 1981 - Rapport de stage - Biogaz-compost : Bilan des
recherches et potentialité de la filière en Haute-Volta.
- DAVIDSON O.R - Biogas Application in Meat Processing Industry for
rural areas - University of Sierra-Leone - Freetown -
in : Energy Conservation and use of renewable energies in the
bio-industries 2 - p. 215-223 -
- DE FAVERI L., FRIPIAT J.L, NYNS E.S, NAVEAU H - 1983 -
Le traitement des sous-produits de l'abattoir par méthanisation.
Texte de la conférence de Melle de Faveri, donnée à Angers les
25 et 26 octobre 83, au symposium international intitulé
"Les sous-produits".
- GOMA G, FINCK J.D, DURAND G - 1981 - INSA Toulouse et Elf-bio recherches
Filières Biologiques de Production de Biocarburants -
in : Cahiers AFEDES N° 6 - 1981 - Photosynthèse - Biomasse -
Energie - p. 101-126 -
- LAGRANGE B. - 1979 - Biométhane tome 2 - EDISUD - 246 p.-
- LECLERQ S. - 1982 - Digestion anaérobie des effluents en industrie
agroalimentaire. - 132 p. -
- LETTINGA G. - 1980 - Anaerobic Digestion for Energy Saving and Production -
in : Energy from biomass - 1st E.C. Conference - p 264 -
- LINDAUER G.D, SIXT H. - Application of Recent Developments in Anaerobic
Waste Water Treatment to Slaughterhouses Wastes (Germany) -
in : Agrar und Hydrotechnik GMBH, Essen -
- MUSTIN M. - 1983 - Etude de Comparaison des Valorisations des Sous-
Produits Animaux , Le Cas de l'Afrique - Rapport de l'ARES -

40

- MUSTIN M. - 1984 - Déchets d'Abattoirs et Filières de Valorisation -
in : Energie et Environnement - Lettre d'information de l'asso-
ciation ENVIPACT - n° 12 - hiver 1984 -

- SPEYER P. - ARES - 1981 - Le Biogaz à la Ferme aux USA -
Editions du GRET - 162 p.-