

I. S. R. A.
INSTITUT SENÉGALEAIS DE RECHERCHES AGRICOLES
SECRETARIAT D'ETAT
A LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
B.P. 3120
DAKAR (Rép. du Sénégal)

ISRA - CNRA
Bibliothèque
RAMBEY

I. R. A. T. / C. I. R. A. D.
DIVISION ECONOMIE
ET VALORISATION DE L'EAU

Bibliothèque des Soles
Section BIOGAZ

CN0101317
0065
FAR

PRODUCTION CONTINUE DE BIOGAZ POUR LA PETITE MOTORISATION RURALE

III

RESULTATS DE SAISON SECHE CHAUDE

J.L. FARINET - C.Y. BOQUIEN

Département Systèmes de production
et transfert de technologies en milieu rural (I.S.R.A.)

Septembre 1984

A. F. M. E.
AGENCE FRANÇAISE POUR LA MAITRISE
DE L'ENERGIE
27, rue Louis Vicat
75015 PARIS

PROGRAMME EMI RAT

I. R. A. T. / D. E. I. V. E.
B.P. 37
34980 SAINT-CLEMENT-LA-RIVIERE
Tél. (67) 84 09.56 - Télex 480573F
Série D.E.V.E. N° 22

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
1 - UNITE DE PRODUCTION AGRICOLE	2
11. Bilan des productions maraichères	2
12. couverture des besoins en eau des cultures	3
2 - UNITE D'ELEVAGE ET DE PRODUCTION DE FUMIER	5
3 - UNITE DE PRODUCTION DE BIOGAZ ET DE COMPOST	5
31. Production de biogaz	5
32. production de compost	12
33. Bilan matière, carbone et azote	13
4 - UNITE D'IRRIGATION ET D'UTILISATION DU BIDGAZ	15
41. Bilan de l'utilisation du biogaz	15
42. Bilan de fonctionnement du groupe moto-alternateur	17
5 - RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS	18
6 - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	18
BIBLIOGRAPHIE	20
ANNEXES	21

INTRODUCTION

Ce rapport fait suite à celui élaboré en mars 1984 présentant les premiers résultats de saison sèche froide.

Nous rappellerons que, suite à divers problèmes de démarrage, le fonctionnement de tous les appareillages n'est effectif que depuis février 1984 (fermentation, motorisation, irrigation).

Si de nombreux essais sont encore en place sur les différentes unités, les résultats présentés commencent néanmoins à refléter le fonctionnement en autonomie du module intégré.

Compte tenu de sa vocation expérimentale, un bilan économique réel du module ne semble pas réaliste. Cependant, la collecte systématique des données et des performances du matériel en place contribuera à l'évaluation agro-économique du projet "production continue de biogaz pour la petite motorisation rurale".

1 - UNITE DE PRODUCTION AGRICOLE

Globalement, la saison sèche **1983-1984 est caractérisée** sur l'Unité par 3 types de cultures :

- 1 sole fourragère de 1 700 m² mise en place à partir de Mars **1984**.
- 1 sole maraîchère de 600 m² plantée en **décembre 1983**.

1 "jachère" de niébé fourrager implantée au fur et à mesure des récoltes maraîchères.

Suite à des conditions d'irrigation précaires en Avril et Mai, les fourrages repiqués n'ont commencé à se développer qu'en Juin. Les productions et rendements seront mesurés en saison des pluies et consignés dans le rapport correspondant.

Le niébé fourrager, semé au fur et à mesure des récoltes maraîchères, a donné des résultats satisfaisants. La production de matière verte (fanés + gousse) peut-être estimée à 2 tonnes soit un rendement de **16,7 tonnes/ha** et un disponible fourrager de 280 UF. Cette production a permis l'alimentation correcte du bétail durant la période de "soudure".

11. Bilan des productions maraîchères

La campagne a débuté bien avant le début de la saison sèche chaude (Janvier 1984). Nous avons donc fait un bilan de toute la campagne maraîchère, soit pour la période de Janvier à Juin **1984**.

De Janvier à Mars, la sole maraîchère a été arrosée manuellement (arrosoir). A partir d'Avril, le système d'irrigation était mis en place. En cas de déficit en eau ou en biogaz, la priorité d'irrigation était donnée au maraîchage. (tableau n°2).

Les rendements en tomates (rossol et small fry), en oignons (texas grano) et en choux (acre d'or) sont satisfaisants et comparables à ceux enregistrés en année favorable à la ferme irriguée du CNRA.

Tableau 1 - cultures maraîchères : surface, production, rendement

VARIETES	surface cultivée m ²	Production kg	Rendement t/ha
Tomates 1er date small fry	87	528	61
2e date	65	247	38
tomates Rossol	87	201	23
Oignons texas grano	131	584	45
Choux acre d'or	44	120	27

On notera que pour cette première année :

- La surface cultivée est réduite (surface utile = 414 m² ; surface totale = 600 m²).
- Le compost biogaz n'a pas été utilisé sur le maraîchage. (du fumier 15 t/ha a cependant été épandu sur la sole et enfoui à la charrue).
- Les différentes productions ont essentiellement été vendues au personnel du CNRA. L'argent provenant de la vente du maraîchage (157.500 CFA) a été utilisé pour l'achat du petit matériel. Au 1er Juillet 1984, 130.000 F.CFA avaient ainsi été dépensés.
- Le maraîchage est un des 2 ateliers produisant des ressources financières dans une installation biogaz TRANSPAILLE. Ce sont les résultats financiers qui motivent les acquéreurs éventuels de ce type d'installation.

Résultats pour 1984

380 FCFA/m² surface utile,
263 FCFA/m² surface totale.

Suite aux problèmes d'exploitation en début de culture, un bilan économique plus poussé n'est pas envisageable en cette première année.

Perspectives de maraîchage pour l'année 1984-1985

La mise en place des pépinières se fera fin août 1984.

La superficie du maraîchage sera augmentée (1000m² ST). Les cultures suivantes seront implantées : tomates, choux, oignons, melons, pastèques. Compte tenu des essais mis en place sur les fosses de finition du compost, les tests agronomiques sur le maraîchage ne pourront être effectués cette année.

12. Couverture des besoins en eau des cultures

Le tableau n°2 donne la couverture des besoins en eau par irrigation biogaz de Mars à Juin 1984. On peut remarquer que la majorité du déficit est causée par des disponibilités en eau réduites au niveau du puits. Le seul déficit en biogaz, encouru durant la 2ème décade du mois d'Avril, est dû à une brusque chute de température (CF courbes en annexe).

En cas de déficit, la priorité d'irrigation a été donnée au maraîchage afin de préserver les cultures de rente directe. Compte tenu de la production de biogaz moyenne durant la saison sèche chaude, la durée d'irrigation maximale est de 2 heures par jour ; ce qui représente la couverture des besoins en eau d'une sole de 2500 m² de Mars à Juin (10 mm/j). Ce résultat tient compte des caractéristiques d'exhaure et d'irrigation en place sur l'unité.

En pratique, les problèmes de réseau d'irrigation et les disponibilités réduites en eau ont considérablement diminué la durée maximale d'irrigation et par conséquent la surface irrigable.

Tableau n° 2 : Saison sèche chaude 1984 - Couverture des besoins en eau par irrigation biogaz

DECADES	SURFACES CULTIVEES (M2)			BESOINS EN EAU TOTAUX (m3/j)	COUVERTURE DES BESOINS (%)			CAUSES DU DEFICIT
	Fourrage	Maraichage	Niébé		Fourrage	Maraichage	Niébé	
MARS 1 2 3	1 700 1 700 1 700	600 600 600		26 22 24,5	78 84 62	100 85 100		Disponibilité en eau " " " "
AVRIL 1 2 3	1 700 1 700 1 700	600 300 300	600 600	24 25,5 24	67 46 40	100 100 100	100 100	Disponibilité en eau Déficit gaz Disponibilité en eau
MAI 1 2 3	1 700 1 700 1 700	300 300	600 600 1 200	23 24 26	58 45 45	100 100	100 100 73	Fuites réseau irrigation Disponibilité en eau " "
JUIN 1 2 3	1 700 1 700 1 700		1 200 1 200 1 200	25 24 25	52 100 100		68 100 100	Fuites réseau irrigation

2 - UNITE D'ELEVAGE ET DE PRODUCTION DE FUMIER

A partir du 25 Avril 1984, 2 bouvillons de 250 à 300 kg ont été introduits sur l'unité afin de mesurer la production et la composition du fumier avec 4 animaux en place (trait + embouche). Compte tenu du type d'alimentation distribué pendant la période des mesures (fanés légumineuses et concentré), les refus alimentaires sont inexistantes.

Production de fumier et de fécès du 25.04.84 au 29.06.84 (66 j.)

<u>Input</u>	<u>Poids brut</u>	<u>MS</u>	<u>Poids sec</u>
Litière (paille de mil)	1414,3 kg	90 %	1272,9 kg
<u>Output</u>			
Fumier	5614,5 kg	37 %	2077,4 kg

La production de fécès obtenue par différence est de 804,5 kg MS. Si l'on tient compte des résultats du précédent rapport, on peut estimer la production de fécès des bouvillons :

Donnée	Boeufs de trait 400 kg	3,8 kg MS/tête/j
d'où	Bouvillons 250 à 300 kg	2,3 kg MS/tête/j

La production journalière de fumier est de 31,5 kg MS, la composition étant voisine de 60 % paille, 40 % fécès.

Les disponibilités réduites en paille ne nous ont pas permis d'augmenter le taux de litière et d'approcher ainsi la charge maximale du fermenteur fixée à 42 kg MS/j.

3 - UNITE DE PRODUCTION DE BIOGAZ ET DE COMPOST

Les résultats concernant le fermenteur Transpaille durant la saison sèche chaude (SSC) sont ainsi présentés :

- résultats de production de biogaz et de compost,
- bilans globaux (matière, carbone, azote).

31. Production de biogaz

a) Résultats généraux

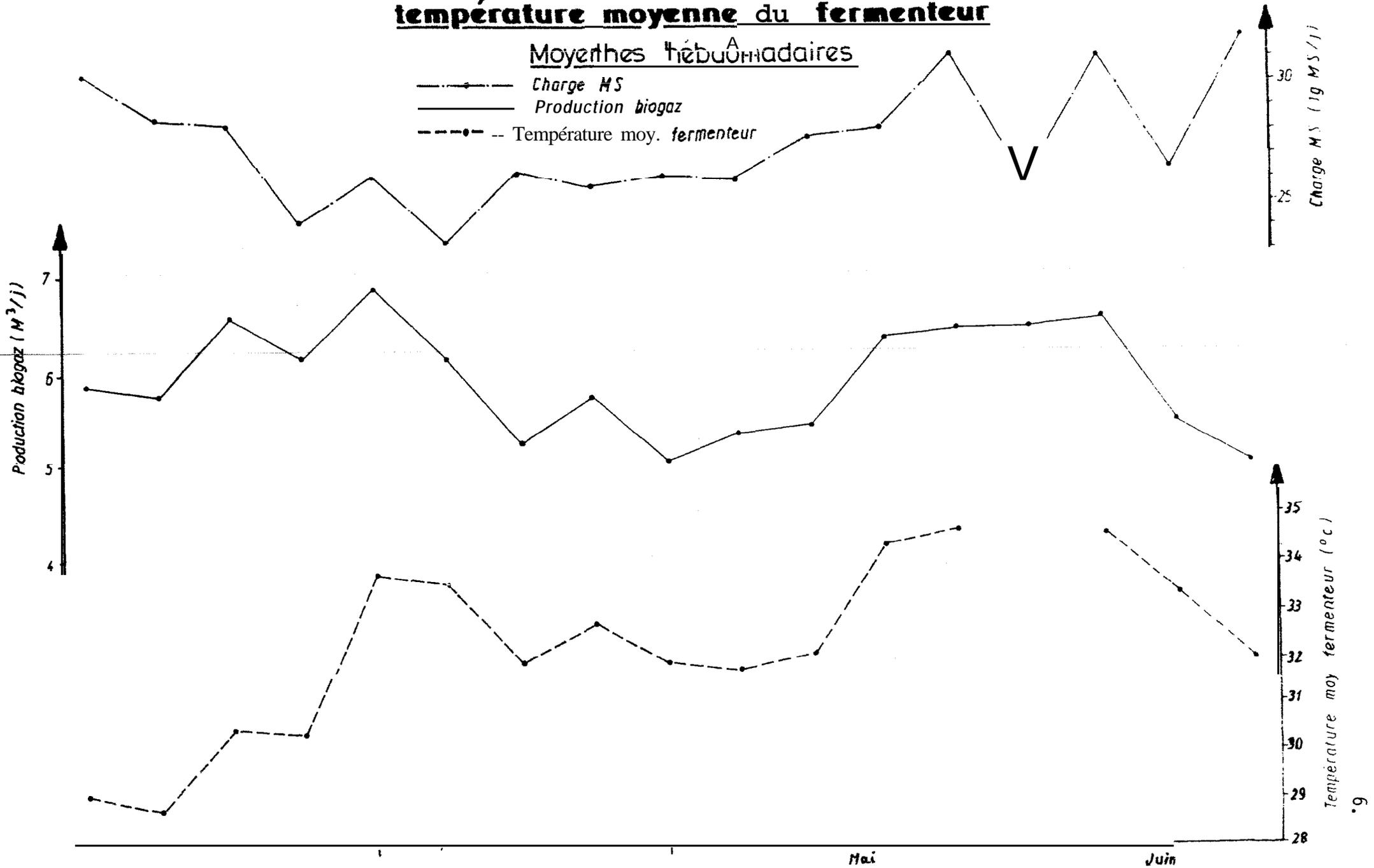
Les relevés journaliers concernant le fonctionnement général de l'unité sont présentés en annexe. Les bilans hebdomadaires sont donnés tableau n°3 et figure n°1.

Durant les 4 mois de SSC, le fonctionnement du fermenteur est caractérisé par une charge moyenne de 28 kg MS/j, soit 67 % de la charge maximum admissible. La température du fermenteur varie de 29°C en Mars à un maximum de 35°C en Mai.

Fig. n° 1 . : Saison sèche chaude 1984 - Production biogaz, charge massique et température moyenne du fermenteur

Moyennes hebdomadaires

- Charge MS
- Production biogaz
- - -●- - - Température moy. fermenteur



Dans ces conditions de fonctionnement, la production de biogaz varie entre 5 et 7 m³/j, la moyenne calculée étant de 6 m³/j, soit 0,67 m³/m³ fermenteur/j.

Etant donné les variations de charge et de température, le rendement moyen, exprimé en m³ biogaz/tonne MS introduite, n'est considéré que comme un Indicateur du fonctionnement. D'un point de vue expérimental, le calcul du rendement nécessite en effet une charge constante durant un temps supérieur au temps de rétention (voir 3.1 b).

Le fonctionnement mécanique du fermenteur n'a posé aucun problème particulier durant ces 4 mois.

b) Influence de la température

L'influence de la température du fermenteur sur la production de biogaz ne peut être étudiée que dans les conditions suivantes :

- charge du fermenteur constante,
- régime continu,

En d'autres termes, la charge doit rester constante pendant un temps supérieur au temps de rétention.

Durant la SSC, nous ne disposons pour ainsi dire pas de telles conditions, sauf dans le cas suivant :

<u>Semaines S32 - S33 -S34 :</u>	26,1 < charge < 27,9 kg MS/j	
	Charge moyenne	= 26,7 kg MS/j
	Production biogaz moyenne	= 5,3 m ³ /j
	température	= 31,8 à 32,2°C
<u>Semaine S35 - S36 -S37 :</u>	26 < charge < 31,2 kg MS/J	
	Charge moyenne	= 28,4
	Production biogaz moyenne	= 6,5
	température	= 34,1 à 35°C

C'est la température qui explique que la production de biogaz soit supérieure pendant les semaines 35 à 37 par rapport aux semaines 32 à 34. La différence de charge (1,70 kg MS) ne suffit pas à expliquer la différence de production de biogaz.

Ceci est un exemple, dont l'interprétation est extrêmement délicate.

Il serait envisageable de collecter des données d'une année entière sur ordinateur et de rechercher ensuite des périodes suffisamment longues où la charge est restée constante. Dans ce cas, les résultats seraient interprétés en étudiant l'influence de la température.

c) Composition du biogaz

Pendant la SSC, des analyses de biogaz ont été effectuées 2 fois par semaine à la sortie du fermenteur (mesure du CO₂ par un appareil portable FYRITE).

Tableau n° 3 : Moyennes hebdomadaires - Production de biogaz, charge massique, température et rendements -

Numéro(1) de Semaine	Charge MS Moyenne (kg MS/j)	Prod.Moy. biogaz (M3/j)	rend. moyen m3 biogaz/ tonne MS)	Produc.moy. m3 biogaz/ m3 ferm /j	Température fermenteur Mini/Maxi (°C)
S24	30,2	5,9	195	0,66	28,1/30,1
S25	28,5	5,8	204	0,64	28 /29,6
S26	28,2	6,6	234	0,73	29,9/31,1
S27	24,2	6,2	256	0,69	29,2/31,5
S28	26,1	6,9	265	0,77	33,1/34/6
S29	23,5	6,2	261	0,69	-/-
S30	26,3	5,3	202	0,59	33,7/32,4
S31	25,7	5,8	226	0,64	31,7/32,4
S32	26,1	5,1	198	0,57	33,2/32,5
s33	26,1	5,4	206	0,60	31,9/31,9
s34	27,9	5,5	198	0,61	32 /32,5
s35	28,1	6,4	228	0,71	34,1/34,8
S36	31,2	6,5	208	0,72	34,2/35,1
s37	26	6,5	253	0,73	-/-
S38	31,3	6,6	213	0,74	34,3/34,9
s39	26,3	5,5	219	0,62	32,5/34,3
S40	32	5,1	159	0,57	31,3/32,8
s41	40,8	5,7	140	0,63	-/-

(1) S1 correspond au démarrage du fermenteur en Septembre 1983.

Les résultats sont les suivants :

$$(\% \text{ CO}_2) = 46,9 \quad (\% \text{ CH}_4) = 1 - (\% \text{ CO}_2) = 53,1$$

En fait, ces résultats sont assez imprécis. Des analyses par chromatographie en phase gazeuse (CPG) ont été effectuées à l'ENSUT (Dakar).

Seuls 2 échantillons ont été dosés ; les résultats sont les suivants :

$$(\% \text{ CH}_4) = 61,3$$

$$(\% \text{ CO}_2) = 38,7$$

CONCLUSIONS

- Le FYRITE minore le taux de CH₄ contenu dans le gaz. Il ne nous donne qu'une indication sur la teneur en méthane ;

- Le biogaz a un taux correct en CH₄. Connaissant précisément le pourcentage en CH₄, on détermine le pouvoir calorifique inférieur du biogaz :

$$C = 8\,500 \times (\% \text{ CH}_4) = 5210 \text{ kcal/m}^3 \text{ (PCI CH}_4 \text{ : } 8\,500 \text{ kcal/m}^3)$$

Cette valeur sera utilisée pour le calcul du rendement du moteur (voir en 4.2).

- Un appareil de CPG est disponible à l'ENSUT (Dakar). Il serait donc possible de doser régulièrement le CO₂ et le CH₄ du biogaz par CPG. La station de Technologie Alimentaire de l'INRA (Villeneuve d'Ascq) fournira le protocole de dosage de ces gaz.

Une campagne d'analyse est prévue à partir de Novembre 1984.

cl) Remarques concernant le milieu de culture = le Ph

Le pH du milieu de fermentation a été suivi pendant les mois de Mai et Juin et mesure dans la trémie et la fosse de réception des effluents. Les mesures sont faites 2 fois par semaine :

$$\text{Moyenne : } \begin{cases} \text{pH trémie} = 7,50 \\ \text{pH fosse} = 7,40 \end{cases}$$

Le milieu est légèrement alcalin. Dans la trémie, le pH est un peu plus élevé que dans la fosse ; en effet, des acides sont produits lors de l'acidogénèse et concourent à abaisser un peu le pH en fin de fermentation.

Aucun accident de pH n'a été signalé au cours de ces 2 mois, les mesures sont restées stables ; ceci tient au fait qu'aucun changement de substrat n'a été effectué durant la période des mesures.

e) Dispositif de protection thermique du fermenteur

Le dispositif est décrit dans le précédent rapport. L'effet sur l'écart de température mini/maxi et sur la température moyenne du fermenteur est donné figures n°2 et 3.

Fig. n° 2 . :Influence du talus de protection sur la température de fermentation

Moyennes hebdomadaires

—●— Température mini. fermenteur
- - -●- - - Température maxi. fermenteur

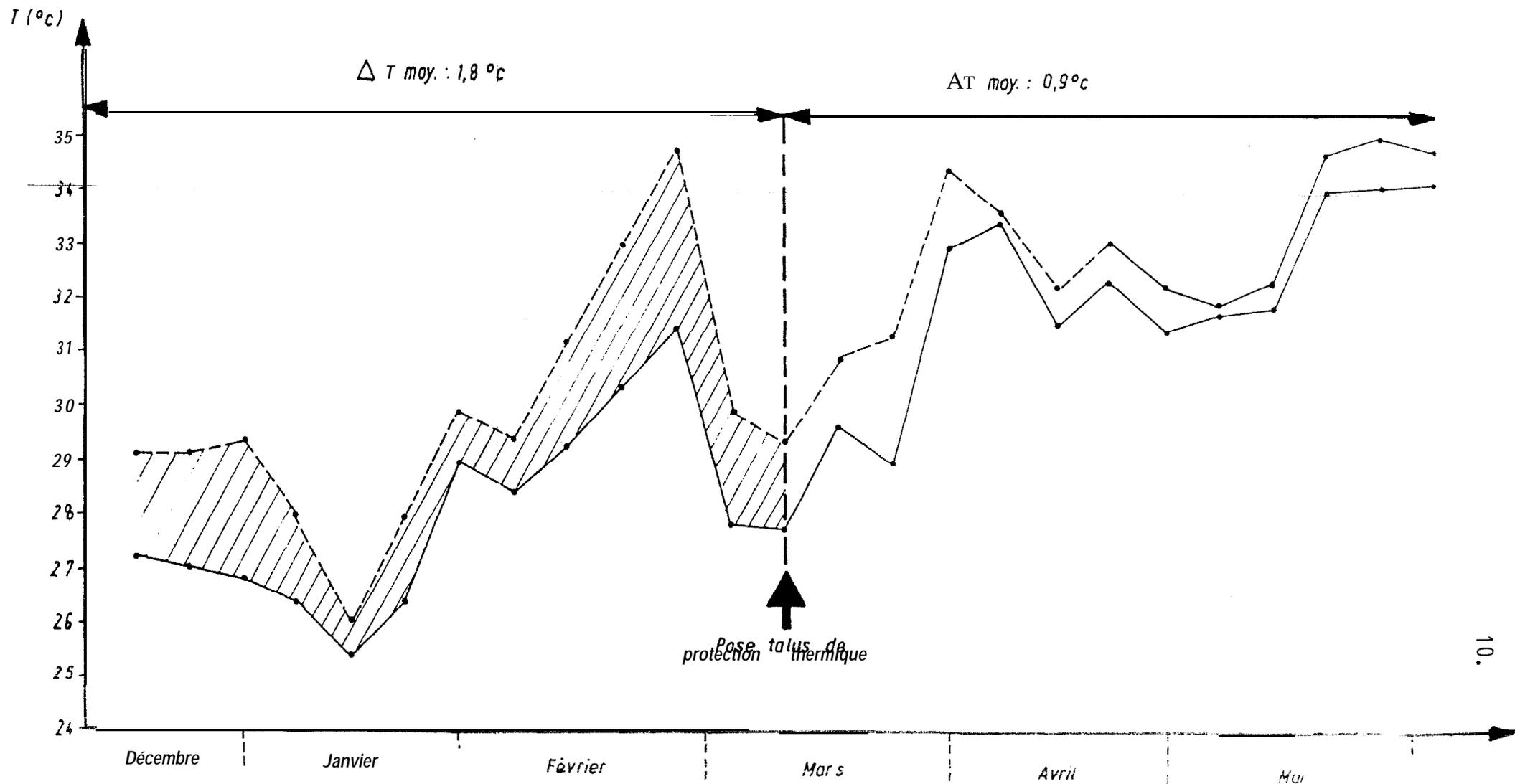
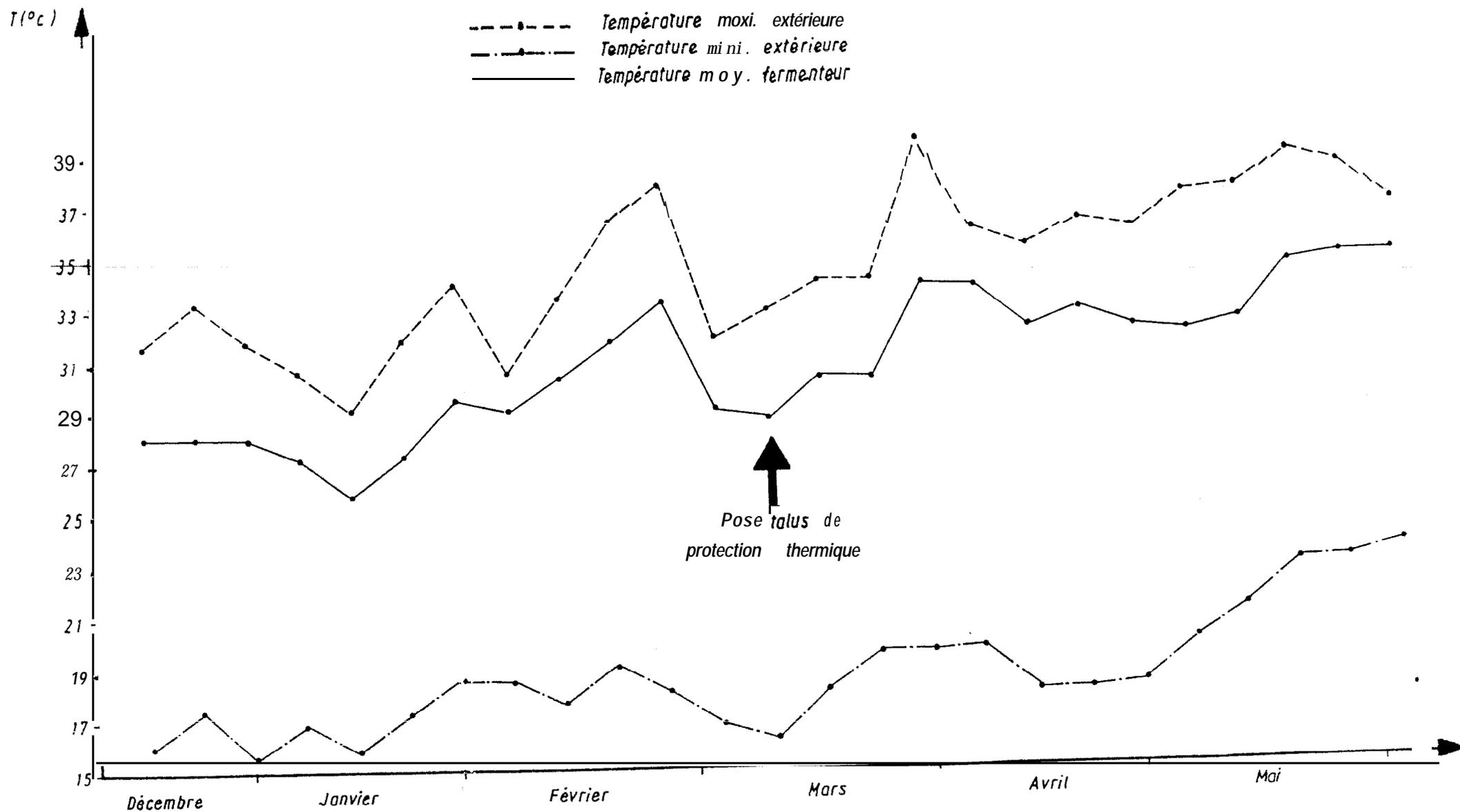


Fig. n° 3 : Influence du talus de production sur la température de fermentation

Moyennes hebdomadaires



La pose du talus de protection thermique permet une diminution de 50 % de l'écart de température mini/maxi (figure n°2). Le dispositif augmente par ailleurs l'inertie thermique de l'ensemble, ce qui se traduit par un aplatissement sensible des variations de température moyenne par rapport aux conditions extérieures (fig. n°3). Ces résultats devront être confirmés par des mesures similaires en saison sèche froide. Toutefois, il semble que ce dispositif soit particulièrement adapté aux conditions requises par une installation de fermentation et sera retenu pour les prochains montages. A partir de Juin 1984, des relevés journaliers de la température ambiante sur le site (Mini et Maxi) seront effectués systématiquement. Ces données nous permettront d'étudier le bilan thermique du fermenteur afin de proposer un type de protection ou de réchauffage adapté à chaque zone d'implantation.

32. La production de compost

a) Résultats généraux

Les effluents fermentés sont évacués 1 à 2 fois par semaine en fonction de la charge admise dans la trémie. L'opération nécessite 2 personnes pendant 45 à 75 minutes. Les résultats de production d'effluents sont précisés dans le bilan matière (voir 3.3). On notera la différenciation des termes suivants :

- fumier : correspond à la matière évacuée de l'étable et chargée dans le fermenteur,
- effluents : correspond au fumier digéré qui est évacué de la fosse de réception du fermenteur et mis en finition dans les compostières ;
- compost : correspond au produit fini ou en cours de finition, destiné à l'épandage sur les soles de l'exploitation.

b) Compostage en fosse

2 compostières ont été creusées et cimentées au mois de Mai (matériel + main d'oeuvre = 20.000 CFA/compostière). Elles sont destinées à recevoir les effluents évacués du fermenteur. Dans la 2ème fosse, les effluents sont mélangés avec du phosphate naturel, épandu au fur et à mesure du remplissage. L'évolution du compost sera suivie pendant 6 mois (dosage de MS, d'azote, de phosphore).

Ces expérimentations visent, d'une part à vérifier le bon déroulement de la fermentation aérobie, et d'autre part, à mettre au point une fumure phospho - organique.

c) Essais agronomiques

- Des dosages (N, P, K, Ca, Mg) seront effectués sur le compost pour quantifier sa valeur fertilisante.

- Le compost produit pendant les 4 premiers mois de l'année 1984 a été épandu sur les parcelles de la solo C en juin. Un certain nombre d'essais ont été mis en place pendant l'hivernage pour tester la valeur agronomique du compost en terme d'économie d'engrais minéraux, ainsi que sa valorisation sous irrigation de complément.

33. Bilan matière, carbone et azote

Les 3 bilans permettent de schématiser l'entrée et la sortie des produits dans le fermenteur :

a) bilan matière (fig. 4.1)

* de Mars à Juin 1984 -

L'apport de substrat pailleux dans le fermenteur est de 3,4 t MS (soit 8,5 t de produit brut à 40 % MS) ;

- la production totale de biogaz est de 727 m³,

La perte de MS est d'environ 30 à 32 % au cours de la fermentation méthanique en continu.

* Calcul théorique de l'apport d'eau dans le fermenteur pendant la SSC - (cf. calculs en annexe 9). Au niveau du fermenteur, l'eau est perdue :

- d'une part : par évaporation, surtout au niveau de la fosse de réception des effluents. Par semaine 334 l soit pour la SSC : 5,8 t. (Ces pertes sont peut être sur-évaluées : il existe une croûte à la surface de la fosse qui limite l'évaporation).

- d'autre part : dans les effluents évacués de la fosse de réception du fermenteur. Ces effluents sont plus humides que le fumier à l'entrée et de l'eau est exportée à chaque évacuation. Par semaine : 383 l soit pour la SSC : 6,7 t.

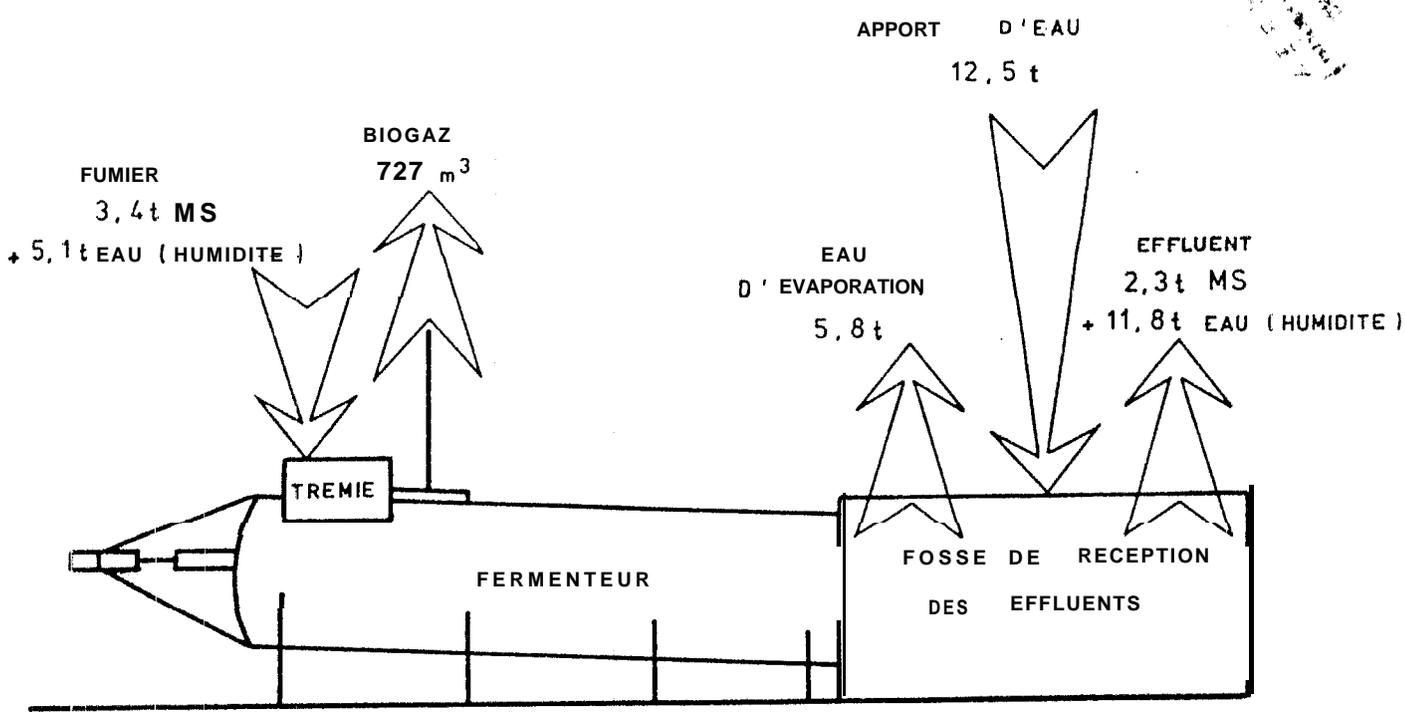
- les pertes totales d'eau sont d'environ 717 l/semaine. Ce sont ces pertes que l'on compense en apportant chaque semaine un complément d'eau dans la fosse. Pendant la SSC, on peut estimer globalement cet apport à 12,5 t d'eau.

- ceci n'est qu'un calcul théorique qui serait à vérifier expérimentalement.

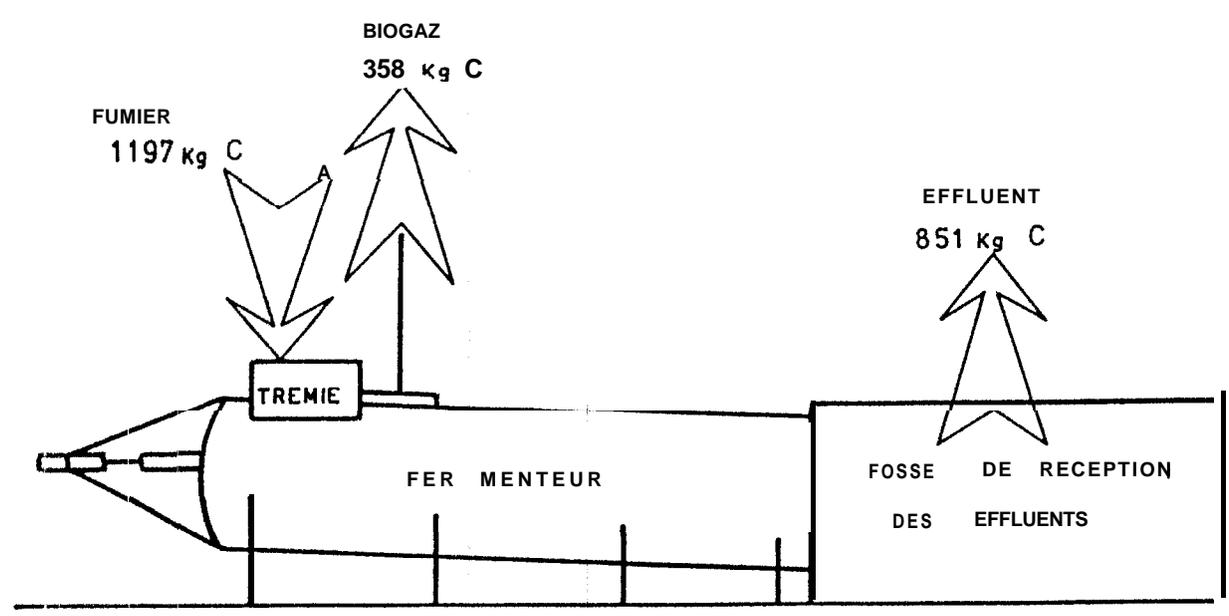
b) Bilan carbone (figure 4-11) -

Des prélèvements de fumier et d'effluents ont été faits en avril, en Mai et en juin (2 à 3 fois/semaine). Ces prélèvements ont été mélangés ensemble, séchés et broyés ; seuls 4 dosages de C ont pu être réalisés :

Echantillons	Teneurs en C 5 %	Moyenne C (%)
Fumier 1	34,4 %	35,2
Fumier 2	35,6 %	
Effluent 1	35,2 %	
Effluent 2	38,7 %	37,0



I. BILAN MATIERE (MARS , AVRIL , MAI, JUN 1984)



II. BILAN CARBONE (MARS , AVRIL , MAI, JUN 1984)

En considérant que le milieu liquide du fermenteur à la même teneur en carbone au début à la fin du bilan (cela n'a pas pu être vérifié), les 1197 kg de C fumier produisent 358 kg de C biogaz (31 %) et 851 kg de C effluent (71 %). Environ 1 C/3 du fumier se retrouve dans le biogaz, les 2 C/3 restants sont exportés dans l'effluent. Le détail des calculs est donné en annexe 9.

c) Bilan azoté

Des dosages d'azote total (méthode Kjeldhal) ont été réalisés sur des échantillons secs de fumier et d'effluent (mêmes prélèvements que ceux décrits en b).

Echantillons	Teneur en N (%)
Fumier 1	15,50
Effluent 1	15,75

D'après ces données, le bilan azoté présenté (cf. calculs en annexe 9) montre que ces pertes d'azote, de l'ordre de 23 %, sont élevées et dues, soit à l'évaporation de NH₃, soit à la dénitrification.

Note : Il aurait fallu vérifier que la teneur en N du milieu liquide est la même au début et à la fin du bilan (mêmes concentrations le 1/3/84 et le 30/6/84).

En conclusion, ces bilans sommaires, car réalisés avec très peu de données, ne donnent qu'une idée approximative des transformations et exportations d'éléments dans le fermenteur. Cependant, l'importance de ces résultats nécessitera dans les prochains mois une expérimentation plus poussée avec notamment un plus grand nombre d'analyses chimiques. Un protocole d'expérience est donné en annexe 10.

4 - UNITE D'IRRIGATION ET D'UTILISATION DU BIOGAZ

Au cours de la saison sèche et chaude 1984, l'utilisation essentielle du biogaz a été l'irrigation des cultures maraîchères et fourragères. A compter du 15 Juin 1984, date de la première pluie, la famille du concierge, logée sur le site, a utilisé le biogaz pour la cuisson des repas et l'éclairage. Cette utilisation particulière est possible en saison des pluies suite à la réduction de l'irrigation.

41. Bilan de l'utilisation du biogaz

Le tableau n°4 et la figure n°5 récapitulent les utilisations du biogaz de Mars à la première pluie enregistrée le 15 juin. Les pertes sur le circuit gaz sont très importantes, 14 % de la production totale ; les mesures effectuées montrent qu'elles varient entre 840 et 900 litres/jour en fonction du taux de remplissage du gazomètre. Après vérification du réseau, il s'avère que les pertes sont localisées dans le "ballon" de stockage.

Des pertes de même ordre de grandeur (30 l/h) ont été enregistrées sur la station biogaz de Lossa au Niger. Le revêtement du ballon avec un enduit spécial permettrait de réduire les fuites ; des contacts seraient à prendre avec le fabricant.

L'évacuation du biogaz correspond à des surproductions ponctuelles entraînant une pression trop élevée dans le gazomètre.

Les courbes production/consommation journalière sont données en annexe.

Tableau n° 4 : Saison sèche chaude 1984 - Utilisation de la production de biogaz en période d'irrigation.

MOIS	Production totale (m3)	Pertes circuit gaz-860 l/j (m3)	Evacuation sur pression (m3)	Consommation groupe (m3)
Mars	193,5	26,7	5,6	161,2
Avril	167,8	25,8	13,4	128,6
Mai	189,5	26,7	27,9	134,9
Juin jusqu'au 14/06/1984	88,5	12,0	10,2	66,3
Total saison sèche chaude	639,3	91,2	57,1	491,0

Figure n°5 - Organi gramme d'utilisation du biogaz -

Production 639,3 m ³	}	Pertes - 91,2 m ³ - 14 %	}	Potentiel utilisable 86 %
		Evacuation* - 57,1 m ³ - 9 %		
		Utilisation - 491,0 - 77 %		

Les évacuations correspondent à des surproductions momentanées entraînant une surpression dans le gazomètre.

5 -- RESUME DES PRINCIPAUX RESULTATS

les résultats suivants obtenus durant ces 4 mois de saison sèche chaude, viennent compléter le référentiel technique du module expérimental :

- bonne tenue d'une culture fourragère de niébé entre maraichage de saison sèche et céréale de saison des pluies :
- dans les conditions du marché à Bambey en 1984, le produit brut des cultures maraichères (30 % oignons, 10 % choux et 60 % tomates) est estimé à 2.630.000 F CFA à l'hectare,
- la production de fécès avec 4 animaux en place (trait + embouche) est de 12,2 kg MS/j et représente 30 % de la charge maximale admissible dans le fermenteur (42 kg MS/j). Le taux de litière à apporter est donc de 30 kg/j.
- avec une charge de 28 kg MS/j, correspondant à 67 % de la charge maximale, la surface irrigable est de 2.500 m² dans les conditions d'irrigation du module (aspersion à 50 m HMT).
- le dispositif de protection thermique du fermenteur est à retenir pour les prochaines installations ;
- la perte de matières sèches dans le fermenteur est de 30 à 32 % , en première approximation, les pertes d'azote sont estimées à 23 %.
- dans l'état actuel des réglages, la motorisation biogaz permet une économie de fuel de 60 %.

6 - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Pour la fin de l'année 1984, le programme Transpaille s'articule autour de 3 axes de recherche-développement :

1. constitution d'une base de formation intégrée au module expérimental dans le cadre du programme national Biogaz.
2. Coopération avec d'autres programmes de recherche du département systèmes et transfert, notamment les programmes :

Fertilisation et économie d'azote : 3 tests seront mis en place :

- a) tests d'évolution du compost en phase de finition : la fixation d'azote au cours du compostage compensera t-elle la perte d'azote au cours de la fermentation néthanogène ?
- b) mise au point d'une fumure phospho-organique : l'apport de phosphate au compost permet t-il l'obtention d'un bon engrais phospho-organique ?
- c) tests agronomiques du compost sur mil et arachide, en pluvial strict et sous irrigation de complément. Le compost permet t-il d'économiser des engrais minéraux ?

Machiini sme agricole et post-récol te

Des tests de fonctionnement de machines agricoles (décortiqueuses, moulins) seront faits sur l'installation, en utilisant le biogaz.

3) Pré-développement de la filière Biogaz au Sénégal, avec l'installation d'une unité de démonstration Transpaille dans la région des Niayes.

Par ailleurs, et toujours dans le cadre de l'évaluation des possibilités de développement, des premiers contacts seront pris avec les industries métalliques de la place et le crédit agricole.

BIBLIOGRAPHIE

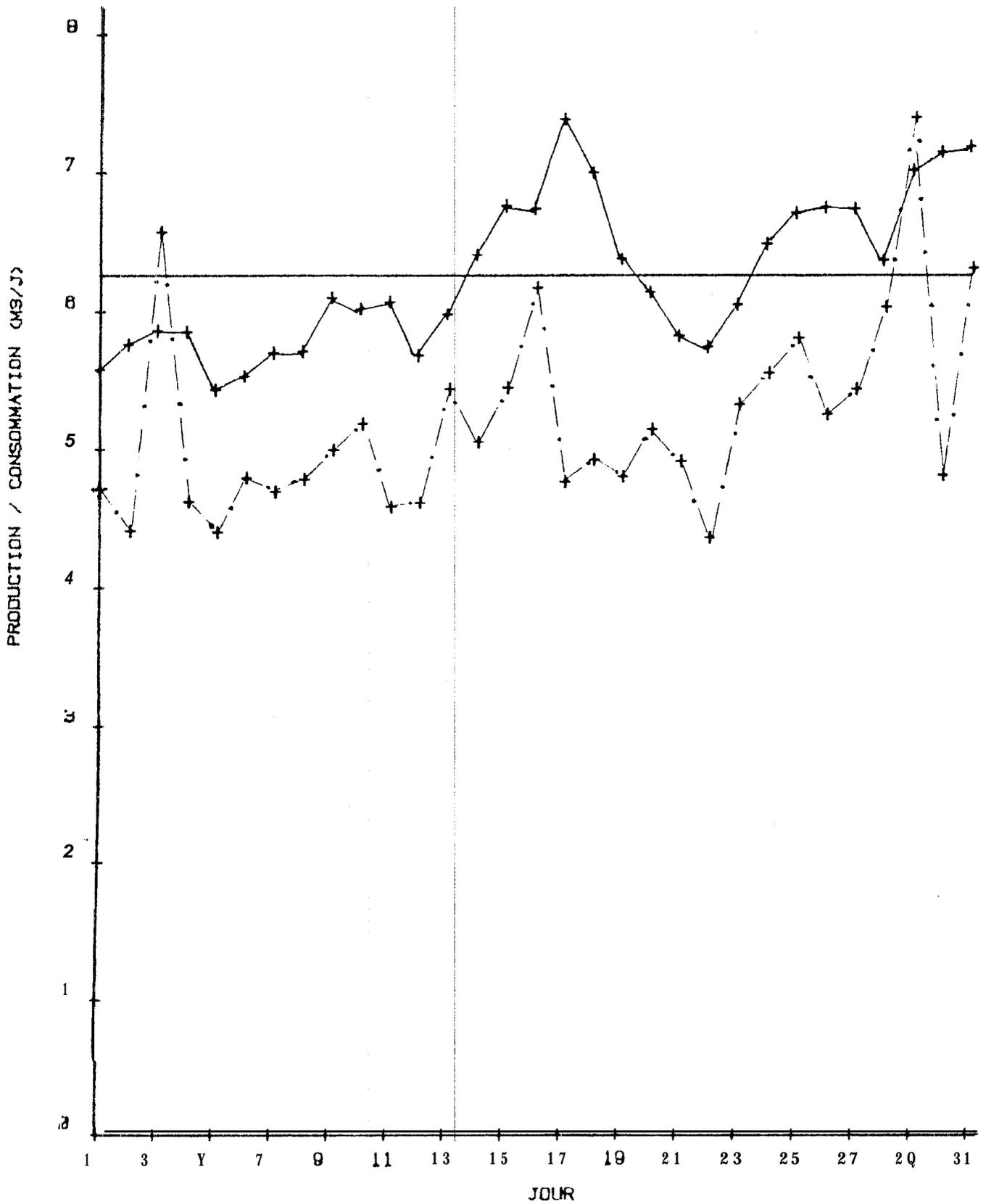
- FARINET (J.L.) ▪ SARR (PL) ▪ (1984)
Production continue de biogaz pour la petite motorisation rurale,
Rapport n°II ▪ Présentation, données de fonctionnement et premiers
résultats obtenus en saison sèche froide -
Programme EMIRAT ▪ AFME/GERDAT/ISRA.
- LE: FEVRE (B.) ▪ (1981)
Unité Expérimentale de production de biogaz de Lossa ▪
république du Niger
- LEQUENNE (T.) - (1981/1983)
Le biogaz au Niger ▪ 16 mois de fonctionnement de l'installation de
Lossa en milieu paysannal. programme EMIRAT ▪ AFME/GERDAT.
- TRAN MINH DUC - (1978)
-ferme expérimentale des cultures irriguées -
bilan de 5 années de fonctionnement CNRA Bambey

A N N E X E S 1

ANNEXE 1 -

MARS 1.984 - PRODUCTION G---I ET CONSOMMATION (-.-) DE BIOGAZ -

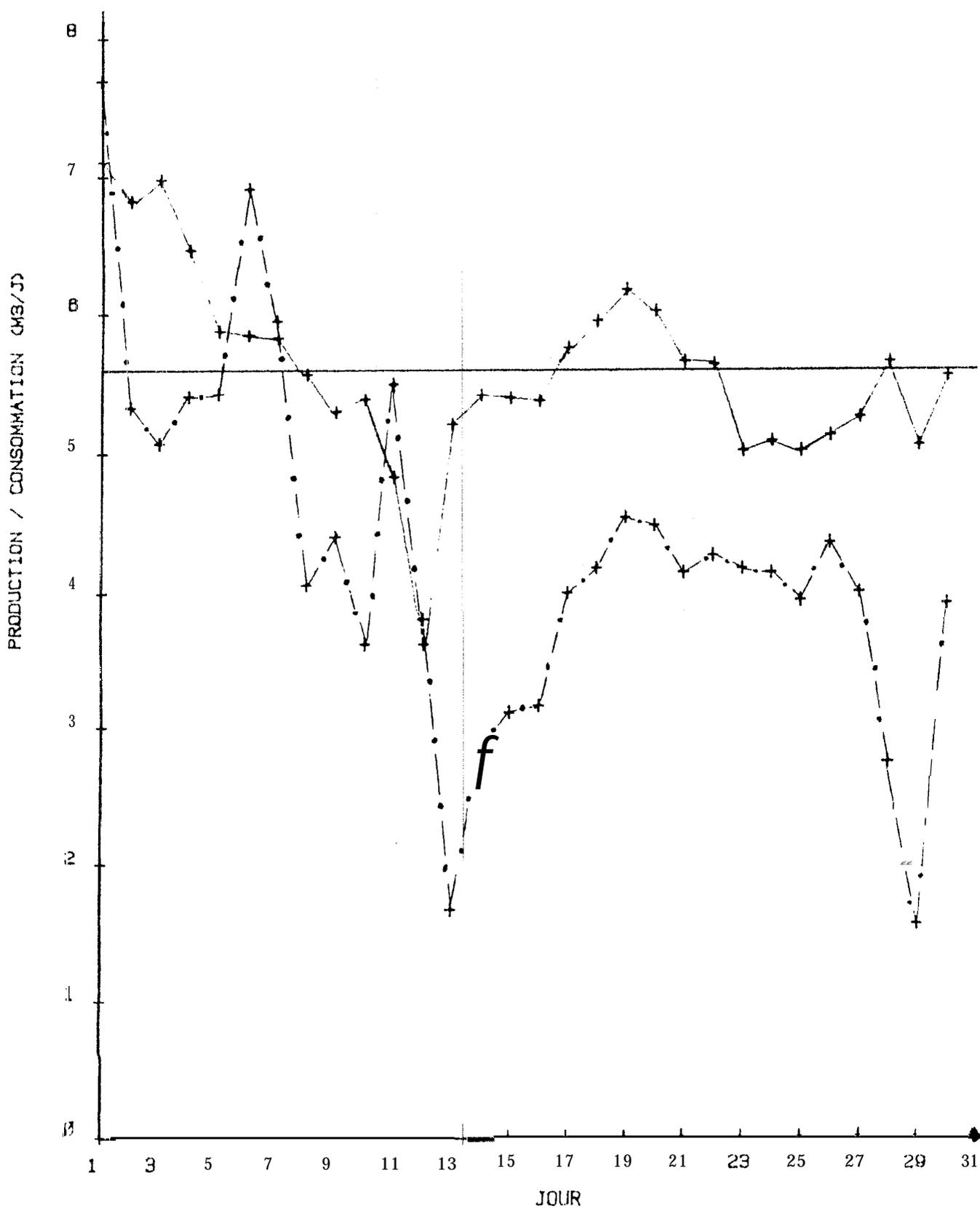
CHARGE MOYENNE = 28.75 KG MS / J - TEMPERATURE MOYENNE (C) 30.1 < T < 31.8



ANNEXE 2 .

AVRIL 1984 -- PRODUCTION -- ET CONSOMMATION (..) DE BIOGAZ --

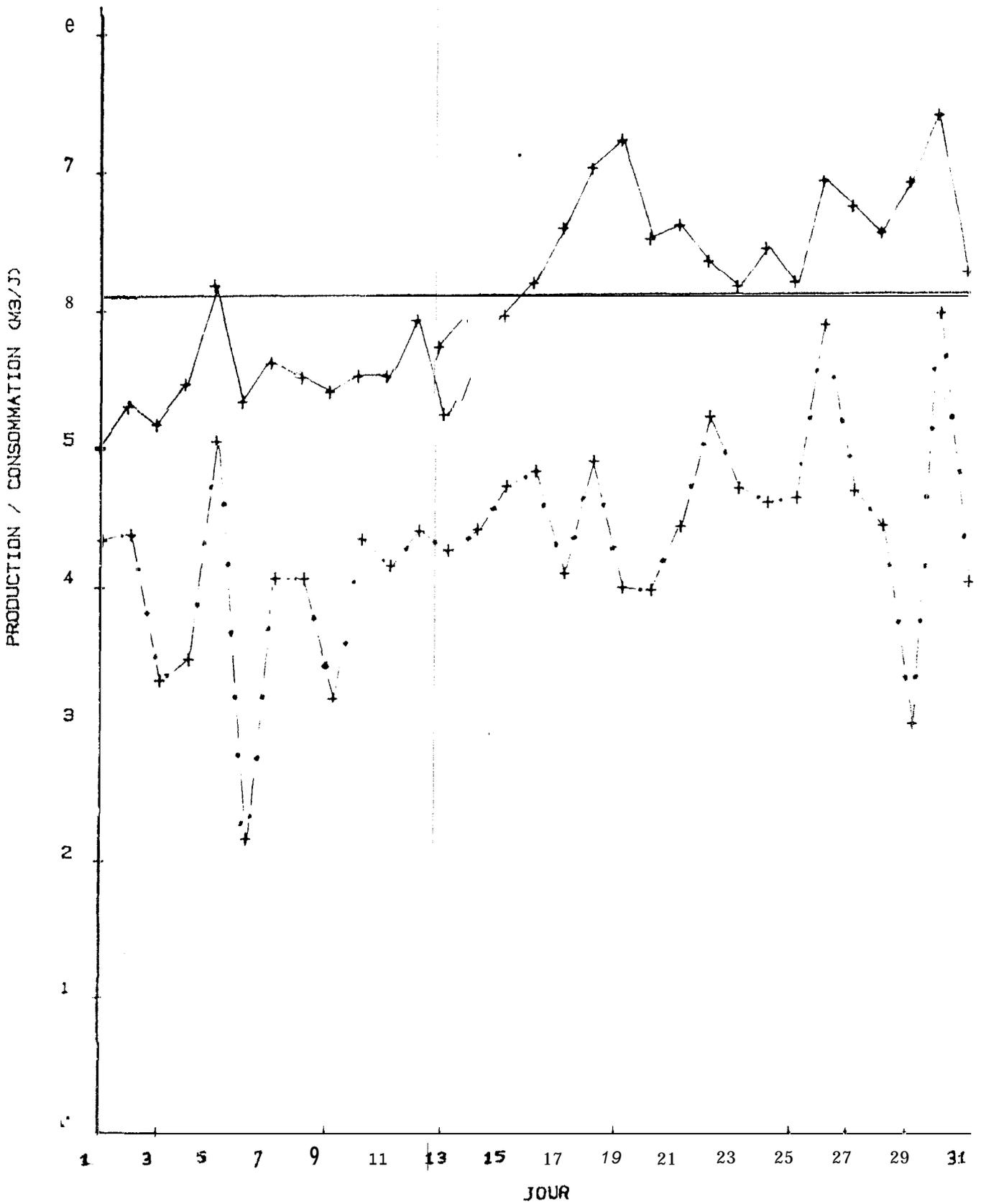
CHARGE MOYENNE = 25.4 KG MS / J -- TEMPERATURE MOYENNE (C) = 32.3 < T < 32.9



ANNEXE 3 -

MAI 1984 - PRODUCTION (●) ET CONSOMMATION (+) DE BIOGAZ

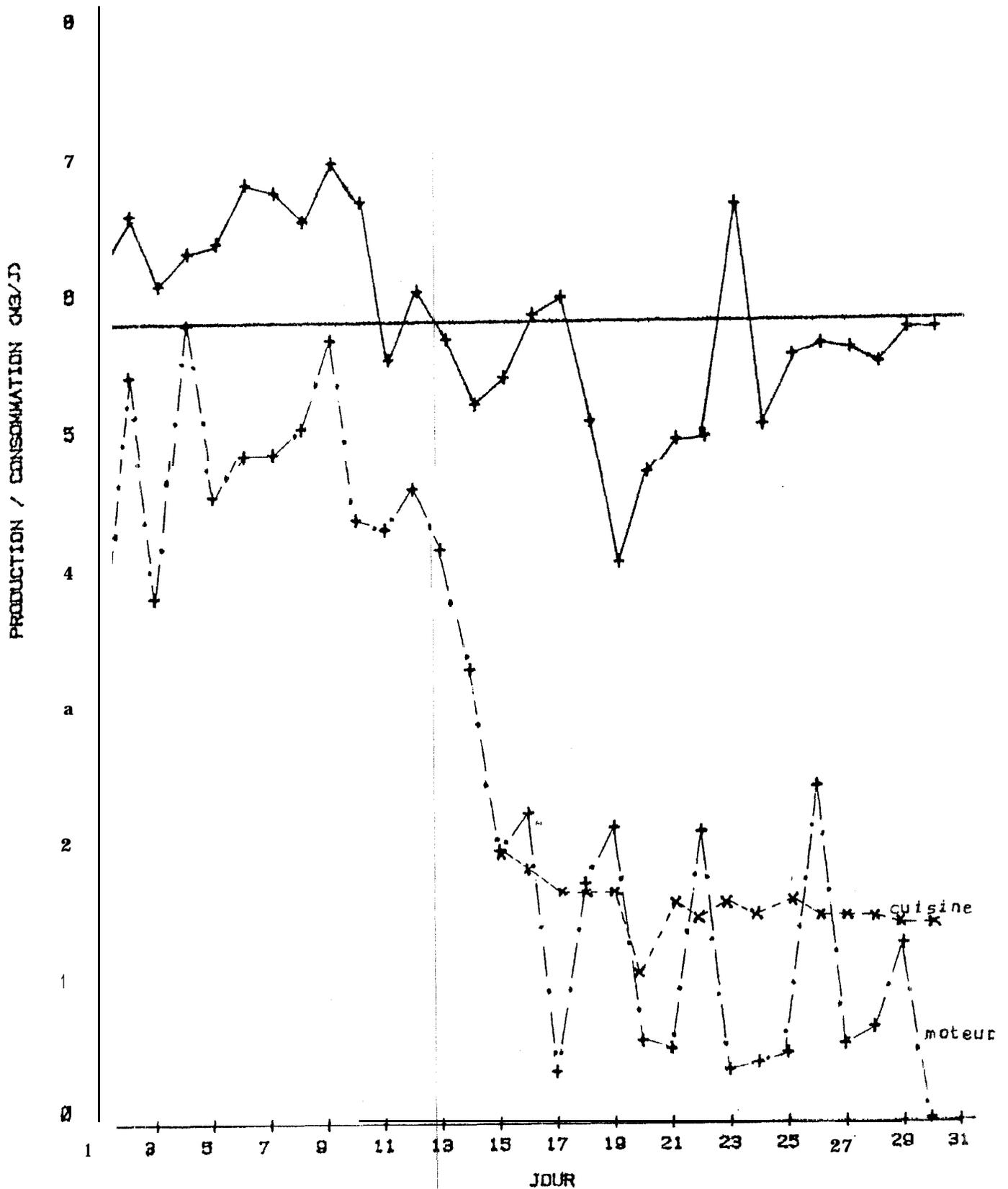
CHARGE MOYENNE = 28.1 KG MS / J - TEMPERATURE MOYENNE (C) = 33.1 < T < 33.6



ANNEXE 4 *

JUIN 1984 - PRODUCTION (—) ET CONSOMMATION (---) DE BIOGAZ - -

CHARGE MOYENNE = 29.0 KG MS / J - TEMPERATURE MOYENNE (°C) = 32.7 < T < 34.0



Annexe n° 5 : Unité de production de biogaz et de compost -
Fiche de suivi journalier

MARS 1984

Numéro Semaine	jour	Charge Brute (kg)	Matière sèche (%)	Production de biogaz (m ³ /j)	Température fermenteur(°C)	
					Mini	Maxi
24	1	74	54,9	5,577	27,5	30,4
	2	59,5	59	5,758	26,8	30,1
	3	42		5,858	26,5	29,1
	4			5,848	26,2	28,6
25	5	74	48	5,428	26,8	30
	6	73		5,527	26,8	28,8
	7	73,5	49	5,693	28,1	28,6
	8	75,5		5,706	28,1	30,5
	9	76	50	6,092	29,1	30,6
	10	34,5		6,020	28,9	29,4
	11			6,069	28,1	29,6
26	12	69,5	47	5,677	29,2	
	13	90,5		5,973	29,3	30,2
	14	71		6,400	28,8	30,8
	15	70	43	6,752	28,8	31,5
	16	76	48	6,730	29,8	
	17	62,5		7,382	31,3	32,5
	18			6,990	31,4	32,2
27	19	73,5	42	6,379	30,8	33,3
	20	74,5		6,135	29,6	
	21	38,5	53	5,877	27,1	29
	22	73,5		5,730	27	29,5
	23	58,5	48	6,046	27,9	31,3
	24	37		6,488	30,3	32,0
	25			6,703	31,5	33,8
28	26	76,5	41	6,749	33,2	34,4
	27	71		6,737	32,9	34,5
	28	82,5	48	6,364	33,2	35,7
	29	77,5		7,018	30,8	34,4
	30	65,5	44	7,144	34,4	34,7
	31	39,5		7,183	32,2	33,3

Annexe n° 6 : Unité de production de biogaz et de compost
Fiche de suivi journalier -

AVRIL 1984

Numéro Semaine	jour	Charge Brute (kg)	Matière sèche (%)	Production de biogaz (m3/j)	Température fermenteur (°C)	
					Mini	Waxi
28	1			7,107	35	35,2-
29	2	72	55,8	6,818 6,973 6,466 5,871 5,848 5,820 5,566	35,5	35,7
	3	77,5				
	4	52				
	5	72,5				
	6	50				
	7	24,5				
30	8				31,6	33 32,4
	9	80		5,296	30,4	34,2
	10	75		5,384	32,3	
	11	74		4,829		
	12	74,5		Fuites	29,9	34,8
	13	53,5		5,207	32,4	32,5
31	14	29,5		5,420	31	32,6
	15			5,398	31,4	32,6
	16	77		5,377	31,3	33,8-
	17	73,5		5,758	32,2	
	18	64,5		5,943		
	19	75,5		6,163		
32	20	60		6,013	32,8	33,3
	21	26,5		5,656	32,7	33,8
	22			5,637	32,5	33,4
	23			5,020		32
	24	84,5		5,089	31,7	32
	25	79		5,014	31,6	32,6
33	26	73,5		5,130	31,4	32,8
	27	85		5,257	31,4	32,3
	28	53,5		5,658	31,8	
	29			5,052	31,9	32,9
33	30	142		5,552	31,6	31,7

Annexe n° 7 : Unité de production de biogaz et de compost

Fiche de suivi journalier

MAI 1984

Numéro Semaine	jour	Charge Brute (kg)	Matière sèche (%)	Production de biogaz (m ³ /j)	Température fermenteur (°C)	
33	1	90		5,007	31,6	31,7
	2	90		5,297		
	3	90	37	5,178		
	4	90		5,452	31,4	32,1
	5	85		6,174	31,7	
	6			5,321	32,6	
34	7	90		5,604	32,7	32,8
	8	90		5,509	31,4	32,5
	9	90		5,406	31,9	32,3
	10	90	40	5,512		32,5
	11	90	35	5,520	3: 3	31,7
	12	71		5,919	32'	32,6
	13			5,230	32,2	33,5
35	14	90	36	5,722	33,9	34,9
	15	90		5,948	33,9	
	16	90		6,182		
	17	90	35	6,588	33,7	34,6
	18	90		7,015	34,1	35,5
	19	90	39,5	7,222	34,1	34,5
	20			6,506	34,2	35,1
36	21	100	36	6,601	33,6	35,1
	22	100		6,346	34,8	35,2
	23	100		6,150		
	24	100	32	6,437	panne indica. températ.	
	25	100		6,187		
	26	101	44	6,918		
	27			6,734		
37	28	100	36,5	6,544		
	29	100		6,907		
	30	100		7,391		
	31			6,258		

Annexe n° 8 : Unité de production de biogaz et de compost -
Fiche de suivi journalier

JUIN 1984

Numéro Semaine	jour	Charge Brute (kg)	Matière sèche (%)	Production de biogaz m ³ /j	Température fermenteur (°C)			
					Mini	Maxi	Mini	Maxi
37	1	100		6,262	panne indic. t°		23	34
	2	100		6,632			23	28
	3			6,139			28	37
	4	100	38	6,369			23	41
	5	100		6,433			26	42
	6	100		6,856			28	41
	7	100	35	6,794			22	40
	8	100		6,589	34,2	35	23	37
	9	88	41	7,005	33,6	34,3	26	30
	10			6,721	35,1	35,4	28	41
39	11			5,596	34,9	35,6	26	40
	12	100	36	6,080	33,4	34,4	23	39
	13	100		5,745	31,2	34,2	24	31
	14	100	40	5,276	32,4		22	32
	15	100		5,465	30,4	33,9	23	33
	16	100	33	5,911	31,5	34,2	23	32
	17			5,031	32,5	33,6	26	32
40	18	100		5,149	32,5		23	34
	19	120		Fuites	32,7		23	35
	20	120		4,750			21	31
	21	120	34	5,018	28,8	32,8	25	32
	22	120		5,035			22	32
	23	120	29	5,692			23	33
	24			5,113			26	36
41	25	143	34	5,614	panne indic. t°		24	35
	26	150		5,691			23	33
	27	150		5,669			24	31
	28	150		5,557			23	34
	29	150		5,800			23	34
	30	100		5,800				

Annexe 9 - Calcul des bilans matière, carbone et azote -

I - BILAN MATIERE -

- Calcul de l'exportation d'eau par les effluents :

$$\begin{aligned} (\text{humidité effluent}) &= (\text{produit brut}) - (\text{MS}) = 14,1 - 2,3 = 11,8 \text{ t d'eau} \\ (\text{humidité fumier}) &= (\text{produit brut}) - (\text{MS}) = 8,5 - 3,4 = 5,1 \text{ t d'eau} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Exportation d'eau avec les effluents} &: 11,8 - 5,1 = 6,7 \text{ t} \\ \text{soit par semaine} &: 6\,700/17,5 = 380 \text{ kg} \\ \text{soit à peu près} &: \underline{383 \text{ l d'eau/semaine}} \quad (1) \end{aligned}$$

- Estimation de la perte d'eau par évaporation au niveau de la fosse :

$$\text{surface} = 5 \text{ m}^2$$

Evaporation journalière (résultats de la station de BIOCLIMATOLOGIE -- CNRA)
Rambey

$$\begin{aligned} \text{Mars 1984} &= 10,15 \text{ mm/j} - \text{Avril 1984} = 9,7 \text{ mm/j} - \text{Mai 1984} = 10,51 \text{ mm/j} \\ \text{Juin 1984} &= 7,85 \text{ mm/j} \end{aligned}$$

soit une moyenne de 9,55 mm/j

$$\begin{aligned} \text{Perte d'eau} &: 9,55 \times 5 \times 7 = 334 \text{ l d'eau/semaine} \quad (2) \\ \text{soit pour la (*) SSC} &: 334 \times 17,5 = 5,8 \text{ t} \end{aligned}$$

- Total des pertes d'eau :

$$\begin{aligned} (1) + (2) &= 334 + 383 = 717 \text{ l /semaine} \\ \text{soit pour la ssc} &: 717 \times 17,5 = 12,5 \text{ t} \end{aligned}$$

II - BILAN CARBONE

1. Carbone contenu dans les gaz (Cl)

$$\begin{aligned} \text{production biogaz} &: 727 \text{ m}^3 && 443 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \\ \text{Composition " } &: \text{CH}_4 = 61 \% \text{ soit} && 284 \text{ m}^3 \text{ CO}_2 \end{aligned}$$

$$\text{CO}_2 = 39 \%$$

Volume molaire on conditions TPN : 22,4 l

Condition de mesure : température moyenne : 30°C soit 303°K
pression moyenne : 1020 Mbar

d'où volume molaire dans les conditions de mesure :

$$V = 22,4 \times \frac{1000}{1020} \times \frac{303}{273} = 24,4 \text{ l}$$

Masse de carbone contenue dans les gaz (C = 12 g) :

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 &: 443 \times 12/24,4 = 218 \text{ kg} \\ \text{CO}_2 &: 284 \times 12/24,4 = 140 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\underline{\text{Total = Cl}} = 358 \text{ kg}$$

(*) SSC = saison sèche chaude (Mat-s, Avril, Mai, Juin)

2. Carbone du substrat (C2) :

Moyenne des analyses : 35,2 % C

Quantité de fumier : $3,4 \cdot 10^3$ kg MS
d'où C2 = 1197 kg C

3. Carbone de l'effluent (C3) :

Moyenne des analyses : 37 % C

Quantité d'effluent : $2,3 \cdot 10^3$ kg MS
d'où C3 = 851 kg C

4. Bilan

Le bilan est correct si $C2 - C3 = C1$ - Dans notre cas on obtient :
 $C2 - C3 = 346$ kg et $C1 = 358$ kg.

III - BILAN AZOTE : CALCULS

Les quantités de matière (substrat et effluent) sont similaires au précédent bilan. Concentration en N substrat 15,5 % - effluent 17,75 %.

N substrat : $3,4 \times 15,50 = 52,7$ kg N

N effluent : $2,3 \times (17,75) = 40,8$ kg N

Perte d'azote : $\frac{16,5}{11,9}$ kg N soit 23% $\frac{31}{100}$

$$41,9 - 52,7 = -10,8$$

Annexe 10 - Protocole pour bilans matière, carbone et azote

I - PERIODE

15 Octobre : début du chargement du fermenteur à 30-35 kg MS/j

15 Novembre: atteinte du régime continu stabilisé

15 Nov. 15 Fév. : campagne d'analyses pour l'étude des bilans

II - BILAN MATIERE

Substrat (fumier) mesures

- de la quantité de fumier introduite dans le fermenteur
- de la MS de ce fumier (3 fois/semaine, soit à 1 chargement/2)

Produit gazeux (biogaz)

- mesure de la quantité de gaz produite
- produit solide (effluent) mesures :
- de la quantité d'effluents évacués du fermenteur :
- de la MS des effluents à chaque évacuation (3 fois/semaine)

Eau mesure :

- du volume d'eau apportée dans la fosse (besoin d'un compteur)

Milieu liquide Mesure :

- de la MS (2 fois/semaine)

III - BILAN CARBONE

Substrat fumier :

- dosage de la teneur en C du fumier sec (3 fois/semaine)
(besoin d'un broyeur d'échantillons (ORSTOM Dakar)).

Produit gazeux (biogaz) :

- analyse de la composition du biogaz (% CH₄ % CO₂) par CPG
(3 fois/semaine). CPG à l'ENSUT (Dakar)

Produit solide (effluent) :

- dosage de la teneur en C des effluents (3 fois/semaine)

Milieu liquide

- dosage du C dans le milieu liquide, au niveau de la fosse et de la trémie (2 fois/semaine).

CONCLUSION

- Les 8 analyses de C à faire chaque semaine seront réalisées par le laboratoire central d'analyses du CNRA Bambej. Les 3 analyses (en double) de biogaz à faire chaque semaine se feront à l'ENSUT.

IV - BILAN AZOTE

Substrat (fumier)

- dosage de la teneur en N total (K jeldhal) du fumier sec
(3 fois/semaine)

Produit solide (effluent)

- dosage de la teneur en N total des effluents (3 fois/semaine)

Milieu liquide

- dosage de la teneur en N total : au niveau de la fosse et de la trémie (2
fois/semaine).

CONCLUSION

Tous les dosages d'azote seront faits par le laboratoire du Service "Economie
et fixation de l'azote" du CNRA.