

VALORISATION ENERGETIQUE DES RESIDUS
LIGNOCELLULOSIQUES HETEROGENES PAR LE
PROCEDE EN CONTINU TRANSPAILLE

J.L. FARINET*, F. FOREST*, C.Y. BOQUIEN**

*Centre International de Recherche Agronomique
pour le Développement - Département IRAT
Programme Climat-Plante-Production

ZOLAD Miniparc Bât.7 - 34080 Montpellier, France

** Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
Centre National de Recherche Agronomique de Bambey
BP. 53 Bambey, Sénégal

ABSTRACT

In tropical countries, agricultural development is mainly limited by drought and low soil fertility : methanisation can be a good alternative for compost, and fuel production for small pumping sets ; heterogeneous ligno-cellulosic residues constitute a large amount of available biomass in tropical agricultural systems. Transpaille equipment is based on a continuous anaerobic fermentation process, designed for continuous compost and biogas production, using anykind of agricultural residues. The complete process including fermentation and uses of biogas and compost, has been experimented in Senegal since 1983. The relationship of biogas production, load of substrat and temperature was studied to perform technical references of the fermenter in real conditions. From 2 years of daily results, physical fonctionnement of the fermenter was modelised to define kinetic and retention time aspects. After that, and including theses results, kinetics and performance of biodegradation was studied on the same period and data basis. A linear relationship was computed to evaluate biogas production in terms of substrate load and average fermentation temperature. Compost use was carried on through a long period multi-factor trial. The first results are very interesting in the fields of mineral fertilizer economy and soil fertility increase. Since 1985, the development of the Transpaille fermenter has started in Africa for different applications : irrigated areas, electricity production, post-recolt technology.

PRESENTATION ET CARACTERISTIQUES

Les résidus ligno-cellulosiques hétérogènes représentent une quantité importante de la biomasse valorisable au niveau des exploitations agricoles (fumier, paille) et des industries agro-alimentaires (abattoir, brasserie). Jusqu'à présent la mise en oeuvre d'un procédé continu s'est heurtée aux caractéristiques physiques de ces substrats : forte teneur en matières sèches (MS de 20 à 80 %) et haut pouvoir colmatant.

Le procédé de fermentation "Transpaille", est essentiellement basé sur un dispositif de transfert des substrats hétérogènes en immersion dans une cuve cylindrique horizontale (fig. 1). La compression du substrat, préalable

à son avancement à l'intérieur de la cuve, induit une densité élevée dans le fermenteur, et permet un meilleur remplissage du volume utile. En régime normal, le fermenteur est chargé une fois par jour, les effluents de fermentation sont parallèlement évacués dans une fosse d'évacuation située en bout de cuve, et récupérés par flottation. L'inclinaison de la cuve à 4% permet de collecter le biogaz dans la partie supérieure.

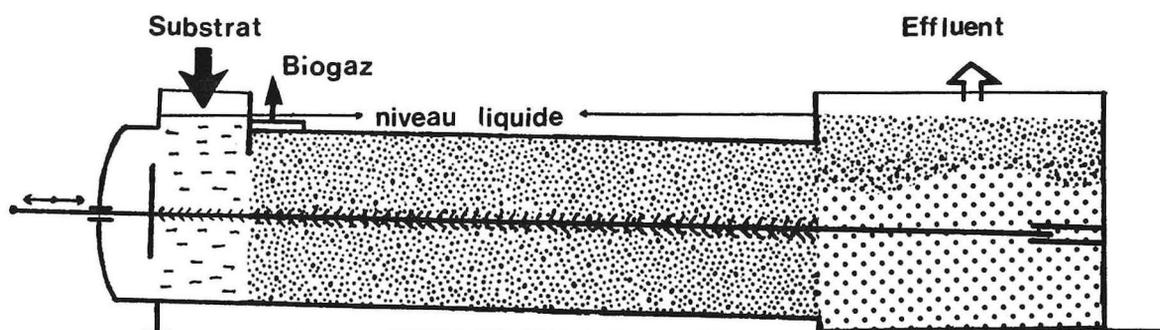


Fig. 1 Fermenteur Transpaille - Coupe longitudinale.

Après évacuation, les effluents sont stockés en fosse ou en tas afin de subir une phase de finition aérobie durant 3 à 4 mois ; le compost final est ensuite recyclé sur les sols cultivés. Le biogaz est stocké dans des réservoirs souples et alimente, sans traitement préalable, des moteurs de type dual fuel.

En Afrique Tropicale, et plus précisément en zone semi-aride, ce type d'équipement permet de produire l'électricité nécessaire à l'irrigation de petits périmètres ou aux traitements post-récoltes. Etant donné l'état de dégradation des sols dans ces zones, le compost permet de réhausser et de maintenir un niveau de fertilité conciliable avec une agriculture semi-intensive. Le programme de développement de cette technologie a débuté en 1983 par une phase expérimentale en conditions réelles (Sénégal). A partir de 1985, 4 unités complètes ont été implantées à titre démonstratif dans 4 pays d'Afrique et dans différents secteurs d'activité. L'objet du présent travail est de définir, à partir des résultats expérimentaux obtenus de 1983 à 1985, les performances du fermenteur et d'en modéliser le fonctionnement en vue des applications futures.

MATERIEL ET METHODES

L'unité expérimentale est implantée au Centre National de Recherche Agronomique de Bambey (Sénégal), et les études ont été menées en collaboration avec l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole (ISRA). L'unité est équipée d'une étable pour 4 bovins, d'un fermenteur Transpaille de 9m³ de

volume utile, d'un dispositif de stockage du biogaz et d'un groupe électrogène dual fuel. L'électricité produite permet l'irrigation de 2,5 ha de cultures en saison des pluies (complément), et de 0,5 ha en saison sèche à partir d'un puits (50 m HMT).

Le référentiel technique du fermenteur a été défini à partir des relevés journaliers effectués sur l'unité : charge journalière (kg/j), taux MS (%), température de fermentation (°C) et production de biogaz (m³/j). Au cours de la période de mesure, la composition moyenne du substrat était la suivante :

- fumier constitué de paille de mil et de fécès bovins,
- taux MS : 48 % - rapport paille / fécès : 62 % - 38 %.

Les premiers travaux ont consisté à définir les paramètres physiques de fonctionnement. La séquence journalière de chargement du fermenteur est caractérisée par 3 phases successives : 1/ Introduction du substrat, 2/ Compression, 3/ Avancement et évacuation simultanée d'une charge d'effluents.

Au cours des phases 1 et 2, la charge (C_n) passe de la densité (d₀) à la densité finale (d_f) ; l'évolution est une fonction linéaire de la force de compression si la densité finale est inférieure à 200 kg MS/m³ (B.DROUIN ; 1981). En considérant une force de compression finale qui est fonction des caractéristiques géométriques du fermenteur, la relation entre l'avancement du substrat (phase 3) et la charge initiale sera linéaire. Les mesures effectuées à l'aide de 3 témoins placés dans le fermenteur ont permis de définir les termes de cette relation, et par là même, le temps de séjour du substrat. L'étude de la relation entre la production de biogaz et la charge a nécessité la mise au point d'un modèle visant à quantifier journalièrement la quantité de substrat en fermentation. La modélisation utilise le principe de la moyenne mobile à pas variable : à chaque charge journalière (C_n) est associée une charge d'effluent évacuée (C_{n-a}), (a) représentant le temps de séjour calculé de la charge (C_{n-a}). La charge modélisée C_{nMOD} est donnée par la relation :

$$C_{nMOD} = \frac{\sum_{i=0}^{n-a+1} C_i}{a}$$

- avec C_{nMOD} : charge modélisée en kg MS/j
ΣC_i : charge réelle en fermentation en kg MS
a : temps de séjour calculé de la charge C_{n-a} en jours.

Les paramètres (ΣC_i) et (a) sont évalués à partir de la relation linéaire charge/avancement. Un logiciel informatique permet d'associer journalièrement à chaque charge réelle la charge modélisée correspondante.

La température de fermentation n'est pas régulée et varie en fonction des conditions climatiques. La relation entre la production de biogaz, la charge modélisée et la température de fermentation a été étudiée à partir de 235 données journalières sur la période Mars 1984 à Février 1985.

Parallèlement à cette étude, la valeur agronomique du compost final est testée sur un dispositif d'essai de type factoriel.

RESULTATS

Seuls les principaux résultats relatifs au fermenteur et au compost seront reportés. Pour plus de précisions on se réfèrera aux différents rapports et publications (FARINET et al. 1984, 1985, 1986).

Modélisation de la charge

La charge journalière modélisée tient compte de la quantité de matière en fermentation et de la vitesse de passage de celle-ci. A titre d'exemple, la figure 2 montre l'évolution des charges réelles et modélisées sur la période Août-Septembre 1984, lors d'une montée en charge du fermenteur.

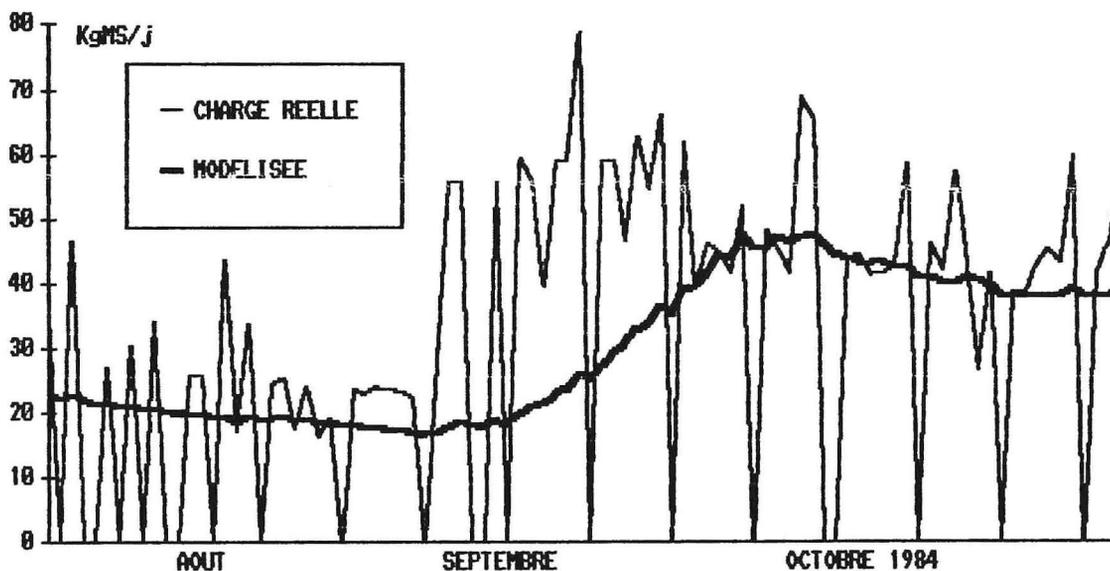


Fig. 2 Comparaison charges réelles et modélisées.

Relation production de biogaz, charge et température

L'étude statistique des données montre que la relation entre la production de biogaz, la charge modélisée et la température de fermentation peut être considérée comme linéaire, pour des températures comprises entre 20 et 37°C, et une charge inférieure à 5,5 kg MS/m³ ferm. /j :

$$P = 0,33 T + 0,07 \text{ CMOD} - 6,87 \quad (r = 0,88)$$

avec P : Production biogaz calculée en m³/j.

T : température de fermentation en °C,
 CMOD : charge modélisée en kg MS/j.

La figure 3 montre l'évolution des productions de biogaz mesurées et calculées sur la période Novembre à Janvier 1985.

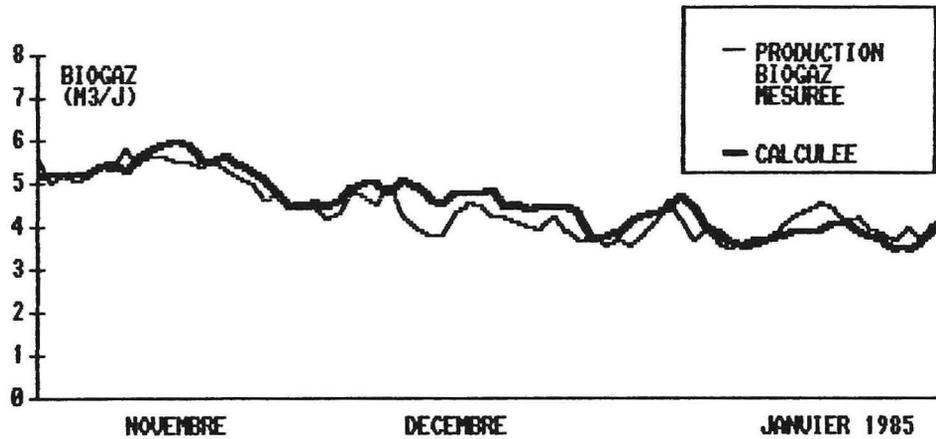


Fig. 3 Productions de biogaz mesurées et calculées.

Valorisation agronomique des effluents

Au cours des différentes transformations, des bilans matière sont effectués sur la biomasse qui passe par les stades de fumier (étable), effluents (sortie fermenteur) et compost (après finition en fosse). La valorisation énergétique porte sur environ 30 % de la ressource carbonée, tandis que 70 % sont recyclables vers des utilisations agronomiques.

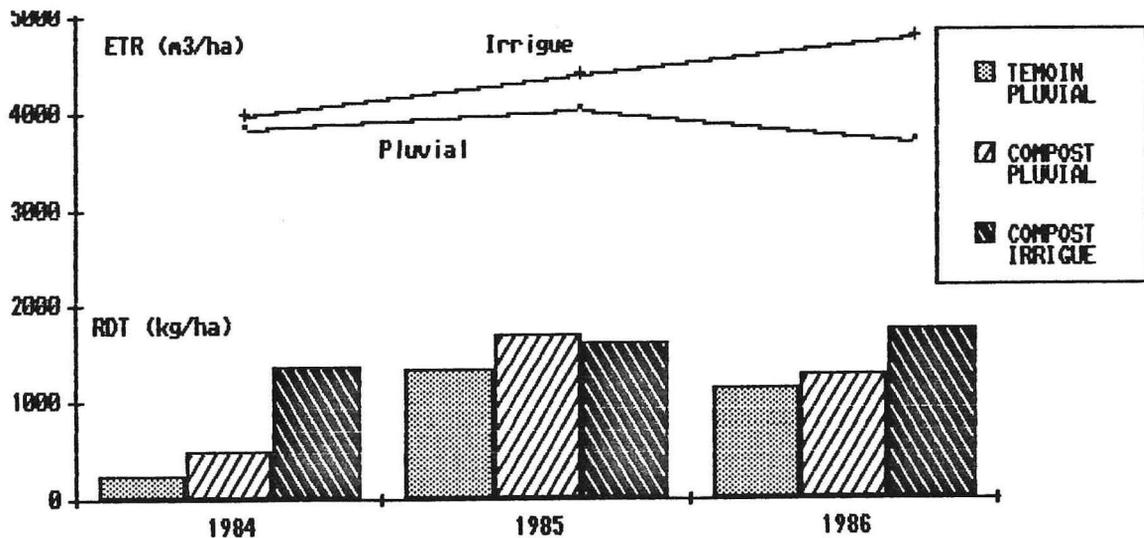


Fig. 4 Rendements en grain et évapotranspiration réelle (ETR) d'une culture de mil variété Souna 3 à Bambey (Sénégal). 1984/86.

Le compost fini est épandu sur les parcelles d'essai. Après 3 années d'apport (1984 à 1986), les résultats des essais (fig. 4) montrent un effet permanent du compost par rapport au traitement témoin ne recevant

qu'une fumure minérale (25 unités N, 31 unités P205, 31 unités K20).

Le traitement associant irrigation et compost montre une synergie entre les facteurs eau et fertilité, d'autant plus grande que l'année est sèche (1984 et 1986).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les résultats obtenus sur l'unité expérimentale ont permis la mise au point du référentiel technique du fermenteur Transpaille. Les actions de démonstration initiées en 1985, confirmant la fiabilité et l'adaptation du procédé aux conditions tropicales, seront relayées en 1987 par le passage au développement.

L'évolution technique du procédé Transpaille, et son application à l'épuration d'effluents liquides très chargés par bactéries fixées, est également en cours d'étude.

REFERENCES

- Drouin, B. 1981. Valorisation énergétique de la biomasse. Conception d'une presse à paille à très haute densité à éléments oscillants. thèse de 3ème cycle CEMAGREF - Division énergie - 3 Juillet 1981.
- Farinet, J.L, Boquien, C.Y. et Sarr, P.L. 1984/1985. Production continue de biogaz pour la petite motorisation rurale. Volumes II, III, IV. Institut Sénégalais de Recherches Agricoles. Département Systèmes de production et Transfert de Technologie en milieu Rural. Programme AFME/IRAT/ISRA.
- Farinet, J.L. et Forest, F. 1986. Caractéristiques et performances de l'équipement Transpaille - Biogaz - Compost - petite motorisation. Doc. IRAT/DEVE - 21 p.