

JJD/KG
E P U B L I Q U E D U S E N E G A L
P R I M A T U R E

CN0100416
POG5
FAY

1978 (121)

D E L E G A T I O N G E N E R A L E
A L A R E C H E R C H E S C I E N T I F I Q U E E T T E C H N I Q U E

ISRA - CNRA
Bibliothèque
BAMBEY

B I O - G A Z

P R O D U C T I O N D E M E T H A N E P A R F E R M E N T A T I O N
A N A E R O B I E D E L A B I O M A S S E
(C O M P O S T A G E E T P R O D U C T I O N D ' E N E R G I E)

Albert Diène FAYE

Rapport de stage encadré par J.J. DREVON
Division de Biochimie microbiologie des sols

Novembre 1978

Centre National de Recherches Agronomiques
de BAMBEY

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES

(I . S . R . A .)

AVANT PROPOS

Les études réalisées au CNRA de Bambey sur la fertilité des sols des régions Centre Nord et Centre du Sénégal, mettent en évidence l'importance de la fumure organique.

Mais les ressources en matières organiques restituables aux sols sont limitées * et de plus difficilement disponibles dans leur état actuel pour constituer une fumure organique ; les pailles brutes de mil sont difficiles à enfouir et des quantités importantes de fumier sont dispersées dans des parcours incultes.

Diverses particularités limitent de plus l'emploi comme fumure de ces matières organiques disponibles : les pailles brutes se décomposent lentement, leur décomposition mobilise des quantités importantes d'azote du sol au dépens de la plante, elle libère des acides phytotoxiques ; quant au fumier brut, très riche en graines, son application au sol multiplie le développement des mauvaises herbes.

Ainsi il apparaît important d'améliorer le conditionnement des matières organiques avant qu'elles soient retournées au sol et d'intensifier leur utilisation dans des circuits de transformation puis de restitution aux sols qui valorisent le travail supplémentaire engendré.

Dans ce contexte, la fermentation anaérobie méthanogène présente trois avantages :

Production d'énergie en zone rurale (le bio-gaz) utilisable sous forme calorifique, lumineuse, mécanique ou électrique (par substitution à l'essence dans des moteurs à poste fixe). On peut espérer jusqu'à 300 m³ de bio-gaz par tonne de matière sèche et par mois,

. Mode de compostage de la matière organique, avec pertes limitées d'azote gazeux.

. Intensification de l'association agriculture-élevage, la fermentation de la matière organique après qu'elle ait transité dans l'animal, valorisant d'autant plus la collecte des pailles et donc une utilisation accrue des pailles pour l'alimentation du bétail.

* "Eléments pour une étude des apports de matière organique aux sols dans le bassin arachidier du Sénégal" ISRA/CNRA/Bambey Ronéo.

P L A N

	Pages
INTRODUCTION	1
I - QU'EST-CE QUE LA PRODUCTION DE BIO-GAZ ?	2
1. Définition	2
2. Les facteurs écologiques de la production de bio-gaz	3
II - LES DIFFERENTS TYPES DE FERMENTEURS	6
1. Le système continu.	6
2. Le système discontinu	8
3. Le modèle chinois	8
III - EXPERIMENTATION AVEC UN FERMENTEUR DE LABORATOIRE	13
1. Description du matériel	13
2. La matière organique et son conditionnement	13
a) La phase aérobie	15
b) La phase anaérobie	16
3. Le bio-gaz	16
a) Influence de la température	17
b) Influence du pH du milieu	17
c) Purification et analyse du mélange gazeux	18
4. Evolution de la matière organique au cours de la fermentation	20
5. Conclusions de l'expérimentation	25
<u>ANNEXES</u>	
I - Méthodes d'analyse chimique de la matière organique	26
II - Tableaux et courbes de production de bio-gaz	28
III - Le fermenteur de Ndioakh-Fiesel installé par CARITAS	35
IV - Liste des Instituts et personnalités ayant une expérience dans la production de Bio-gaz	37
BIBLIOGRAPHIE	40

INTRODUCTION

On sait à la suite de nombreuses expériences réalisées dans différents pays, depuis de nombreuses années parfois, qu'il est possible de récupérer de l'énergie sous forme d'un mélange gazeux contenant 50 % de méthane environ, à partir de matières organiques cellulosiques, à condition de les fermenter en absence d'oxygène. C'est le principe de la production de bio-gaz.

L'objectif d'une première manipulation est de savoir, s'il est possible de produire du méthane biologique à partir du fumier disponible dans les exploitations agricoles sénégalaises. Il s'agira donc au cours de cette première manipulation de définir les conditions pratiques de la production de méthane biologique en système discontinu. En particulier il faut évaluer le temps de préfermentation aérobie après lequel la production de méthane est possible quand on passe en conditions anaérobies. En effet si le temps est trop court, il y a acidification du milieu en début de fermentation anaérobie et les bactéries méthanogènes sont inhibées. Au terme de ce premier essai, nous aurons également une première évaluation des quantités de gaz qu'il est possible de produire avec du fumier de ferme, et de la qualité du compost résiduel après la fermentation.

Dans cette première manipulation une mesure journalière de la production de gaz dans chaque fermenteur permettra d'établir la courbe de production de gaz en fonction du temps.

Différents paramètres du milieu seront également suivis : le pH, la température, l'état d'humidité, le rapport C/N. L'analyse du gaz sera faite à différentes périodes du cycle de production. Parallèlement, on testera en pot la capacité germinative des graines contenues dans le fumier à l'état initial, après la préfermentation aérobie et après la fermentation anaérobie.

Avant d'exposer les résultats de cet essai, nous présentons les principes de la fermentation méthanogène, puis quelques différents types de fermenteurs.

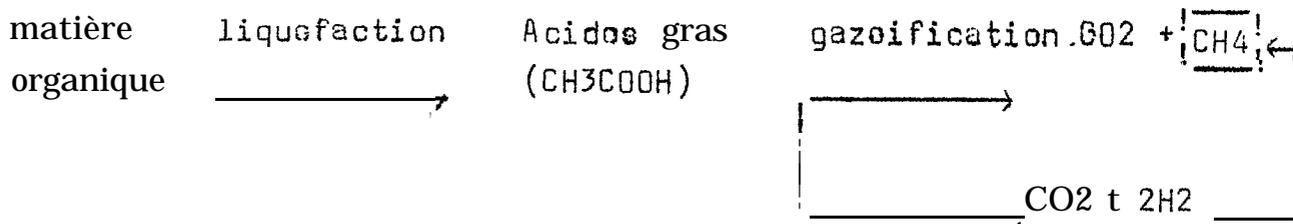
1 - QU'EST-CE QUE LA PRODUCTION DE BIO-GAZ ?

1°/- Définition

Le complexe de matière organique est converti en simples produits gazeux qu'on appelle bio-gaz, composés de méthane CH₄, de gaz carbonique ainsi que d'autres gaz à l'état de traces et la fermentation mixte (digestion en anaérobiose) peut être considérée comme une méthode de dégradation de la matière organique. La formule théorique de la décomposition de la cellule est la suivante :

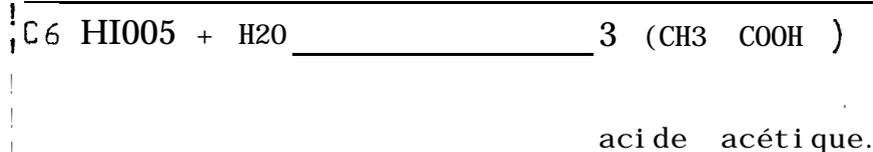


Le travail s'opère en deux temps : la liquéfaction puis la gazeification qui se fait par deux voies différentes. Le premier groupe de bactéries productrices d'acide est responsable de la transformation des composés organiques complexés en composés organiques plus simples (acides acétique, propionique, butyrique) qui deviennent une source de nourriture pour un second groupe de bactéries : Les bactéries méthaniques.



* La liquéfaction :

Les sucres sont hydrolysés et transformés en acide gras,



* La gazeification : 2 voies différentes

1°/ L'acide formé se décompose en gaz carbonique et en méthane



2°/ Le gaz carbonique et l'hydrogène présents se recombinent dans le milieu.



Le principal agent responsable de la décomposition méthanique est le *Clostridium perfringens*. C'est l'hôte commun de l'intestin de l'homme et de beaucoup d'animaux. Il pousse bien à 22°C, sa température optimum de croissance est de 37°C. A 50°C sa croissance n'est pas encore inhibée (Dictionnaire des bactéries pathogènes). On considère néanmoins que la production de bio-gaz met en jeu un nombre élevé d'espaces bactériennes.

2°/- Les facteurs écologiques de la production de Bio-gaz.

La production de biogaz dépend de nombreux facteurs : la composition de la matière organique et l'état physicochimique du milieu ambiant. On sait que les populations bactériennes sont très sensibles à toute variation de l'état du milieu, qui entraîne nécessairement une baisse de la production. Aussi la population bactérienne doit être conservée dans des conditions optimales constantes pour mieux assurer leur reproduction.

Les principaux facteurs de la multiplication bactérienne sont :

a) le PH du milieu qui fait l'objet de nombreuses discussions. La plupart des avis inclinent cependant pour un pH légèrement alcalin compris entre 7 et 7,5. Certaines stations admettent des chiffres compris entre 6,8 et 7,2, ceci en raison des fluctuations périodiques de l'eau qui entre dans les digesters. Au laboratoire on constate que le *Clostridium perfringens* cesse de sporuler lorsque le pH est inférieur à 6,5 et supérieur à 7,8. Lorsque le pH atteint 8,4 sa croissance s'arrête. Notons que le pH du milieu évolue de lui-même suivant les étapes de la digestion. Au début il est acide surtout pendant la phase où le milieu libère une grande quantité d'acides volatiles. Ensuite il devient alcalin et favorable à la croissance des bactéries du second groupe.

b) l'agitation du milieu n'est pas toujours nécessaire. Son but est d'augmenter les rendements de gaz journallement produit par mètre cube de digester. Elle est bénéfique pour 2 raisons.:

- * Elle libère les bulles de gaz emprisonnées dans la masse et permet aux bactéries un meilleur contact avec le substrat nutritif

- * Elle homogénéise la population bactérienne dans l'ensemble de la fosse, évitant ainsi une surconcentration dans les endroits où le milieu est le plus favorable.

c) La température est très importante car c'est d'elle que dépendent deux facteurs :

- * La rapidité du développement bactérien et par conséquent le volume de gaz produit par mètre cube de digestion et par jour.

- * La sélection du type de bactéries (soit thermophile, soit mesophile) qui vont opérer la digestion. La température doit être aussi stable que possible pour empêcher la perturbation du développement bactérien. En-dessous de 37°C, une baisse de température de 1°C se traduit par une chute du rendement. Ses valeurs limites sont 5°C et 60°C. A 10°C la digestion dure 40 jours et produit environ la même quantité de gaz qu'une digestion en 30 jours à 41°C.

A 54°C, il est passible d'obtenir 600 m³/T.M.S. de gaz en opérant avec des déchets à haute teneur en glucose". Dans ce cas, la digestion semble être opérée par des ferments thermophiles d'un type différent de ceux qui agissent Pour la production de gaz de fumier à 30 - 40°C.

d) La nourriture des bactéries, le substrat est le facteur le plus important et aussi la principale servitude du système.

Toutes les six semaines ; il faut vider les digesteurs et remettre une nouvelle charge de fumier si la température est 33°C dans le cas du système discontinu, quant au système continu, il oblige à un apport régulier dans le temps.

Plusieurs auteurs ont reporté sur la quantité de biogaz produit à partir de différentes matières organiques. On note que les matières premières de sources similaires produisent des quantités différentes de gaz par suite des caractéristiques de la matière solide ou des conditions d'opération. On a observé qu'une matière organique provenant d'une plante jeune produit moins de bio-gaz que celle provenant d'une vieille plante. Cette différence serait due à la densité de la cellulose contenue dans la matière première. La production diffère aussi selon le rapport carbone/azote.

* L'influence du rapport C N sur la production :

Le rapport C/N dans la matière organique est important pour la production de méthane. En effet l'azote est utilisé par incorporation dans la structure cellulaire. Si les nitrates présents sont insuffisants pour permettre la multiplication des bactéries, la production du méthane décroîtra ou même cessera. En somme si le rapport C/N est élevé, le processus est limité par la digestion des nitrates. Par contre s'il est bas, l'ammoniac se forme en quantités assez large et la reproduction bactérienne est inhibée. On considère qu'il est nécessaire de maintenir le rapport C/N aux alentours de 30 pour avoir l'optimum de digestion.

Tableau 1 : COMPARAISON DES % D'AZOTE ET DU RAPPORT C/N CONTENU DANS DIFFERENTES MATIERES PREMIERES (Recycling agriculture1 Waste in China - chap. 4)

<u>Matière première</u>	<u>% d'azote</u>	<u>C/N</u>
- Urine :	15 - 18 %	0,8
- fumier de mouton :	3,8 %	
- fumier de cheval :	2,3 %	25
- fumier de boeuf :	1,7 %	18
- débris végétaux :	2,15 %	14

Tableau 2 : PRODUCTION DE BIO-GAZ PAR KG DE MATIERE PREMIERE SECHE

1/- Source CRDI "Bio-gaz technology in the world trial"

MATIERE Ière	N %	C/N	C %	m3/kg M.S.
Feces	-		40,55	1,38 à 1,91
Fumier de vache	1,7	18	30,1	1,07
" de cheval	2,3	25	57,5	2,00
" de parc	3,8	20	76,0	2,64
" de mouton	3,8	22	83,6	2,89
" de volaille	6,5	15	90,0	3,12
Paille d'avoine	1,0	48	50,4	1,75
Paille de blé	0,3	138	38,4	1,33
Foin	4,0	12	48,0	1,67
Graminée priariale	2,4	19	45,6	1,64
Luzerne	2,4 - 3,0	16-20	60	2,07
Algues	1,9	79	36,1	1,25
Papier	-	-	40,6	1,41

2°/- Source : NAS "Méthane génération fram human, animal and agricultural wastes".

MATIERE Ière	N	C/N	m3/kg M.S.
Feces			0,33
Fumier de bovin	1,7	18	0,23 à 0,50
" de boeufs	-		0,86 à 1,11
" de porc	-	-	0,49 à 1,02
" de moutons	3,8		0,37 à 0,6
" de volaille	6,3		0,46 à 0,56
Fourrage			0,5
Algues			0,32

II - LES DIFFERENTS TYPES DE FERMENTEUR :

A l'heure actuelle, plusieurs modèles de fermenteurs sont en cours d'expérimentation. Cependant les plus courants sont :

- le système continu
- le modèle chinois
- le système discontinu.

1/- Le système continu :

Il trouve son application surtout en Inde. Il suppose un apport quotidien de petite quantité de fumier mis en solution dans l'eau. Le liquide est versé dans une tuyauterie aboutissant au bas du liquide en fermentant dans le digesteur tandis qu'un 2ème tuyau d'évacuation vide le fermenteur simultanément d'une même quantité de substrat fermenté. Ce système permet un fonctionnement sans obligation d'ouverture des couvercles pour assurer l'alimentation des bactéries. La production de gaz se faisant "sans à coup", le rendement est maximum.

* Description : L'appareil comprend trois parties (cf Schéma p. 7)

- le réservoir de mélange
- le fermenteur proprement dit
- et la cuve de décantation.

* Avantages :

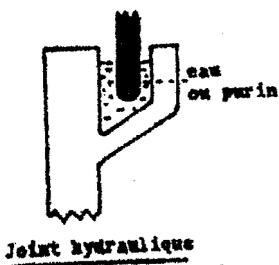
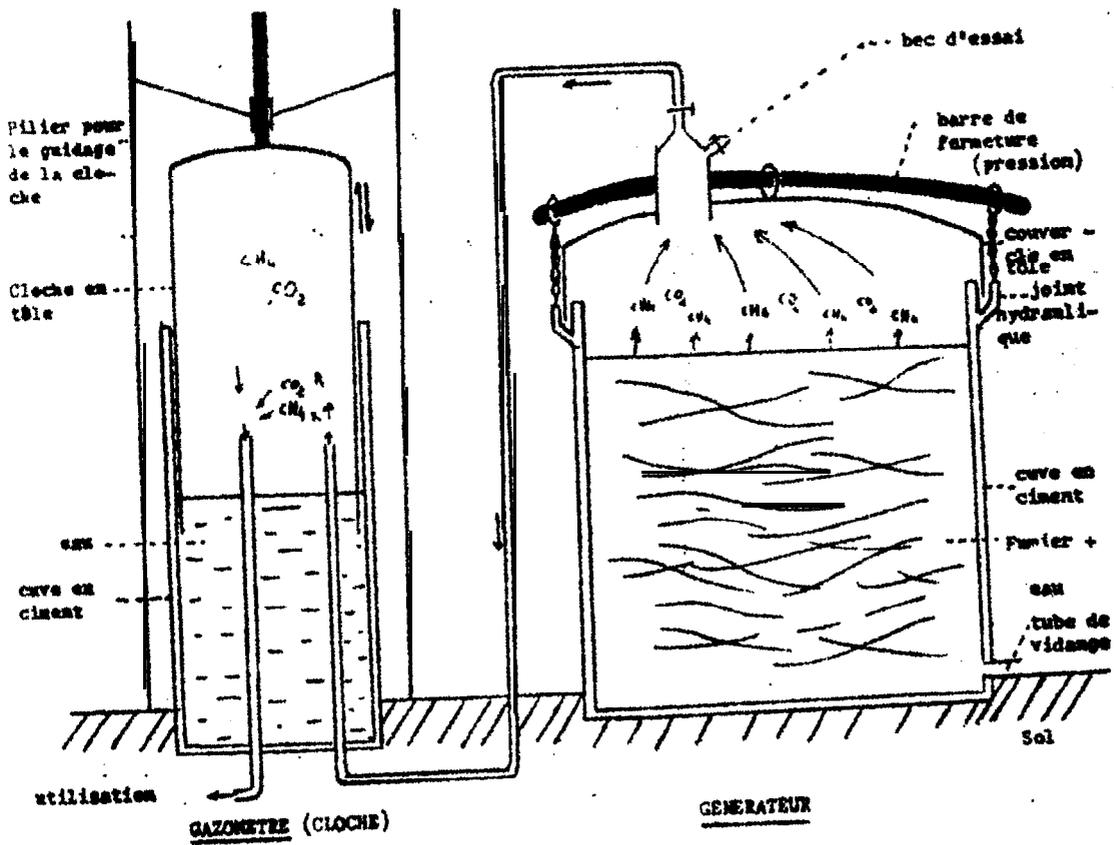
- la production est stable tout au long de l'année ;
- le rendement de gaz par mètre cube de digester est plus élevé que dans les autres méthodes.
- Il n'est pas nécessaire de lacher dans l'atmosphère les gaz obtenus en début de fermentation parce qu'il n'y a pas besoin d'attendre l'apparition du second groupe de bactérie à chaque approvisionnement, nouveau contrairement au système discontinu.

Cependant la servitude imposée est plus grande puisqu'il faut chaque jour assurer l'alimentation des digesteurs.

* Rendement de l'installation : (m³ de gaz/m³ de cuve/jour)

Il est difficile de porter un jugement valable sur les chiffres avancés par suite du manque de précision accompagnant les affirmations de certains auteurs. Cependant, on estime qu'on peut obtenir 1 m³ de gaz pour 3 m³ de digesteur. D'autres avancent 1 m³ de gaz pour 1 m³ de digesteurs. A Idiopa (Zaïre) le rendement espéré est de l'ordre 90 %. Par contre MANN du Mont des CATS parle d'un rendement de 100%, tandis que BOSSHOF avance la chiffre de 120 %. Au Mont Cats, alors que la température variait de 3°C à 7°C la production de méthane biologique est restée d'une régularité remarquable. Le chauffage obtenu à cinq reprises a consommé 136 m³ de gaz pour 2124 m³ dégagé soit 6,5 % de la production totale.

Ces chiffres rendent compte de la diversité des opinions émises sur le rendement des installations en continu.



DIGESTEUR A ALIMENTATION DISCONTINUE (p. 42)

d'après GRET, fiche T. 55

b) Le système discontinu

La mise en charge des matières à décomposer se fait de manière périodique. Chaque digester est vidé et réalimenté lorsque la quantité de gaz journalièrement produit par m³ de digester n'est plus rentable. Cette méthode de travail assure une production de gaz assez stable que lorsque l'ensemble de l'installation dispose d'une série de digesteurs.

* Description :

De même que dans le système continu, il y a deux parties qui peuvent être distinctes : le générateur ou fermenteur et le gazomètre (ou cloche gazométrique).

• Le générateur : C'est une cuve en ciment enterrée à une faible profondeur. La matière organique est constituée essentiellement de fumier que l'on humecte avec de l'eau. Il est fermé par un couvercle métallique qui communique avec le gazomètre à l'aide d'un tuyau soudé en son dessus. Une barre de fermeture est posée sur le couvercle pour empêcher qu'il saute lorsque la pression des gaz produit est trop grande. A la base du générateur, au niveau de sol est soudé un tube de vicjanc (cf Schéma p. 9)

• Le gazomètre : C'est une cuve contenant de l'eau et sur laquelle est renversée une cloche pouvant naviguer librement entre les parois intérieur du gazomètre. Quand il y a du gaz, la cloche remonte jusqu'à un niveau proportionnel au volume de gaz produit.

* Avantages et inconvénients :

En travaillant à une température de 33°C, la digestion s'opère en 6 semaines, on est donc tranquille pendant 6 semaines. Mais :

• la production se fait par "à coup" puisqu'elle est stoppée à chaque ouverture de la fosse.

• Les premiers jours, la nécessaire préfermentation aéro-bique consomme une partie de la ressource sans produire de bio-gaz ;

• Elle oblige à construire des fosses plus volumineuses par suite d'un moins bon rendement de gaz par m³ de digester.

* Rendements :

Les rendements possibles sont de l'ordre de 61,5 %. Ce chiffre s'aligne également sur des prévisions du Mont des Csts où les moines espéraient obtenir 50 m³/j de gaz pour 96 m³ de digester.

c) Le modèle chinois

* Le digesteur :

Le digesteur de type chinois est une fosse de trois mètres de profondeur. La portion du fermenteur contenant la matière organique s'étend de la base jusqu'à une hauteur de 2m. La partie qui récupère le gaz est construite de sorte qu'on arrivant au niveau du sol, elle est réduite à 60 cm de diamètre. (cf. Schémas p. 11-12).

* La fermentation :

La fermentation anaérobie de la matière organique est meilleure si la fumure contient de 7 à 9 % de matières solides. Les matières utilisables fermentées dans un digesteur contiennent les mêmes pourcentages de solide et elles sont diluées par la même quantité d'eau. Une dilution insuffisante entraîne la viscosité du milieu et les bactéries peuvent être inhibées.

Le pH et l'ammoniac toxique peuvent aussi être critiques à une dilution insuffisante. En Chine, des combinaisons de matières premières sont apportées dans la dilution, essentiellement un mélange de 20 % de matière organiques, 30 % d'excréta humains et 50 % d'eau.

* La température.

A l'aide d'un thermomètre, chaque jour, on relève la température. Les micro-organismes qui participent à la production de méthane ont une activité optimale vers 30°C. A dessous de cette température la production de gaz diminue.

Tableau 3. RELATION ENTRE PRODUCTION DE GAZ ET TEMPERATURE

Température (°C)	Production de gaz (en cm ³ /jour)
29 - 31 °C	0,55 cm ³
24 - 26 °C	0,21 cm ³
16 - 20 °C	0,10 cm ³
12 - 15 °C	0,07 cm ³

Lorsque la température diminue, la production de gaz diminue.

* Avantages.

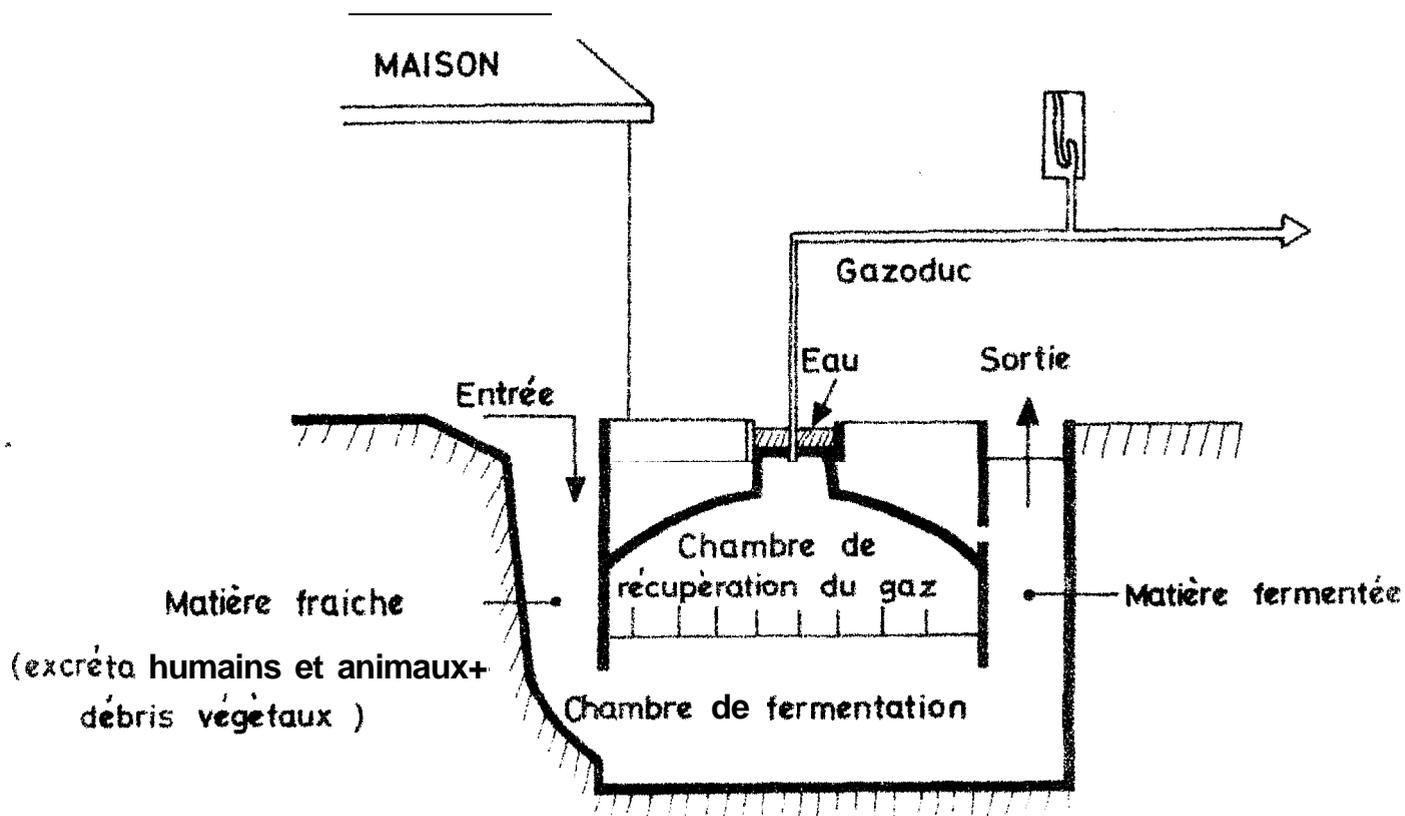
- Il peut être fait en ciment entièrement
- La température reste constante, ce qui entraîne une production constante,
- Les dimensions sont variables et le digesteur peut être implanté dans n'importe quelle zone rurale.

* L'utilisation du gaz :

• Intérêt économique :

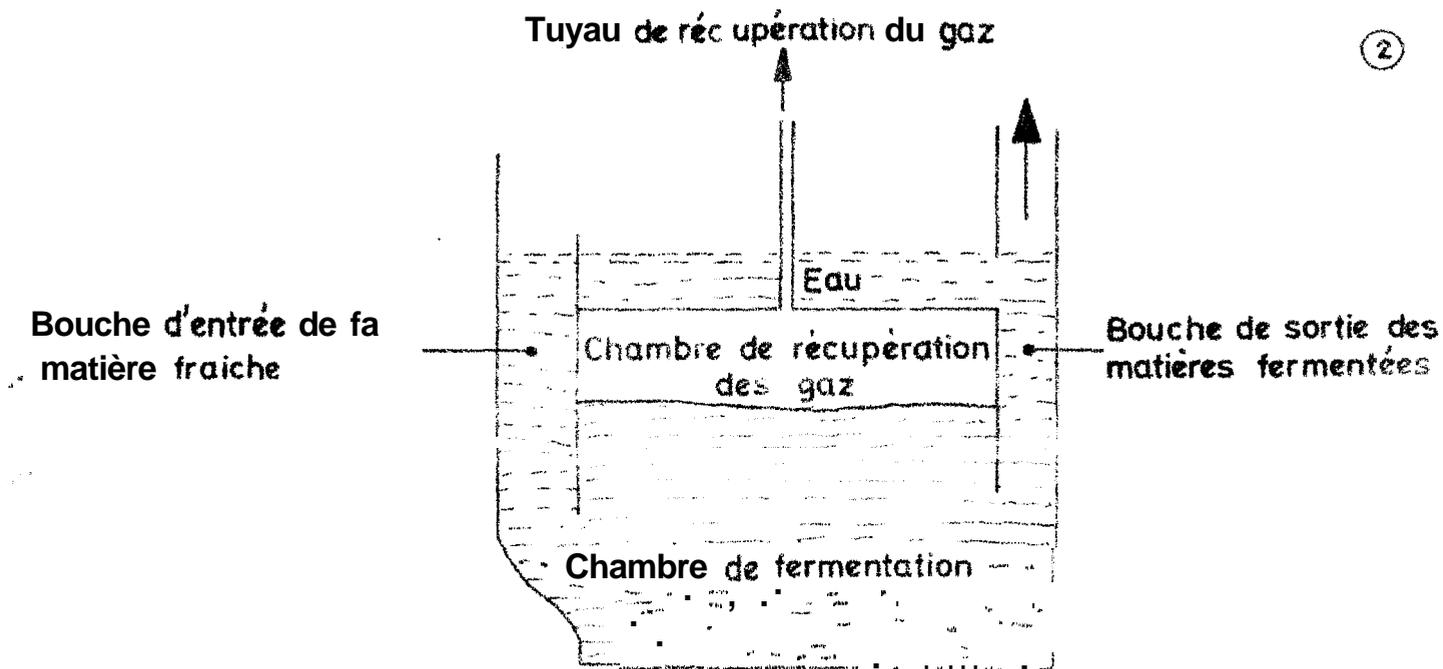
Le gaz qui provient de la fermentation est similaire au gaz naturel, il contient essentiellement 60 à 70 % de méthane, 30 à 35 % de dioxyde de carbone, un faible pourcentage d'hydrogène et de nitrate et quelques traces de sulfates d'hydrogène H₂S. Ce gaz a une valeur calorifique de 5000 KCal/m³. Une capacité de 10 m³ de fumier engendre 5 m³ de gaz/jour. Bien aménagée la méthanisation est suffisante pour approvisionner les besoins d'une famille chinoise en combustible pour l'acquisition

①



DISPOSITION GENERALE DU FERMENTEUR D'ORIGINE CHINOISE

②



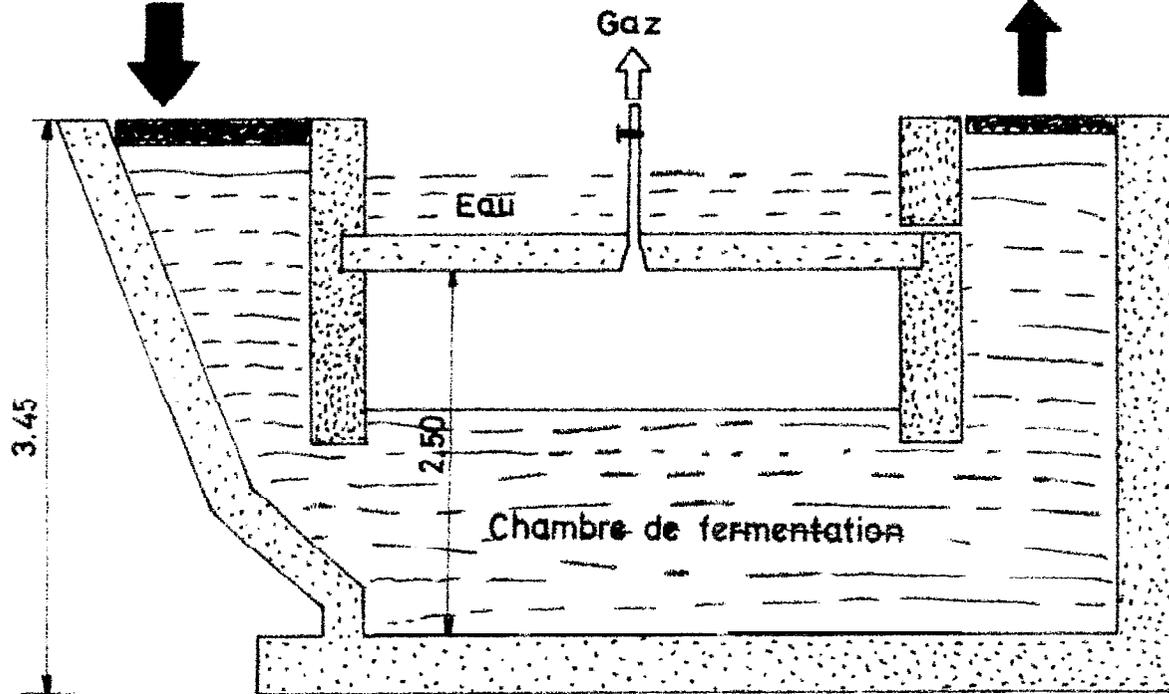
FERMENTEUR D'ORIGINE CHINOISE

0

Bouche de remplissage



Bouche de vidange



FERMENTEUR DE TYPE CHINOIS

• Intérêt fertilisant :

Les effluents sont utilisés directement comme engrais. Ils sont aussi utilisés pour faire des acides humiques fertilisants, et dans les eaux d'irrigation.

Tableau 4. COMPARAISON DES ELEMENTS CONTENUS DANS LES BOUES ET LES EFFLUENTS APRES LA FERMENTATION ANAEROBIE.

	Boues	Effluents
Nx	650 PPM	500 PPM
Px	40 "	15 "
K.	9400 "	2000 "

III • EXPERIMENTATION AVEC UN FERMENTEUR DE LABORATOIRE :

1) Description du matériel :

Il est analogue au système discontinu et se compose de 2 parties distinctes : le fermenteur et le gazomètre.

1) Le fermenteur : Il se compose de 2 parties : la cuve et la cloche.
(cf. fig. p. 14)

* La cuve : Elle est en P.V.C. opaque-gris de 40 cm de hauteur et 25,5 cm de diamètre soit un volume de 20.417,80 cm³. Le fond est systématiquement fermé par une plaque soudée à la base en ses extrémités. Un syphon de 0,7 cm de diamètre soudé à la base permet de communiquer avec l'intérieur. Elle est remplie de fumier jusqu'à 5 cm des bords supérieurs, soit à un volume de 17 865, 60 cm³. On apporte de l'eau jusqu'à ce que le niveau affleure le niveau supérieur du fumier dans la cuve.

* La cloche : Elle est aussi en P.V.C. opaque-gris de 29 cm de hauteur, 24,5 cm de diamètre soit un volume de 13.462 cm³. L'une de ses bases est fermée par une plaque en pléxiglass fortement soudée en ses extrémités. Un tube en matière plastique de 0,7 cm de diamètre, soudé sur le verre permet de communiquer avec l'intérieur. Il sert à la récupération du gaz. Ce tube est fermé par un bouchon démontable en matière plastique. Il est ensuite pincé à son milieu par une paire de pince pour éviter une fuite éventuelle du gaz produit pendant la phase anaérobie.

2) La matière organique et son conditionnement :

C'est une poudrette brute récoltée dans une stabulation sous deux boeufs avec litière, constituée des rebuts de tiges de sorgho qui entrent dans l'alimentation des boeufs (avec un complément riche en énergie azotée). La litière est finement broyée par le piétinement des animaux. On y prélève 4,50 kg de matière sèche que l'on met dans chaque fermenteur. On analyse un échantillon de cette poudrette pour connaître les pourcentages de carbone total, d'azote et d'acides humiques à l'état initial. De même, on cherchera le pourcentage d'humidité et le pH de la matière organique initiale. On en déduit le rapport C/M. On reprendra ces analyses à la fin de la préfermentation et de la fermentation anaérobie. On dose le carbone et les acides humiques par la méthode de Anne modifiée et l'azote par la méthode de Kjeldahl. (cf. Anne I)

11

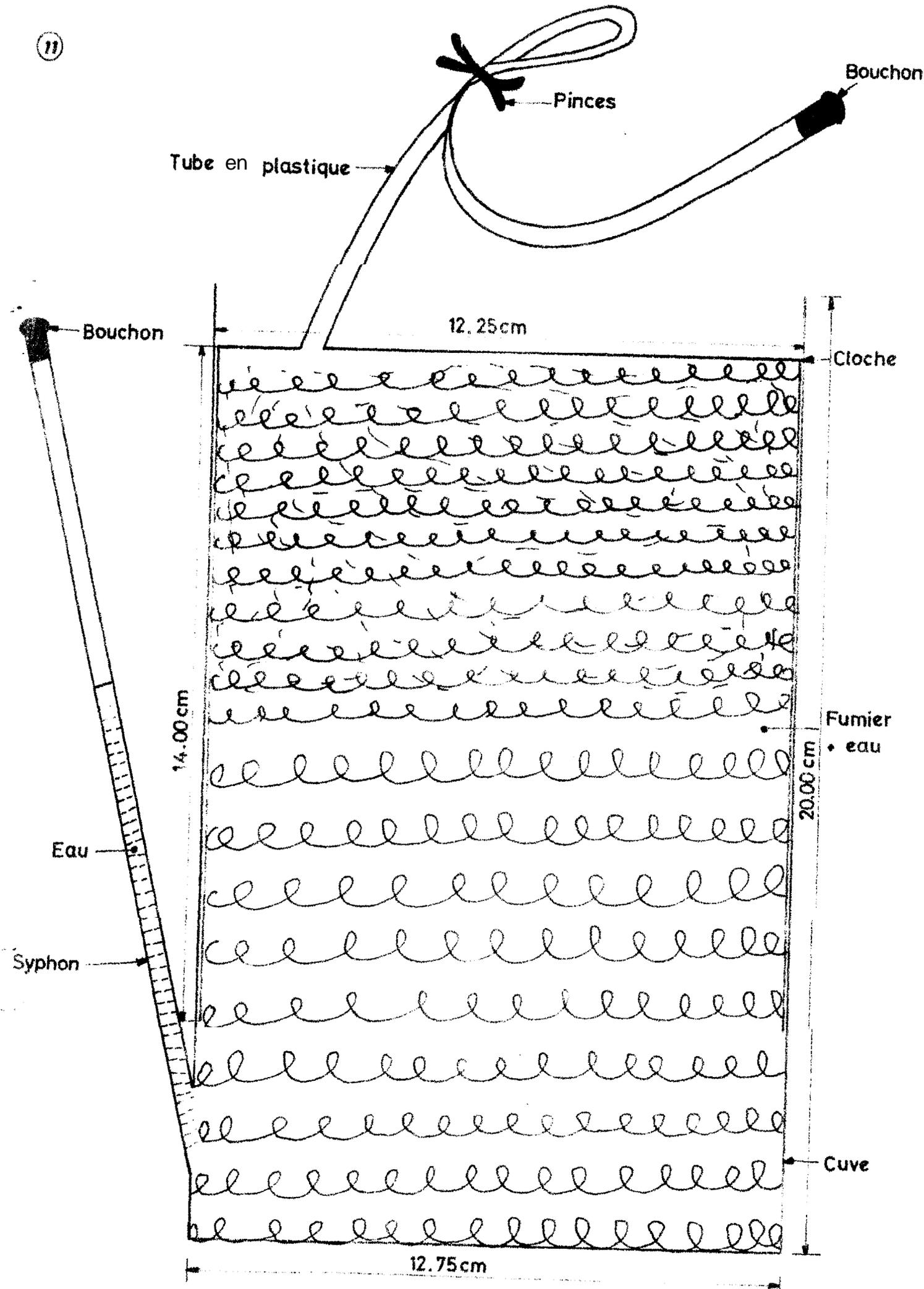


Tableau 5. ANALYSE DE LA MATIERE ORGANIQUE A L'ETAT INITIAL

éltts	C.	Acides humiques	N .	$\frac{C}{N}$	PH.	Humidité.
μ	32,90	1,44	1,658	19,84	8,3	23,01

, La phase d'aérobiose :

Après le remplissage des cuves avec le fumier et addition de 12 litres d'eau, les fermenteurs sont laissés en aérobiose c'est à dire à l'air libre. Grâce au siphon on détermine à chaque instant le niveau de l'eau. On prend chaque jour la température du "ferment" qui varie entre 30 et 33°C. Au bout de 3 à 4 jours, on constate que le compost a rempli le fermenteur jusqu'à la limite supérieure à la suite d'un gonflement de la matière organique. De même l'eau introduite pour l'humectation reste au fond de la cuve, alors que le fumier tend à flotter sur le niveau d'eau. Disposant de 5 fermenteurs expérimentaux de petite taille, nous testons 5 durées différentes de préfermentation aérobio. On sait que si cette période est très courte, la production de méthane est bloquée par l'acidification du milieu. En effet la fermentation méthanogène est un ensemble de réactions chimiques successives réalisé par des bactéries différentes.

Une première phase est une hydrolyse des polymères organiques. Cette réaction est acidifiante. Une deuxième phase est la production de méthane soit directement à partir de ces molécules simples (monomères organiques) soit par combinaison du CO₂ et de l'hydrogène du milieu, par les bactéries méthanogènes.

Si la première phase est plus rapide que la seconde, l'acidification du milieu qui s'en suit inhibe les bactéries méthanogènes, et il n'y a pas production de méthane. Par contre, si la période de préfermentation aérobio est trop longue, la production de méthane à partir de la bio-masse est réduite. Aussi, nous décidons de fermer les cuves (mise en anaérobiose) respectivement aux dates suivantes après le remplissage de matière organique et d'eau :

Traitement	Durée de préfermentation aérobio
I	5 jours
II	10 jours
III	15 jours
IV	20 jours
V	30 jours

Après la durée que nous avons choisie en aérobiose, les fermenteurs sont mis dans des conditions d'anaérobiose. Le mélange compost plus eau contenu dans la cuve retrouve son niveau initial, c'est-à-dire 5 cm des bords supérieurs. A l'aide d'un thermomètre introduit dans le syphon, on relève chaque jour la température. De même on prendra les mesures des pourcentages de carbone, d'acides humiques, d'humidité, d'azote et du pH avant la fermeture de chaque digester.

Tableau 6 : ANALYSE DE LA MATIERE ORGANIQUE EN FIN DE PREFERMEN-
TATION

	C %	Acides humiques	N	$\frac{C}{N}$	p H	Etat d'humidité
I	29,21	8,70 %	1,14 %	26,24	9,6	24,6 %
II	28,91	2,952 %	1,28 %	22,57	8	25,9 %
III	28,76	4,468 %	1,18 %	24,37	7,7	43,5 %
IV	29,02	14,140 %	1,231 %	23,57	9,6	23,0 %
V	24,60	23,60	1,24 %	19,84	9,5	27,8 %

La phase anaérobie

Dans cette première manipulation, compte tenu de l'équipement dont nous disposons (la cloche plonge directement dans le milieu de culture pour éviter la pénétration de l'air et non dans un joint hydraulique) nous apportons un excès d'eau qui assure une bonne circulation de la cloche le long des parois de la cuve, et aucun risque de dessèchement dans l'espace entre les deux cylindres. Une mesure journalière de la production de gaz dans chaque fermenteur permettra d'établir la courbe de production de bio-gaz en fonction du temps.

3) Le bio-gaz :

Ru bout de 24 heures, la cloche du fermenteur SC soulève sous la pression exercée par le gaz produit. A l'aide d'un tube en verre nous relierons la cloche du fermenteur à celle du gazomètre par les tubes en plastiques qui communiquent avec l'intérieur du gazomètre d'une part et de la cuve d'autre part. Nous appuyons d'une main sur la cloche du fermenteur. En pressant, nous chassons dans le gazomètre. Le gaz produit si la production est faible, la pression du gaz chassé dans le gazomètre est insuffisante pour déplacer la cloche du gazomètre*. Elle s'applique sur la masse d'eau contenue dans le gazomètre et une partie de l'eau est donc déplacée à l'extérieur cédant sa place au gaz. A l'aide d'une pipette, on recueille cette eau et on la mesure, Il s'en suit que le volume d'eau déplacé est proportionnel au volume de gaz produit,

* En effet, dans le matériel utilisé, l'espace entre la cuve et la cloche est très réduit. La force de frottement élevée le long des parois, exige une pression forte à l'intérieur de la cloche pour la déplacer.

Le gaz est selon une autre méthode recueilli dans une bouteille graduée. La bouteille est remplie d'eau jusqu'au bord supérieur. Elle est ensuite renversée dans un seau plein d'eau et maintenue par deux pinces qui l'enserme. On glisse le tube de la cloche à l'intérieur de la bouteille pleine d'eau et renversée. On presse sur la cloche et le gaz est chassé dans la bouteille. En raison de sa faible densité par rapport à celle de l'eau, il vient se placer au fond de la bouteille en déplaçant un volume d'eau égal à son volume. Aussi le volume de gaz produit par chaque fermenteur est donné directement par la graduation de la bouteille. Ce volume est sensiblement égal au volume d'eau déplacé pendant la récupération du gaz dans le gazomètre. Ce procédé de collecte du gaz nous permet de connaître le volume de gaz obtenu chaque jour à la température normale et à la pression atmosphérique.

a) L'influence de la température :

Cette expérience étant réalisée pendant l'hivernage, période chaude et pluvieuse, il est nécessaire de rappeler l'influence de la température en fonction du temps. Elle est d'autant plus importante que deux facteurs dépendent d'elle.

- 1) La rapidité du développement des bactéries et par conséquent le volume de gaz produit par fermenteur.
- 2) La sélection du type de bactéries qui vont opérer la digestion,

La température moyenne que nous avons enregistré est de 33°C. Cette température varie de 29°C (pluie) à 37°C. Cette température est relevée chaque jour à 12h 30. La moyenne de la production de gaz est obtenue à 33°C. Cette production est minimale à 27°C et atteint son maximum à 35°C. Au delà de 35°C le volume de gaz produit a tendance à diminuer. Toute variation de température entraîne nécessairement une variation de la production de gaz (cf. Tab. Annexe II).

b) L'influence du pH du milieu-*

A l'état initial, le pH du fumier est de 8,3. Après la fermentation ce pH reste basique mais dépend de la durée de la pré-fermentation. On pense que le pH a un effet sur la production de gaz. La production journalière maximale est prélevée d'un fermenteur qui a un pH égale à 8 et dont la durée de préfermentation est de dix jours.

Par contre cette production est minimum à un pH de 9,6 et 7,7 respectivement pour une durée de préfermentation de 5 jours et 15 jours.

* Les pH observés dans les différents fermenteurs sont très variables.

Le manque de répétitions ne nous permet pas d'étudier une relation éventuelle entre pH et durée de la préfermentation.

Tableau '7 : pH du milieu dans les différents fermenteurs

	Fumier à l'état initial	Après la préfermentation aérobie				
		I (5)	II (10j)	III (15j)	IV (20j)	V (30j)
pH :	8,3	9,5	8	7,7	9,6	9,5

c) Purification et analyse du mélange gazeux

On sait que le bio-gaz est un composé de méthane, de CO₂ et d'autres gaz à l'état de trace. Dans cette manipulation, nous proposons de séparer le CH₄ du CO₂. Pour ce faire nous avons adopté la méthode de fixation du CO₂ par le Ca (OH)₂.

Nous remplissons une bouteille graduée de dihydroxyde de calcium de normalité 1. A l'aide d'une seringue de 100 ml, nous prélevons un échantillon du mélange gazeux CH₄. La bouteille est renversée dans un seau plein d'eau. On injecte le gaz dans la bouteille contenant la solution de Ca (OH)₂. Le CO₂ est fixé dans la solution alors que le méthane libre reste place au fond de la bouteille.

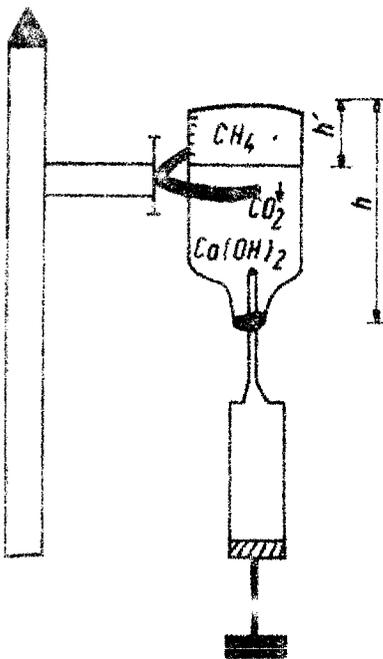


Le volume occupé par le gaz après rééquilibrage à la pression atmosphérique nous permet de calculer le pourcentage de méthane et de CO₂ contenu dans le mélange gazeux. Ce gaz contient 76 % de méthane et 24 % de gaz carbonique, Cependant ce pourcentage varie avec les fermenteurs. Il varie de 69 % à 83 % de méthane,

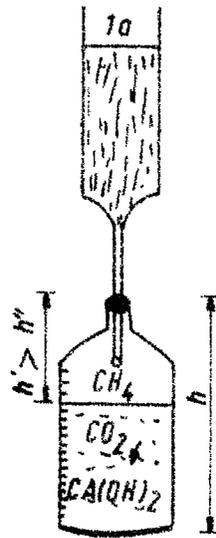
Pour mesurer le volume de CH₄ à la pression atmosphérique après précipitation du gaz carbonique, on procède à l'équilibre de la pression (cf. fig. p19). Pour cela on ajuste le niveau d'eau à la pression atmosphérique dans le flacon à l'aide de la seringue. Elle est remplie d'eau puis on enlève complètement le piston de façon que la surface de l'eau contenue dans la seringue soit soumise à la pression atmosphérique. On constate alors que l'eau de la seringue coule goutte à goutte par l'aiguille. On reprend le même système on faisant couler l'eau de la seringue dans un flacon contenu le bio-gaz. La vitesse d'écoulement de l'eau est plus rapide. A l'équilibre l'eau de la seringue se vide goutte à goutte. A partir de ce moment on arrête. Si, on laisse continuer à gouter, il arrivera un moment où la seringue ne gouter plus du fait que la pression du gaz contenu dans la bouteille tend à devenir supérieure à celle de la pression atmosphérique.

Niveau de production du bio-gaz :

Cette étude de synthèse se propose d'analyser les résultats que nous avons obtenus en fonction du système de fermentation utilisé et des conditions d'environnement comme la température, l'humidité, le pH du milieu.



a-injection du mélange gazeux dans la solution de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, le CO_2 est précipité, le volume gazeux correspondant à la hauteur h' est composé de CH_4 , pression inférieure à la pression atmosphérique.



b-équilibre à la pression atmosphérique. On obtient du CH_4 pur: à la pression normale $h'' < h'$

De cette analyse il ressort que le système discontinu à un rendement moyen, parfois même faible. Compte tenu des durées de préfermentation aérobie que nous nous sommes imposées, il semble qu'une préfermentation de dix jours est meilleure. Elle permet d'obtenir un rendement de 552 ml par jour et par fermenteur soit 128,372 ml/jour/kg de matière organique à une température moyenne de 33°C. Pour une préfermentation de 30 jours, ce rendement passe à 48,372 ml/j/kg de matière organique sèche à une température de 34°C. A cette même température, il est de 30,465 ml/j/kg de matière organique sèche pour une durée de préfermentation de 15 jours.

On note de grandes variations dans la production de méthane selon les fermenteurs de préfermentation aérobie.

Tableau 8 : Moyenne des productions journalières de Bio-gaz

	Durée de pré-fermentation aérobie	Moyenne des températures	Moyenne de production en ml par jour et par kg de matière organique sèche.
I	5 jours	33°C	36,512 ml/j/kg M.S.
II	10 jours	33°C	128,372 " "
III	15 jours	34°C	30,465 " "
IV	20 jours	35°C	10 ml
V	30 jours	34°C	48 ml " "

Les courbes de productions sont irrégulières (cf. fig. p.2 et annexe II). Pour une préfermentation de 5 jours, la production de bio-gaz a atteint son maximum au bout de 3 jours. De même le maximum est atteint entre le 3e jour et le 5 jour après la mise en condition d'anaérobiose pour une préfermentation aérobie 15 jours, 20 jours et 30 jours. Cependant pour une préfermentation de 10 jours, le maximum de production est atteint entre le 11e et le 12e jour. Alors que le minimum est atteint entre le 5e et le 7e jour et entre le 29e et le 300 jour.

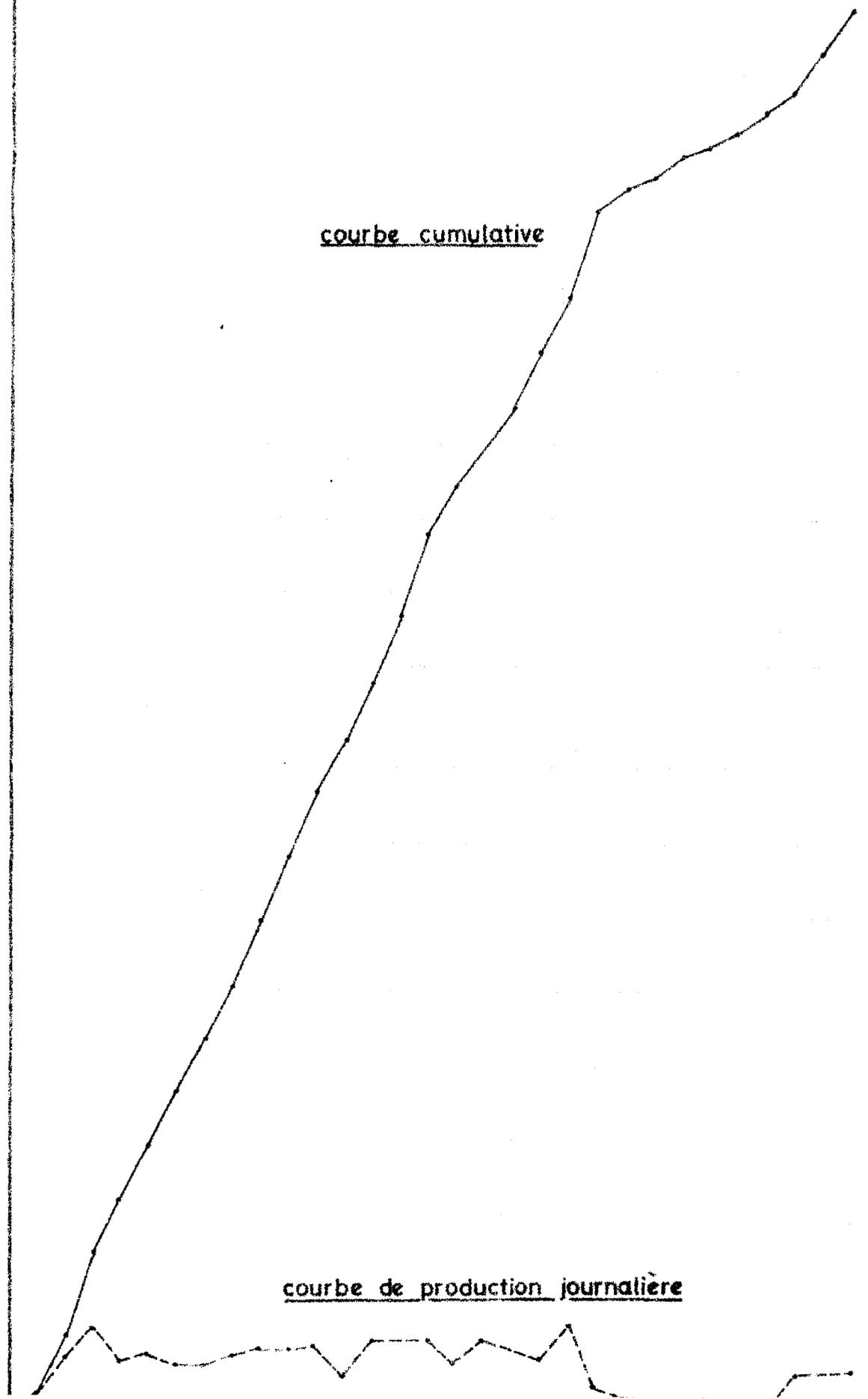
4) Evolution de la matière organique au cours de la fermentation

La fermentation méthanique peut être considérée comme "une combustion lente". En effet l'examen de la matière organique a montré qu'il y a une baisse notable du poids sec de la matière organique initiale. En fin de chaque fermentation anaérobique, nous mesurons le poids humide et nous cherchons le pourcentage d'humidité du compost. On en déduit le poids de matière organique sèche restant dans le fermenteur. Soit C le taux d'humidité, pH le poids humide de la matière et PS son poids sec.

on sait que $C = \frac{pH}{PS}$

PS

COURBE DE PRODUCTION JOURNALIERE DE FI ET COURBE
CUMULATRICE E=1/20



courbe cumulative

courbe de production journaliere

jours

$$PS \times C = pH - PS \quad) \quad pH = PS + PS \times C$$

$$= PS (1 + c)$$

d'où

$$PS = \frac{pH}{1 + C}$$

TABLEAU 9 : PERTE DE MATIERE ORGANIQUE PENDANT LE COMPOSTAGE

	Poids de M.O.S. initiale	Poids de M.O.S. enfin d'exp.	Poids de M.O.S. disparu/compost	Pourcentage des pertes.
I	4,300 kg	3,720 kg	0,579 kg	13,5 %
II	4,300 kg	3,629 kg	0,670 kg	15,6 %
III	4,300 kg	3,290 kg	1,009 kg	23,5 %
IV	4,300 kg	3,574 kg	0,725 kg	16,9 %
V	4,300 kg	2,9968 kg	1,303 kg	30,3 %

TABLEAU 10 : ANALYSE DE LA MATIERE ORGANIQUE EN FIN DE FERMENTATION ANAEROBIE

	C %	acides humiques	N %	C/N	pH	Humidité
I	23,68 %	29,15 %	1,047 %	22,77	9,6	30,6 %
II	25,63 %	19,93 %	1,170 %	21,91	9,4	23,5 %
III	27,06 %	28,07 %	1,174 %	26,79	9,3	20,3 %
IV	24,91 %	22,26 %	1,011 %	20,93	9,7	19,5 %
V	18,46 %	25,46 %	1,170 %	15,75	9,6	21,8 %

On remarque que l'état d'humidité de la matière organique est bas par rapport aux quantités d'eau qui ont été ajoutées dans les fermenteurs. Il est probable que la matière organique flotte sur un excès d'eau qui se dépose au fond de la cuve (ceci est en rapport avec la taille des éléments organiques relativement grande par rapport à la petite dimension du matériel expérimental).

Les pertes de matière organique sont faibles au cours de ce processus de compostage. Elles sont au terme des 2 phases aérobie et anaérobie, de l'ordre de 15 % lorsque la durée de préfermentation est de moins de 15 jours et passent à 20 et 30 % pour des durées de 15 et 30 jours. Alors que dans un compostage aérobie en compostière ou en tas, on observe des pertes de l'ordre de 50 %.

Ces pertes sont le résultat d'un processus d'hydrolyse des polymères organiques au cours de la fermentation, et de volatilisation des molécules simples produites, acide organiques volatiles, gaz carbonique, méthano, ammoniac.

Si nous suivons l'évolution de la teneur en carbone de la matière organique dans le fermenteur II où la production de méthane fut la plus élevée, les pertes en carbone ont été de 12 % pendant la phase aérobie (durée de 10 jours). Pendant la phase anaérobie elles ont été de l'ordre de 11 % dont nous savons que 60 % environ ont été récupérés sous forme de méthane pur.

Ces pertes en azote sont importantes au cours des fermentations aérobies. Elles sont beaucoup plus faibles pendant la phase anaérobie. Finalement la teneur en azote est de 1,17 % dans la matière organique en fin de compostage anaérobie contre 1,66 % à l'état initial. Pour 1 kg de M.O. initiale, 28,84 g d'azote ont été perdus au cours des deux étapes du compostage méthanogène, soit 40 % de la quantité d'azote initiale.

Les pertes en azote sont moins importantes que les pertes en carbone, et le rapport C/N de la matière organique est plus élevé après compostage. Il reste toutefois bas, puisque dans le fermenteur XI, il est de 21,91, alors qu'on considère qu'un rapport voisin de 30 est optimum pour l'évolution ultérieure de la matière organique dans le sol.

D'après les analyses de carbone sous forme d'acides humiques par rapport au carbone total, la fermentation anaérobie méthanogène serait un processus très actif d'humification de la matière organique. En effet, ce rapport qui passe de 1,44 % à 2,93 % pendant la phase aérobie dans le fermenteur II, est de 19,93 % au terme de la fermentation anaérobie. On obtiendrait ainsi, à la vue de ces premiers résultats, une matière organique qui restituée au sol, l'enrichit en polymères organiques stables qui s'intègrent dans le complexe absorbant argilo-humique.

La matière organique initiale contient un nombre élevé de graines qui germeront dans les champs fumés. Or, ce serait là, un obstacle à l'utilisation des fumiers de ferme par les agriculteurs sénégalais. Une expérimentation un pot a été réalisée, qui vise à déterminer si le compostage diminue le pouvoir germinatif des graines contenues dans la matière organique initiale. Dans des pots de 6 kg de sol, on ajoute 18 g de matière organique dont on veut estimer la teneur en graines (sauf les graines à germination annuelle seront repérées, celles avec dormance n'apparaîtront pas) et 900 mg d'engrais 14.7.7. On réalise un témoin sans matière organique.

TABLEAU 13 : NOMBRE MOYEN DE GRAINES GERMEES AVANT ET APRES COMPOSTAGE

Fermenteur	I	II	III	IV	V
Témoin sans matière organique	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Matière organique initiale (18 g)	6,6	6,4	6,4	6,4	6,4
Matière organique après préfermentation	0	1,33	2,33	5,0	0
Matière organique après fermentation anaérobique	1	0,75	0,25	0,50	0

Cette expérimentation confirme la teneur élevée du fumier en graines. Elle constitue une première indication sur l'effet positif du compostage, mais les conditions de levée semblent avoir été mauvaises dans les pots avec les composts, puisque le nombre de graines germées est inférieur au témoin sans matière organique,

5) Conclusion

La fermentation anaérobie méthanogène, à la vue de ces premiers résultats expérimentaux, est un mode particulièrement intéressant de compostage des matières organiques. En effet, elle permet de produire en milieu rural un vecteur énergétique utilisable pour la cuisson des aliments, la réfrigération, l'éclairage et l'alimentation de moteurs à explosion à poste fixe. De plus cette fermentation serait un mode remarquablement actif d'humification des matières organiques, au cours duquel les pertes en carbone et en azote sont moins élevées que lors d'une fermentation aérobie.

Toutefois, les productions de gaz dans cette expérimentation sont très faibles par rapport 3 colles généralement citées dans la littérature : 0,123 l/kg M.S/j contre 5 à 10 l/kg M.S/j. On peut songer à plusieurs raisons :

- le pH élevé du milieu, voisin de 9,0
- le faible état d'humidité de la matière organique dans notre expérimentation
- le rapport C/N bas de la matière organique initiale
- la petite taille de notre matériel comparée à la grossièreté de la matière première malgré qu'il s'agisse d'un matériau broyé. Celui-là implique de plus une faible quantité de biomasse en fermentation

Par ailleurs, la production de gaz apparaît très variable et la matière organique très hétérogène dans un fermenteur discontinu, obligeant à multiplier les répétitions dans une expérimentation ultérieure,

Celle-ci devrait viser deux objectifs immédiats :

- la réalisation d'un modèle fiable de fermenteur on laboratoire, appliqué à l'expérimentation parallèle au suivi d'un fermenteur de vraie grandeur.
- La conception d'une unité de production adaptée aux conditions rurales sénégalaises, s'inspirant des différents modèles existants et tenant compte des contraintes et ressources spécifiques de la zone Sahélo soudanienne.

ANNEXE 1 - METHODES D'ANALYSE CHIMIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE

* Extraction et dosage du carbone : méthode Anne modifiée.Protocole :

- Broyer finement le compost
- Peser 100 mg de compost
- Mettre dans un ballon de 100 ml.
- Ajouter 3 g de bicarbonate de potassium
- Ajouter 20 ml d'eau distillée pour dissoudre le bicarbonate
- chauffer (ne pas laisser trop bouillir)
- Ajouter 30 ml d' H_2SO_4 (goutte à goutte)
- Laisser au repos pendant 30 mn au moins
- transvaser dans un flacon de 100 ml
- Ajouter de l'eau de rinçage pour rajuster
- Laisser refroidir pendant 15 mn
- En prélever 10 ml, les mettre dans un béchers de 800 ml et diluer jusqu'à 200 avec de l'eau distillée.
- Ajouter 1 ml d' H_2SO_4 et 1,5 g de fluorure de sodium, plus 4 gouttes de diphenyl amine.
- titrer au sel de MOHR à 0,2 N.
faire un tampon dans des conditions identiques
surveiller la décoloration, le virage se faisant du violet au vert-clair.

* Dosage de l'azote :Procole :

- Peser 400 mg de compost que l'on met dans un matras
- Ajouter premièrement 2 pincées de catalyseurs "DE DUMAZERT"
- Ajouter ensuite 10 ml d' H_2SO_4
- Faire un témoin distillé on mettant 10 ml d' H_2SO_4 dans un matras plus 2 pincées de "DUMAZERT"
- Chauffer pendant 3h en agitant de temps en temps
- Transvaser dans des fioles et laisser refroidir
- Prélever 40 ml et mettre dans un ballon
- Ajouter 150 à 200 ml d' H_2O distillée plus 10 ml de NaOH chauffer à 80°C
- Dos béchets de 100 ml remplis jusqu'à 40 ml d' H_2SO_4 servent à recueillir l'ammoniac dégagé
- Arrêter le chauffage quand le niveau atteint 80 ml
- A l'aide du mètre, effectuer le dosage avec une solution de soude à raison de 1 g de Na pour 11 d'eau distillée.

* Extraction et dosage des acides humiques : méthode Anne modifiée :

Protocole, suivi :

- Peser 5 g de compost et mettre dans un ballon
 - Ajouter 100 ml de pyrophosphate de sodium N/10
 - La suspension est agitée de façon intermittente pendant 15 heures
 - Agiter de nouveau et centrifuger à 3 000 t/mn pendant 30mn
 - Après filtrage, prélever 50 ml de la solution et ajouter 5 ml d' H_2SO_4 ; agiter et laisser au repos pendant une nuit
 - Au bout de 24 heures, il y a séparation des différents éléments
 - Centrifuger à nouveau à 3000 t/Mn pendant 15 mn
 - Préparer une solution d' H_2SO_4 0,1 N. Après cette centrifugation, la partie claire de la solution sera vidée. Ce sont les acides fulviques. On recueille la partie restante qui est soluble. Ajouter le H_2SO_4 0,1 N. Centrifuger à nouveau le résidu. On obtient les acides humiques. Transvaser dans un fiole de 100 ml à façon à ne rien perdre et rajuster le niveau avec de la soude N/10.
 - Prélever 10 ml de la solution à l'aide d'une pipette et les mettre dans un ERLEMEYER puis chauffer à une température de $70^\circ C$. (temps limité pour ne provoquer l'oxydation). Il restera, après évaporation un résidu sec dans le ERLEMEYER.
Procéder à l'oxydation dans les conditions suivantes :
- * ajouter 10 ml de la solution $K_2Cr_2O_7$ à 2 %
 - * porter à ébullition sur une plaque chauffante de 160 à $180^\circ C$ pendant 5 mn.
 - * laisser refroidir et rincer l'entonnoire
 - * doser le $K_2Cr_2O_7$ à 2 % non réduit par le sol de MOHR 0,2 N
 - * faire un témoin dans les mêmes conditions en faisant évaporer 10 ml de solution $K_2Cr_2O_7$.

TAB EAU DE PRODUCTION DE GAZ PAR JOUR

ANNEXE II

fermenteur	mesures	1ej	2ej	3ej	4ej	5ej	6ej	7ej	8ej	9ej	10ej	11ej	12ej	13ej	14ej	15ej	16ej	17ej
F _I	vo: (m ³)	66	197	300	183	188	170	168	190	220	217	221	107	250	250	250	175	250
	Temp °C.	31	30	30	30	30	30	31	32	31	34	32	35	37	32	32	33	30
F _{II}	Vol.	300	565	248	89	103	207	316	450	250	250	400	2050	2100	510	510	1030	600
	Temp.	27	26	30	31	33	31	33	36	33	33	32	30	35	35	35	32	34
F _{III}	Vol.	222	207	460	100	100	180	310	300	traces		300	210	200	180	150	100	100
	Temp.	31	33	36	32	33	32	30	34	34	34	32	34	34	34	33	32	32
F _{IV}	Vol.	50	traces	traces	50	260	10	70	50	40	30	traces	100	30	30	160	100	60
	Temp.	29	34	35	32	35	35	32	33	32	32	34	34	37	37	340	35	30
F _V	Vol.	200	200	300	400	600	600	100	70	60	60	20	20	10				
	Temp.	33°	33°	33°	34°	32°	34°	37	37	32	32	35	35	35				

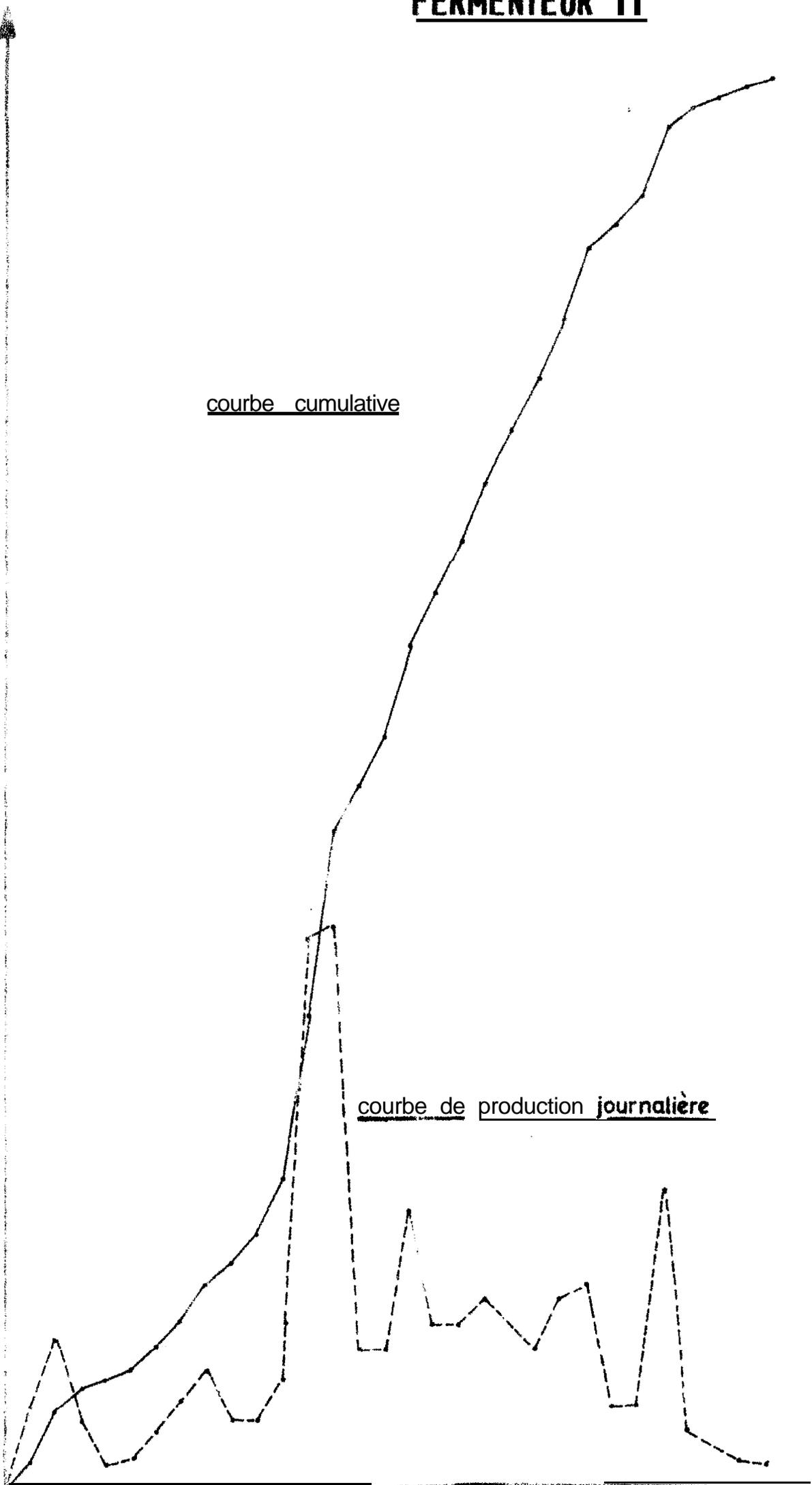
18j	19j	20j	21	22	23j	24j	25j	26j	27j	28j	29	30	TOTAL	Moy. Journal,
220	180	180	300	70	50	45	45	45	40	00	150	150	4697	157 Ml
35	35	35	32	34	34	34	33	33	33	31	35	37	983	33°C
600	700	600	00	700	750	300	300	1100	200	150	100	90	16565	552 ml/j
34	32	32	5	33	33	36	36	30	32	34	37	37	988	33°C
40	100	100	32	80	100	50	40	60	50	20	0	0	3919	131 ml/j
32	36	36	34	33	33	32	32	34	34	36	37	37	1006	34°C
6	40	20	34	20	2								1290	43 ml/j
33	34	34	34	34	34								774	35°C
													2710	208 ml/j
													442	34°C

FERMENTEUR II

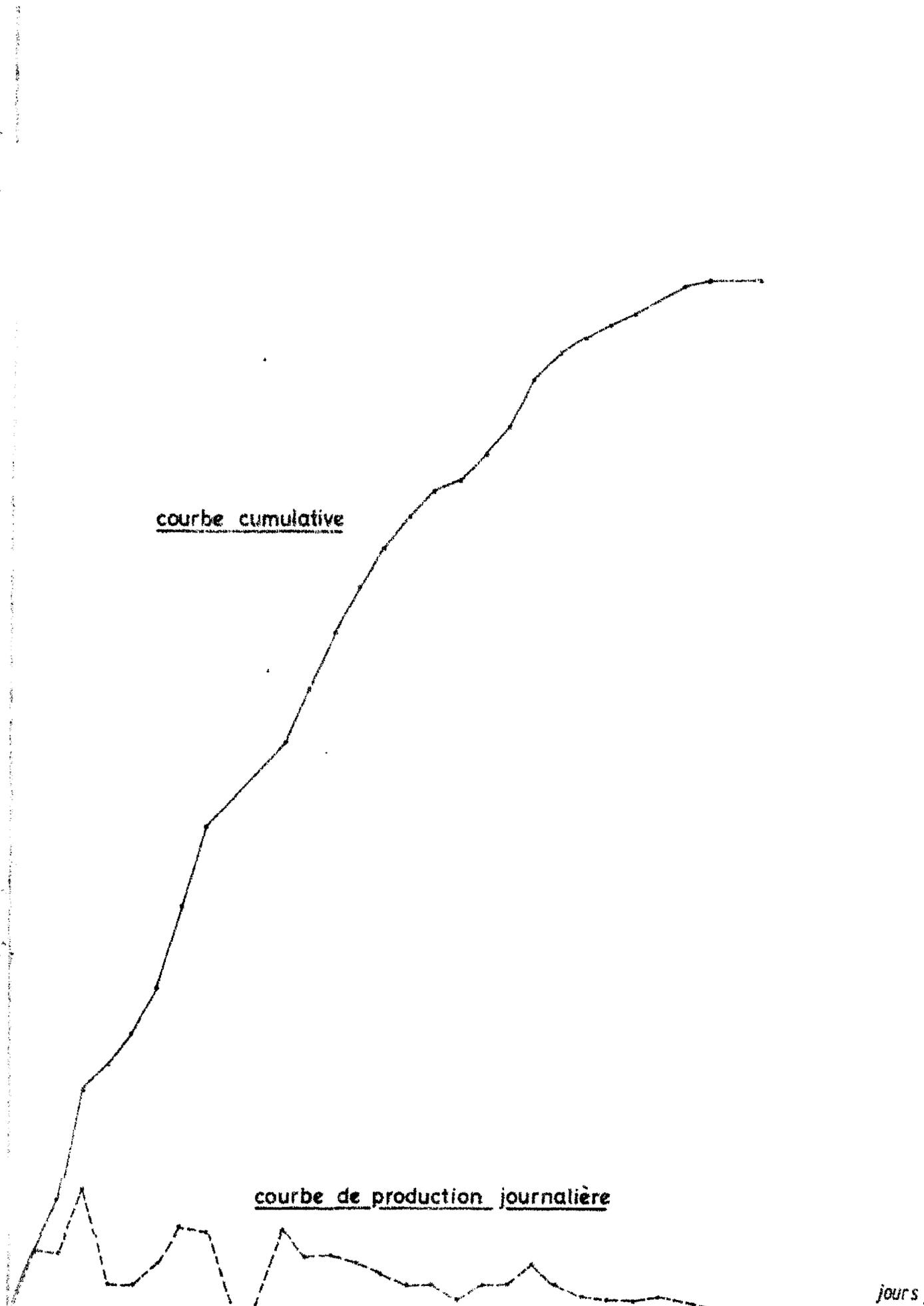
courbe cumulative

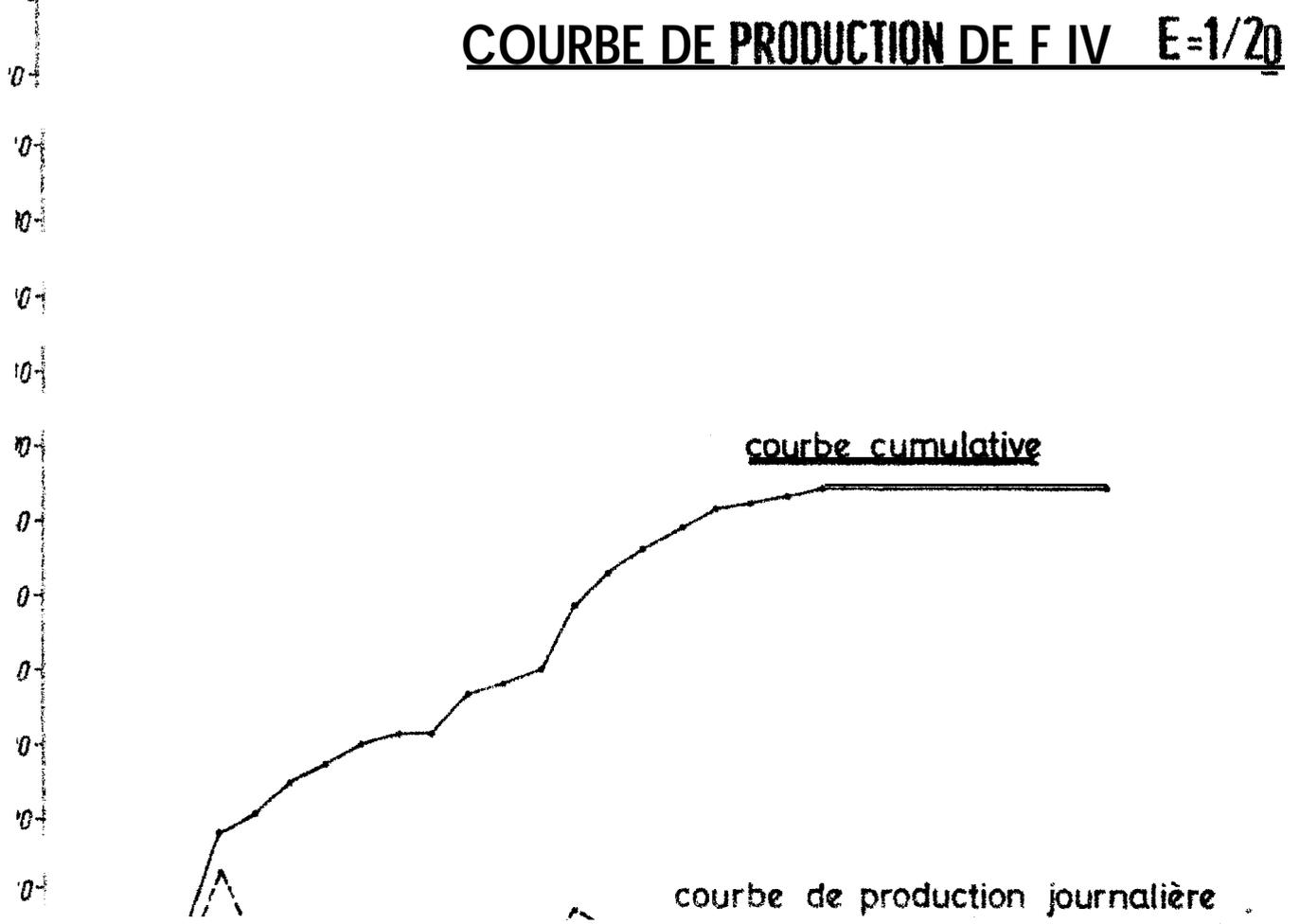
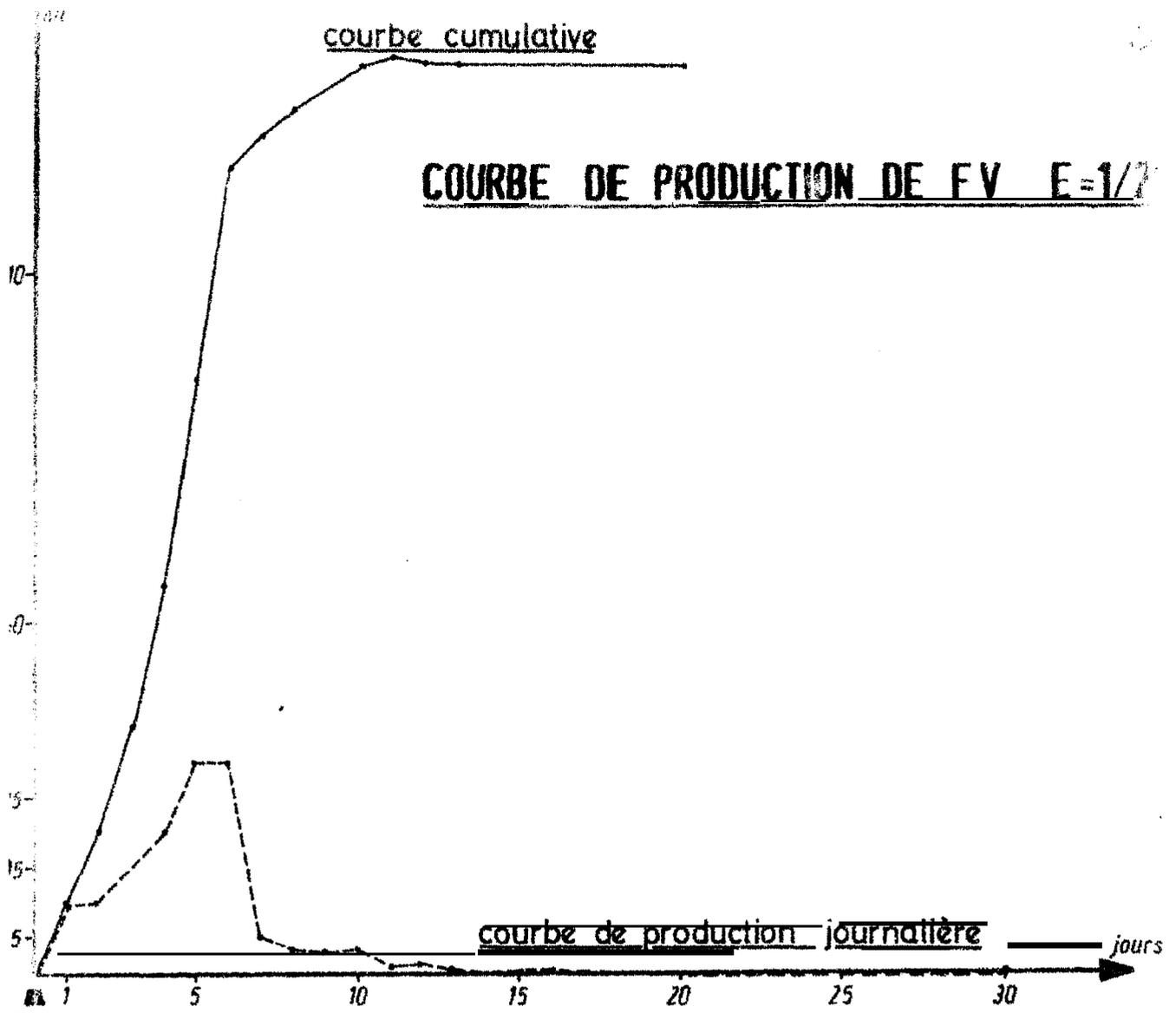
courbe de production journalière

jours



COURBE DE PRODUCTION JOURNALIERE DE FIII ET COURBE
CUMULATRICE E=1/20





Nature	t ₀	état (initiale)	t ₁	fin de la pré- fermentation	t ₂	fin de la f- mentation
<u>HUMIDITE</u>	23,01 %	I - 5 j		328 %		430,46 %
		II - 10 j		351 %		408
		III - 15 j		773 %		255,75 %
		IV - 20 j		299 %		243,17 %
		V - 30 j		306 %		280,34 %
<u>TEMPERATURE</u>	30°C	I - 5 j f		29°C		37°C
		II - 10 j		30°C		37°C
		III - 15 j		30°C		37°C
		IV - 20 j		32°C		34°C
		V - 30 j		31°C		35°C
<u>ACIDES HUMIQUES</u>	1,44 %	I - 5 j		8,70 %		29,15 %
		II - 10 j		2,952 %		19,93 %
		III - 15 j		4,468 %		28,07 %
		IV - 20 j		14,14 %		22,26 %
		V - 30 j		23,37 %		25,46 %
<u>CARBONE</u>	32,90 %	I - 5 j		29,21 %		23,68 %
		II - 10 j		28,91 %		25,63 %
		III - 15 j		28,76 %		27,06 %
		IV - 20 j		29,02 %		24,91 %
		V - 30 j		24,60 %		18,43 %
<u>P H</u>	8,3	I - 5 j		9,6		9,6
		II - 10 j		8		9,4
		III - 15 j		7,7		9,3
		IV - 20 j		9,6		9,7
		V - 30 j		9,5		9,6

Pature	(état to initiale	Nombre de jours en aérobiose	t1 (fin de la fermentation)	t2 (fin de la fer- mentation)
AZOTE	1,658 %	I 5 jours	1,14 %	1,047 %
		II 10 jours	1,282 %	1,174 %
		III 15 jours	1,18 %	1,011 %
		IV 20 jours	1,23 %	1,195%
		V 30 jours	1,244 %	1,110 %
RAPPORT $\frac{C}{N}$		I 5 jours	25,62	22,77
		II 10 jours	22,55	21,91
		III 15 jours	24,37	26,79
		IV 20 jours	23,574	20,93
		V 30 jours	19,839	15,75

Remarque : On note une baisse du carbone et de l'azote au cours du temps, ainsi qu'une baisse du rapport $\frac{C}{N}$.

ANNEXE III • LE FERMENTEUR DE NDIUKH • FISSEL AU SENEGAL

En 1978, un fermenteur a été installé par l'organisme CARITAS dans le village de Ndioukh-Fissel, arrondissement de Thiadiaye.

Il s'agit d'un système à alimentation continu de type indien. La cuve et les différentes fosses sont en béton, tandis que la cloche est métallique. Les tuyaux de distribution du gaz sont en P.V.C.

La matière lère utilisée est constituée de fumier essentiellement bovin, et de fèces humains en provenance de la latrine voisine dont la cuve du fermenteur constitue la fosse septique. L'approvisionnement devrait être régulier et si possible quotidien. Mais les agriculteurs ont beaucoup de difficultés à rassembler la matière lère animale car ils n'ont pas d'étables où les animaux sont parqués ou stabulés. Ainsi ils doivent récupérer le fumier sur les emplacements de parcage ou dans les pâturages, ce qui constitue un lourd travail. De fait, aucun nouvel approvisionnement n'a été réalisé depuis la mise en route de l'installation en juin*. Il apparaît alors qu'une telle installation devrait s'accompagner d'un mode spécifique d'habitat des animaux d'élevage qui permette de récolter le fumier avec le moins de travail possible et dans un état déjà fin de conditionnement. En effet, ce type de fermenteur n'autorise pas l'utilisation d'éléments grossiers (10 cm de longueur environ), tandis que le mélange avec l'eau dans la fosse de préfermentation aérobie est d'autant plus difficile que le substrat est plus grossier,

La production de gaz a démarré quinze jours après la fermeture de la cuve. Elle est supérieure aux besoins, si bien que la cloche s'est largement élevée au point que les agriculteurs l'ont chargée de poids pour empêcher qu'elle ne dépasse les limites de déplacements indiquées. En effet il était prévu une utilisation par 8 carrés, mais seul un carré actuellement consomme le gaz. Il n'y a pas de compteur dans l'installation qui permettrait d'estimer la quantité de gaz produite.

Un tuyau en P.V.C amène le gaz à un réchaud installé dans un carré pour la cuisson des aliments, tandis qu'un autre tuyau le conduit à une lampe à gaz installée dans une autre case. Pour une seule famille cette utilisation du gaz est nettement inférieure à la production de l'installation dont la cuve a un volume de 15 m³.

* Ce fait serait dû essentiellement à un excès de travail pendant l'hivernage, qui ne laisse pas assez de temps aux agriculteurs pour s'occuper de l'approvisionnement du digesteur.

ANNEXE IV - INSTITUTS ET PERSONNALITES AYANT UNE EXPERIENCE DANS
LA PRODUCTION DE BXO-GAZ

-
- ALLEMAGNE - Ludwigrasse Building Engineer. Hoffnungstrasse 33
33000 BREMEN - R. F. A.
- AUSTRALIE - John GOULTHARD Cnambourne South. FAKENHAM VICTORIA
Australie
- CAMEROUN - Claude MARTI - Institut polytechnique du Cameroun
YAOUNDE
- CANADA - L. VAN DEMBERG - C.P. LENTZ Division of Biological
Sciences. National Research Council of Canada, OTTAWA
ONTARIO - Canada.
- C.R.D.I (Centre de recherche pour le développement
international). Box 8500 OTTAWA - 60 Queen Street
OTTAWA - Canada K1G.3H9.
- CHINE - Research institute of agricultural sciences of Jiangsu
Province. NANJING - République populaire de Chine.
- ETATS-UNIS - GOLUEKE-OSWALD - University of Berkeley - CALIFORNIA
- P. R. DUGAN - Department of microbiology - The Ohio
State University COLUMBUS - OHIO 43 2/s U. S. A.
- M. P. BRYANT - Department of Dairy Science - University
of Illinois - URBANA - ILLINOIS 61801. U. S. A.
- New Alchemy Institute. P. O. Box 432. Woods Hole
MASSACHUSETTS 02543 - U. S. A.
- R. A. STOUT - Agricultural Engineering Department -
Michigan State University - East Lansing - MICHIGAN
48824 - U. S. A.
- FRANCE-ZELTER- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique)
laboratoire d'écologie microbienne C. N. R. Z. JOUY EN
JOSAS 78 350
- G. R. E. T (Groupe de Recherche et d'Echanges Techniques)
34 rue Dumont d'Urville 75116 PARIS
- I. T. C. F (Institut Technique des Cultures Fourragères)
91720 BOIGNEUVILLE
- I. R. C. H. A (Institut de Recherche de Chimie Appliquée)
16 rue J. Césaire 75012 PARIS
- I. R. A. T. 42 avenue de la belle gabriella NOGENT SUR
MARNE
- M. COZOT SAINT MAURICE SUR PESSARO - 45700 MONTARGIS
- M. CHEVALIER - La grande Givière en Javenars. 35300
FOUGERES
- M. CHAPUIS - Le moulin Maurt. 88200 XERTIGNY
- A. LE BRUSQ - Pouldergat 29100 DOUARIZ
- 1 SMAN - 6 Avenue JOFFRE 94100 SAINT MAUR DES FOSSES.

- HAUTE-VOLTA - B. LIDON - M. NACRO - C.I.E.H (Comité Inter africain d'études Hydrauliques) B.P. 369 OUAGADOUGOU
- T. DIAO - Catholic Relief service - OUAGADOUGOU
- INDE
- R.B. SINGH - Gobargaz resaarch station - Ajitmal ETAWAH
- G.D. MINON - Agriculture Science Centre - Kastubagnom INDORE (M.P)
- A. SINGH - Intensive area development scheme - Vikas Samiti Sevapuri (U.P.)
- K.N. REDDY - K.S. JAGADISH. ASTRA Project. Indian Institute of Science EANGALORE 560.012.
- PATEL - K.V.T.C - 3 irla road ville parle BOMBAY 400 056
- JAPON
- S.OI - Y. MATSUI - M. IIZUKA - T. YAMAMOTO - Faculty of Science - Osaka city Univorsity - Sugimoto-cho - Sumiyoshi - Ku OSAKA 558
- PAKISTAN
- M.J. MEHAR - Appropriate Technology Development Or a-nisation - 1-B, 47th Street - F. 711 (P.O Box 13063 ISLAMABAD
- PAPOUASIS-NOUVELLE GUINEE
- G.L. CHAN - Environmental Health - University of Papua New GUINEA
- PAYS-BAS
- J. DEWAART - Central Instituto for Nutrition and food Research T.N.O P.O. Box 360 - 3700 1.J. ZEIST NETHERLANDS
- ROYAUME UNI
- I.T.D.G. (Intermediate Technology Development Group) 9 King street LONDON W.G.2.
- D.L. PYLE - Department of Chcmical Engineering and Chcmical Tcchnology - Imperial College - Prince Cousort road LONDON SW7 2BY
- P.D. DUNN - Dapartment of Engineering - The University of Reading - White Knights - READING. RG6 ZAY
- Scottinh Marine Biological Association Dunstaffragc. Marine Research Laboratory P.O. Box 3. Oban ARGYLL PA 344 AD - (Scotland)
- P.N. HOBSON Rowett Research Instituts. Bucksburn ABERDEEN (Scotland)
- G. ADER. Ader and Associatos Ltd. P.O. Box 63. Gainsford House West Wickam Kent.
- D. STAFFORD. The Industry Centre Univarsity of Cardiff CARDIFF WALES

RWANDA

- C. E. A. E. R. - Departament de physique - Université Nationale du Rwanda BUTARE

SENEGAL

- Philip LANGLEY ENDA B.P. 3370 DAKAR
- CARIAS km 11 route de Rufisque THIAROYE
- P.D. CHUNG - Division Joint Courmission of Rural. Reconstruction 37 Nan Hai road - TAYSEI 107

ZAIRE

- F. PLUN - B.P. 854 BUKAVU KIVU

ZAMBIE

- L. HOLLAND - Manager family farms P.O.R.W 285 LUSAKA.

BIBLIOGRAPHIE

- RAN BUX SINCH - 1971 "Bio-gas plants", Gobar gas research station Ajitmal Etawah (U.P) INDE
- A. BARNETT - L. PYLE - S.K. SUBRAMANIAN - 1978 "Bio-gas Technology in the third world - a multidisciplinary review" C.R.D.I. (International Development Research Centre) Box 8500 OTTAWA CANADA K1G 3H9
- N.A.S. - 1977 "Methane generation from Human, animal and agricultural wastes" NAS (National Academy of Sciences) 2101 Constitution avenue Washington D.C. 20418 U.S.A.
- DUCELIER-ISMAN - 1952 - "Le gaz de fumier - Dernières techniques de production et d'utilisation". La diffusion nouvelle du livre.
- NEW ALCHEMY INSTITUTE - "Méthane digesters for fuel gas and fertilizers" P.O. Box 432 - Wood Hole Massachussets 02583 U.S.A.
- J.L. FRY - 1974 "Practical building of methane power plants for rural energy independence" éd. D.A. KNOX. Andover - Hampshire U.K.
- M.G. Mac. GARRY - 3. STAINFORTH "Compost, Fertilizer and biogas production from human and farm wastes in the people republic of China". C.R.D.I. Box 8500 OTTAWA - CANADA K1G 3H9
- B. LIDON - P. MORANT - M. MACRO - 1978 "Expérimentation des moyens de production de compost enrichi et d'énergie en milieu rural. C.I.E.H (Comité interafricain d'études hydrauliques) B.P. 369 Ouagadougou HAUTE-VOLTA
- HUU-BANG DAO - 1974 "Production et utilisations de gaz de fumier" CNEEMA B.I. n° 200
- F.A.O. - 1978 "China : rccycling of organic wastes in agriculture"
- B.A. STOUT - T.L. LONDON - 1977 "Energy from organic residues" UNEP/FAO - Seminar on Residue utilization Management of Agricultural and agro-industrial waster.
- J.J. DREVON - D. THERY - 1977 "Ecodeveloppement et industrialisation. Renouvelabilité et nouveaux usages de la biomasse". Cahier d'écodeveloppement n° 9. CIRED Maison des sciences de l'homme 54 Bld Raspail. PARIS 75-014
- C.R. PRASAD - R.K. PRASAD A.K.W. REDDY - 1976 "Gaz plants prospects - problcms and tasks" Economical and political weekly n° 32 1976. BOMBAV - INDE.

- H.R. SRINIVASAN - "Gobar gas scheme" Khadi and village industries commission 3 irla road - vile parle (West) Bombay 400056 INDE
- M. ISMAN • 1974 "Les problèmes de l'énergie - Energie solaire et gaz de fumier" Sciences et techniques n° 18
- M. BLANC - M. PERRARD - 1957 "Une installation modèle pour la production de gaz de fumier à l'abbaye du Mont des Cats". La technique agricole n° 112
- M. LUCAS • 1977 "L'utilisation des sous produits agricoles" Tracteur8 et machines agricoles juin 77
- H. BICHAT • 1975 "Aperçus sur la valorisation énergétique des sous produits agricoles tropicaux" CNEEMA
- "Ramassage, manutention et valorisation des résidus de récolte" Salon international de la machine agricole SIMA 1977.- 24 rue du port 92 521 Neuilly/Seine France
- C. FREEMAN - L. PYLE - "Méthane, generation by anaerobic fermentation : an annotated bibliography" I.T.D.G. 9 King street. London WC 2 E 8HN U.K.
- M. ALMASSI - P.D. DUNN - 1974 "Generation of méthane from farm waste materials" - Méthane colloquim - Imperial college - 1974 - Londres.
- 3, de WAART - M.M. VAN DER MOST - W. KNOL 1976 "Production of energy and non offensively smelling sludge from liquid pig manure" 5th International fermentation symposium Berlin 1976
- L. VAN DEN BERG - C.P. LENTZ - 1977 "Food processing waste treatment by anaerobic digestion" Industrial conference at purdue university - Lafayette Indiana - U.S.A.
- V.H. VAREL - H.R. ISAACSON - M.P. BRYANT - 1977 "Thermophylic méthane production from cattle waste". Applied and Environmental Microbiology 1977 pp. 298.307.
- A.W. KHAN • "Anaerobic degradation of cellulose by mixed culture". Canadian journal of Microbiology 23 p.p 1700 - 1705.

APPROPRIATE TECHNOLOGY DEVELOPMENT ORGANIZATION "Gobargas an alternate way of handling the village fuel problem : I.B Stroot 47th F.7/1. Islamabad PAKISTAN.