



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

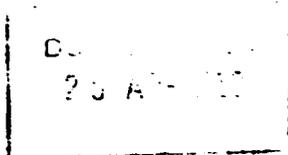
Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

RESTRICTED



April 1988
FRENCH

EVALUATION ET RECOMMANDATIONS DU DEVELOPPEMENT
ET DU DEPLOIEMENT DE LA TECHNOLOGIE DU BIOGAS AU SENEGAL

UC/SEN/87/118/11-51

Prepared for the Government of the People's Republic of Senegal
by the United Nations Industrial Development Organization,
acting as executing agency for the United Nations Development Programme

17220

Based on the work of Mr. Jacobus De Waart,
Consultant in Anaerobic Digestion (Biogas Technology)

United Nations Industrial Development Organization
Vienna

* This document has been reproduced without formal editing

EXPLICATION DES SYMBOLES

CERER	- Centre d'Etudes et de Recherches sur les Energies Renouvelables au Sénégal
CNRA	- Centre National de Recherches Agronomiques
ENDA	- Environnement et Développement en Afrique
ENSUT	- Ecole Nationale Supérieure Universitaire de Technologie
ISRA	- Institut Sénégalais de Recherches Agronomiques
M D I A	- Ministère du Développement Industriel et de l'Artisanat du Sénégal
M E S	- Ministère de l'Enseignement Supérieure
M R S T	- Ministère de la Recherche Scientifique et Technique
ORSTOM	- Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération
SERAS	- Société d'Exploitation des Ressources Animales du Sénégal
SIPL	- Société Industrielle de Produits Laitiers
IRAT	- Institut de Recherche Agronomique Tropicale
CRODT	- Centre de Recherches Océanographiques de Thiaroye
PNUD	- Programme des Nations Unies pour le Développement
SONES	- Société d'exploitation des eaux du Sénégal
MPC	- Ministère du Plan et de la Coopération
DAST	- Direction des Affaires Scientifiques et Techniques
SIDFA	- Senior Industriel Development Field Adviser de PNUD
AFME	- Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie
CFR	- Centre de Formation de Nianing
GIDA	- Groupement Interinstituts pour l'Etude des Déjections Animales

RESUME

Titre du compte-rendu : Evaluation et recommandations du développement et du déploiement de la technologie du biogaz au Sénégal

Numéro : UC/SEN/87/118/11-51

But du projet : Stimuler le développement et le déploiement de la technologie de biogaz au Sénégal

Mission : 5 janvier - 27 janvier 1988

Conclusions et recommandations principales

- La production de biogaz à petite échelle a lieu au Sénégal depuis dix ans dans des fosses du type indien, qui ne sont pas remuées, et dans des cuves du type zaïre selon le système plug-flow.
- L'ENDA, CARITAS et l'ISRA/CNRA ont propagé fortement l'utilisation du biogaz.
- Outre ces sociétés qui sont toujours actives, s'en occupent également de manière intensive:
 - les chercheurs à l'université du Ministère ES à Dakar (ENSUT) en coopération avec l'ORSTOM français
 - le CERER du Ministère RST
 - la Division des Energies Nouvelles et Renouvelables du Ministère DIA
- Il y a cinq experts sénégalais en biogaz qui ont un degré universitaire et des assistants technique qui ont un degré non-universitaire.
- De grandes quantités de déchets organiques sont disponibles dans les huit abattoirs, c.à.d. des tripes, des contenus d'estomac, du sang et des matières stercorales; dans les ranchs, dans les étables des peuhls sédentaires, dans les communautés de village et dans les parcs à bétail, c.à.d. du fumier mélangé avec de la paille de riz, des tiges de mil et d'autres déchets agricoles (arachides); la plante sauvage vénéneuse, l'Euphorbia tirucalli, comme supplément des autres substrats; les déchets organiques provenant des grands hôpitaux à Dakar.
- Le digesteur à petite échelle sera une combinaison du type indien et du type voltaïque ce qui a pour résultat les fosses avec le processus par

batch.

- Les processus continus à petite échelle et à échelle semi-industrielle peuvent être réalisés dans le grand digesteur du type indien avec équipement de remuage et dans le digesteur français du type "Transpaille".
- Au Sénégal il n'y a pas de déchets provenant de la brasserie, de la laiterie industrielle et des industries de poissons.
- Le tuyau en béton comme digesteur plug-flow au CFR de Nianing pourrait être valable.
- Le digesteur high-rate efficace à échelle industrielle qui sera installé à l'abattoir de Dakar pourrait être un type de digesteur français ou bien le réacteur autrichien BIMA.
- Dans les communautés de villages et dans les carrés les digesteurs à petite échelle sont utilisés avec succès et il paraît qu'ils sont utilisés improprement aux fermes isolées.
- La construction du seul digesteur du type chinois n'a pas pu être finie à cause de difficultés avec l'étanchéité au gaz.
- Beaucoup de chefs de village et chefs de carrés dans la partie sud de la région de Thiès (9x) et plus de quarante chefs de communautés dans la partie ouest de la région de Casamance ont présenté des requêtes pour des installations de biogaz, ce qui indique qu'au Sénégal on (et en particulier les paysans) se rend compte de l'utilité de la production du biogaz.
- Les coûts du digesteur le plus simple du type indien s'élèvent à 1.300.000 CFA, c.à.d. le prix de 26 vaches, ce qui dépasse largement la capacité des éleveurs. Un digesteur de 27 m³ coûte 2.500.000 CFA.
- Au moins trois rapports comprenant des propositions d'introduction du biogaz ont été rédigés au cours des quatre ans derniers, ce qui indique qu'au Sénégal les gens s'y intéressent.
- Des installations de démonstration de biogaz à petite échelle sont déjà utilisées à Bambey: le Transpaille; à Nianing: le type discontinu indien; à Badiana près de Ziguinchor: le type indien et le type voltaïque (discontinu) et à Dakar: les types indiens.
- La première installation high-rate de démonstration pourrait être réalisée à l'abattoir de Thiès, sous la supervision de l'ENSUT.
- Les déchets organiques de la brasserie, de la laiterie industrielle et de l'industrie de poissons ont déjà utilisés et ne sont pas disponibles à la production du biogaz.
- La possibilité d'utiliser les algues marines comme substrat pour la

production du biogaz est discutable à cause des coûts élevés de la récolte, de la quantité restreinte et de la compétition éventuelle de la part de la production de carragène et d'agar à partir des algues marines.

- Des centres de cours d'instructions pratiques sur le maniement des digesteurs et sur l'utilisation du biogaz existent à Nianing (CARITAS), à Dakar et à Ziguinchor (l'ENDA). Ces centres pourraient très bien se multiplier jusqu'à Dakar (l'ENSUT & le CEDER), Bambey (l'ISTRA/CNRA) et Thiès (la SERAS).
- Aux environs de Dakar, dans la région du Cap Vert où sont concentrés les déchets organiques, il y a un marché important pour la lie fermentée, utilisée comme engrais organique dans le grand nombre de jardins maraichers et horticoles qui se trouvent à l'est de Dakar. En outre l'abattoir le plus grand du pays se trouve tout près.
- Dans d'autres parties du pays où fonctionnent des installations de biogaz, la lie fermentée est également utilisée comme engrais dans l'horticulture.
- Il y a trois degrés dans la réalisation du programme national de biogaz: la petite échelle c.à.d. les digesteurs du type indien et voltaïque; l'échelle semi-industrielle c.à.d. le digesteur Transpaille et la grande échelle industrielle c.à.d. les digesteurs high-rate efficaces.
- Afin d'accomplir chacune de ces possibilités il faudrait créer un comité se composant de par exemple six membres. Du point de vue technique et financière ce comité serait responsable de la construction et le maniement des installations en question et il aurait un propre budget.
- Un comité se composant des représentants des homologues, des bailleurs de fonds et de l'agence exécutive devrait superviser chacun des trois programmes (des installations de biogaz à grande échelle, à échelle moyenne et à petite échelle).
L'instruction du technicien qui dirigera le digesteur relève également de la responsabilité des comités respectifs.
- Il faudrait commencer un nouveau projet en ce qui concerne le digesteur de biogaz high-rate efficace à l'abattoir de Thiès et développer les projets existants du CNRA/ISRA à Bambey, de CARITAS à Nianing et à Sandiara et de l'ENDA à Ziguinchor en mettant des fonds à la disposition des comités respectifs.
- Dans une lettre le Résident Représentatif du PNUD à Dakar a demandé le MPC d'étudier du point de vue financière la valorisation de la biomas-

se par SERAS. Il a également demandé dans quelle mesure le Sénégal contribuerait aux frais d'assistance technique de la part de l'ONUDI.

- Il a été proposé de réaliser le programme national de biogaz par étapes, pas à pas, au même temps à chaque niveau et de garder les niveaux séparés de manière qu'aucune question de compétence se produira. Le MPC pourrait exécuter la supervision en coopération avec une organisation internationale.
- Etant données les requêtes locales concernant les digesteurs de niveaux différents, et étant données les activités antérieures et actuelles de l'ISRA/CNRA, de l'ENSUT, du CERER, de l'ENDA et de CARITAS on peut conclure que le Sénégal est prêt à l'introduction du Programme National de Biogaz à court terme.

Tables de matières

explication des symboles	2
résumé	3
table des matières	7
introduction	8
recommandations 1 - 12	11
compte-rendu	13
PNUD et MPC/DAST	13
I Déceler et évaluer les déchets organiques qui pourraient être disponibles à la production de biogaz au Sénégal	14
1.1 Les déchets agricoles	14
1.2 Les déchets de l'abattoir	15
1.3 L'Euphorbia tirucalli	16
1.4 Les algues marines	17
1.5 Les industries	18
1.6 L'hôpital et la SONES	18
II Identifier de propres ébauches des installations de biogaz à	18
2.1 petite échelle et au niveau de la communauté	18
2.2 échelle agro-industrielle et industrielle	24
III Déterminer le besoin national d'instruction sur le plan de la technologie de biogaz	25
IV Examiner le marché de la lie fermentée comme engrais organique	28
V Chercher des endroits aptes à y construire des esquisse d'installations de biogaz qui servent d'objets de démonstration	29
VI Projets d'activités ultérieures	30
Conclusions	32
Annexes:	
annexe 1 : Lettre du Représentant Résident	33
tableau 1 : Des discussions ont eu lieu avec les personnes suivantes pendant la mission	34
tableau 2 : La quantité annuelle de déchets en matières sèches par abattoir au Sénégal	36
tableau 3 : Programme de Biogaz au Sénégal	37
fig 1	38
fig 2	38
fig 3	39
fig 4	39
fig 5	40
fig 6	40
fig 7	41
fig 8	41
fig 9	42
fig 10	43

INTRODUCTION

Lors de la mission du biogaz au Sénégal, qui dura du 5 jusqu'au 27 janvier 1988, les lieux suivants furent visités: Dakar, Thiédème, Sangalkam, Sébikhotane, Nianing, Ndjouk-Fissel, Sandiara, Joal-Fadiout, Bambey, Badiate, Badiana et Ziguinchor.

En dehors de Dakar un parcours d'environ 1500 km fut accompli pour visiter des lieux et des personnes qui ont à faire à la production de biogaz.

Le budget de l'ONUDI ne permettait pas de visiter plus de lieux.

Les adresses en ville et dans ses alentours furent visitées en taxis et l'ONUDI loua une voiture pour aller à Nianing et à Ziguinchor. Dans ces derniers lieux furent visités: le Centre de Formation Rurale, des fermes privées, des fermes expérimentales, des carrés, le Centre National de Recherches Agronomiques, des travaux communautaires dans l'association du village, des ateliers, des plages et des baies en dehors de Dakar. Dans la ville de Dakar furent visités: la baie de Hamm, l'Université Technique, trois industries, deux ministères, le Centre de Recherches Energétiques, l'abattoir, l'ENDA comme une organisation internationale non-gouvernementale et le bureau du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD).

Un homologue du ministère du Plan et de la Coopération fut disponible chaque jour ouvrable. Il prépara la plupart des visites et accompagna l'expert de l'ONUDI. Puisque la visite ne fut pas annoncée par écrit, on n'a pas pu recevoir des informations sur la production et la destination des déchets organiques provenant de l'hôpital Aristide Le Dantec, du GRODT et de la SONES.

La description de travail de l'ONUDI, nr. UC/SEN/87/118/11-51, comprend cinq tâches qui doivent être exécutées par l'expert de l'ONUDI en coopération avec le ministère du Plan et de la Coopération (MPC/DAST):

1. Déceler et évaluer les déchets organiques qui pourraient être disponibles à la production de biogaz au Sénégal.
2. Identifier de propres ébauches d'installations de biogaz à
 - 2.1. petite échelle et au niveau de la communauté
 - 2.2. échelle agro-industrielle et industrielle
3. Déterminer le besoin national d'instruction sur le plan de la technologie de biogaz.
4. Examiner le marché de lie fermentée comme engrais organique.

5. Chercher des endroits aptes à y construire des esquisses d'installations de biogaz qui servent d'objets de démonstration.

En plus on s'attend à l'évaluation d'un plan d'activités ultérieures avec assistance technique de l'ONUDI.

Outre le rapport entier en langue française, l'expert est dû de donner une liste des conclusions principales et les recommandations en langue anglaise.

Sur la demande du SIDFA et du PNUD une liste des personnes visitées, leur organisation et leur numéro de téléphone fut rédigée et laissée à Dakar.

Déjà des digesteurs enterrés de biogaz à petite échelle du type indien sont utilisés comme objet de démonstration au CERER et à l'ENSUT. Ces digesteurs fonctionnent également avec beaucoup de succès dans les villages près de Nianing et Ziguinchor.

Depuis 4 ans un nouveau type de digesteur français nommé "Transpaille" est appliqué avec contentement au CNRA à Bambey. A Ziguinchor dans la région de Casamance l'ENDA a attiré un technicien de biogaz de Burkina Faso qui construit des installations de biogaz et en contrôle le processus. Cet expert a introduit le type voltaïque et le toit en paille et ciment qui couvre la cuve de biogaz.

Il y a quelques années que le chef de la Division des Energies Nouvelles et Renouvelables du Ministère du Développement Industriel et de l'Artisanat a visité l'Inde, les Philippines, la Chine et les Etats Unis d'Amérique du Nord lors d'une mission de biogaz. Il a rédigé un rapport sur ses expériences. Entre 1984 et 1987 au moins trois propositions furent rédigées, chacune exigeant un appui d'environ 1 million \$ pour la réalisation de projets de biogaz au Sénégal.

Puis deux rapports scientifiques furent faits sur la production de biogaz au Sénégal respectivement par le CRODT/ISRA et la SERAS.

Une lettre récente du MPC à la Présidence de la République, comportant des recommandations sur le développement des sciences biotechnologiques au Sénégal et en particulier sur la production de biogaz à partir de déchets organiques, démontre que les autorités suprêmes attachent de l'importance à ce sujet.

Les activités précitées démontrent clairement que les différentes couches de la population veulent utiliser les déchets pour la production de biogaz.

Lors de l'évaluation de la mission à Dakar il parut que les messieurs M'boup de la DAST, Mostefai du PNUD et Dianka du MDIA ne furent pas en ville et par suite ne purent pas être présents, de sorte que ne fut pré-

sent de la part sénégalaise que M. Faye du MPC/DAST.

Dans ce rapport l'expert de l'ONUDI rend compte de ses expériences et impressions sur les tâches mentionnées dans la description de la mission. Il donne des recommandations sur les activités ultérieures à l'aide d'assistance technique de l'ONUDI. En annexe le résultat de la mission est illustré à l'aide de photos.

RECOMMANDATIONS

1. On est prié de considérer le programme de biogaz proposé pour le Sénégal, comme démontré dans le tableau 3.
2. Au cadre de l'instruction il est recommandé de mettre en oeuvre des unités de démonstration: le type discontinu sur le terrain le l'ENSUT et le type continu avec un brûleur, une lampe et un générateur branchés sur le terrain du CEDER.
3. Il faudrait former trois comités indépendants avec leur propre budget et leurs propres responsabilités, correspondants aux trois catégories de digesteurs.
4. Entamer la construction de cuves de biogaz dans les régions du Sine-Saloum et de Casamance. Ces activités auront lieu dans les ateliers de CARITAS (Sandiara) et de l'ENDA-Ziguinchor.
5. Prendre en main la vulgarisation du biogaz dans les régions du Fleuve, de Louga, du Sénégal Oriental et du Sine-Saloum. Il faudrait commencer chez les chefs des unités pastorales et les chefs des ranchs.
6. Introduire dans les régions nommées sous 5 un digesteur Tranpaille comme modèle de démonstration.
7. L'instruction des manieurs et pourvoyeurs des unités de biogaz devrait aller de pair avec la construction des unités. L'instruction de base aura lieu à l'ENSUT et CERER.
8. L'éducation spécifique aura lieu chez l'installation de biogaz qui vient d'être construite, et à Bambey et à Thiès pour respectivement le digesteur Tranpaille et celui du type high-rate.
9. Il faudrait envoyer en France un technicien de l'abattoir pour suivre un cours d'instructions sur le maniement du digesteur high-rate. Une firme française prie le Biologische Verfahrens Technik de pouvoir construire le digesteur BIMA sous licence.
- 10 Il faudrait d'abord acquérir de l'expérience avec le digesteur high-

rate à Thiès avant de procéder à la construction du digesteur high-rate suivant.

11 Au moins cinq fois par an il faudrait organiser des colloques nationaux où les représentants de chaque catégorie doivent être présents afin de pouvoir échanger les expériences et problèmes et de trouver des solutions. Il faudrait également inviter des experts de biogaz étrangers d'assister aux colloques.

12 Au bout d'un an il faudrait envoyer à l'étranger un expert de biogaz sénégalais de préférence un expert par catégorie pour enrichir ses connaissances du biogaz.

COMPTE-RENDU

PNUD et MPC/DAST

Le premier jour à Dakar la connaissance fut faite du Senior Industrial Development Advisor (SIDFA), M. Djamel Mostefai du PNUD, 2 Avenue Roume, 7ème étage, à Dakar. Pendant la mission on a profité volontiers de ses avis. Le même jour une visite fut rendue avec le SIDFA à M. Modou M'boup, directeur de la Direction des Affaires Scientifiques et Techniques du Ministère du Plan et de la Coopération, 141 Rue Joseph Gomis. En plus l'expert de l'ONUDI fut présenté aux Mm. Moustapha Ndiaye, Chef Division et Cheikhou Faye, qui jouerait le rôle d'homologue pendant la durée de la mission du biogaz. A cause du fait qu'il écrivait ou téléphonait à temps les personnes à visiter, M. Faye a fourni une bonne contribution à la réalisation de la mission. Une économie considérable a pu être réalisée puisqu'il serva de guide dans la ville de Dakar (voir tableau 1).

Des mots de M. M'boup il parut qu'une stratégie à long terme existe au Sénégal en ce qui concerne la biotechnologie. Le plan de fonder d'abord un institut de biotechnologie a été modifié: un programme est rédigé et exécuté. Ce document de projet de 5 ans est intitulé " Programme National de Recherche, Développement et Biotechnologie des Fermenteurs" ce qui répond au 7ème plan de Développement Economique et Social du Sénégal.

Le programme est exécuté au profit de l'industrie agronomique, de l'industrie technologique et en général de la vulgarisation de la connaissance de la biotechnologie au Sénégal. Une évaluation des possibilités d'implantation de biogaz au Sénégal a lieu. A la fin M. M'boup remercie l'ONUDI d'avoir fourni un expert de biogaz.

Dans la lettre du MPC à la Présidence de la République l'attente est appelée notamment sur la production de biogaz à partir de déchets organiques sous le jour de la biotechnologie. L'objectif de développement paraît être:

1. l'indépendance énergétique
2. l'élimination des agents polluants et l'amélioration des conditions hygiéniques et sanitaires de notre environnement.

Le 6 mai 1986 le chercheur français P. Viaud a rédigé un rapport sur l'utilisation des déchets de l'abattoir de Dakar à l'instance du MPC. Il

propose de construire un digesteur de 700 m³ et une citerne de 5 m³ pour l'eau chaude (80° C) afin de pouvoir fermenter sous anaérobie 150 m³ d'eaux usées et 1,8 tonnes de matières sèches des déchets. Le digesteur qui produira 500 m³ de biogaz, dont la teneur du gaz en méthane est de 75%, coûtera 100 - 150 millions CFA. Le gaz sera utilisé dans un générateur dual-fuel pour faire de l'électricité. Puis les fumées d'échappement de ce générateur produiront 5 - 25 m³ d'eau chaude de 80° C par jour. L'évaluation des expériences et impressions de la mission eut lieu le 26 janvier 1988 à Dakar en présence d'une représentante du PNUD et des Mm. Faye (MPC) et De Waart (ONUDI).

I. Déceler et évaluer les déchets organiques qui pourraient être disponibles à la production de biogaz au Sénégal.

1.1. Les déchets agricoles

Au Centre de Formation Rurale de Nianing (fig. 1) dans la région du Sine-Saloum se trouve une installation de biogaz qui est alimentée de fumier de leurs propres poules, cochons, moutons et vaches (fig. 2). Les communautés rurales et les petites unités résidentielles comme les carrés possèdent des vaches et des chèvres dont le fumier peut servir à la production de biogaz. Ndjouk-Fissel en est un exemple. Là le gaz est utilisé pour l'éclairage et pour la préparation des repas.

Puisqu'au Sénégal il y a de vastes rizières, des champs de coton, de mil et d'arachides il y a assez de déchets non seulement pour le fumage du sol mais également pour la production de biogaz. En plus ces déchets agricoles sont mélangés avec de la bouse de vache.

Dans la région de Casamance les vaches sont réunies par les paysans peuhls tout près des villages dans les parcs à bétail pendant l'hivernage, c.à.d. le temps des pluies qui dure 5 mois. Ces parcs attirent beaucoup de mouches, de sorte qu'il serait favorable d'emporter à temps le fumier pour en faire du biogaz.

Certains villages connaissent des travaux communautaires avec un chef en tête. Les déchets agricoles comme la paille de riz dans les rizières, les déchets des palmeraies, les tiges de mil et les déchets d'arachides sont, en combinaison avec la bouse de vache des parcs à bétail du village, un substrat très apte à la production de biogaz. La production de biogaz est déjà mise en oeuvre de cette manière dans

les communautés de village de Badiana et de Badiate (voir fig. 3). Dans la plus grande Région du Sénégal Oriental plusieurs projets sont mis en exécution, entre autres le projet de Développement de l'Élevage au Sénégal Oriental qui est dirigé de Tambacounda. Les pâturages sont délimités en unités de 45.000 hectares chacune où paissent 600 têtes de bétail. Chaque unité est gérée par un comité comprenant un président et autant de délégués qu'il y a de villages dans l'unité. Les bergers responsables du bétail écartent les troupeaux après l'hivernage, de juin à octobre, et s'orientent vers les mares qui ont encore de l'eau. Il est très bien possible de produire du biogaz à partir du fumier et d'autres déchets agricoles dans ces unités de pâturages. Le gaz produit peut être employé pour l'exhaustion de l'eau des puits cuvelés et pour l'alimentation d'un groupe motopompe dual-fuel. En période de soudure, la nappe peut se trouver jusqu'à près de 30 m de profondeur (rapport de l'UNESCO, 1984).

Dans la région de Djourbel et de Thiès il y a des fermes privées comme à Sangalkam (ISRA) où les vaches produisent assez de fumier pour alimenter une installation de biogaz. A Sebikotan il y a maintenant une culture maraîchère dont les déchets peuvent servir également à la production de biogaz.

En plus dans le nord du Sénégal, dans les régions de Louga et du Fleuve, on peut s'attendre à des concentrations de bouse de vache près des points d'eau. Le forage à lui de Mbar Toubab dans la zone Sylvo-Pastorale procure de l'eau à 15.000 têtes de bétail. Le ranch de Doli à Sylvo-Pastorale possède des milliers de têtes de bétail, dont le fumier peut servir à la production de biogaz. La traction animale pour l'exhaustion de l'eau peut être remplacée par un groupe motopompe dual-fuel, ce qui constitue une économie de temps et de labeur.

1.2. Les déchets de l'abattoir

Il y a huit abattoirs au Sénégal qui jettent leur déchets sur la terre, dans la mer ou dans la rivière, ce qui provoque une pollution écologique grave qui ne peut pas durer beaucoup plus longtemps. Plusieurs rapports et lettres officielles mentionnent donc ces déchets en particulier comme utiles pour la production du biogaz. Chaque jour l'abattoir de Dakar se débarrasse dans la Baie de Hann de 1780 kg. de matière sèche et de 150 m³ d'eaux résiduelles, dont la composition moyenne est comme suit: 10,2 tonnes de matières ster-

corales (93%), de la bouse de vache (5%) et des déchets organiques divers (2%).

Le docteur Ibrahima Diabaté, directeur de la production de la SERAS, borne kilométrique 2,5, Route de Rufisque, à Dakar, a fourni des informations sur le nombre d'animaux abattus par abattoir et par an et sur la quantité de déchets correspondants. Le tableau 2 montre les données sur les déchets par abattoir. L'abattoir de Dakar procure la majorité de déchets. L'ENSUT a fait des expériences avec un digesteur "plug-flow" de 50 litres en coopération avec la direction de la SERAS et du directeur de l'abattoir, Mamadou Dianka. Les déchets de l'abattoir furent versés dans le sac en caoutchouc et fermentés sous anaérobie. La production de gaz fut de 33 m³, lu sur un gazomètre du type Flonic Schlumberger G 4. Les résultats furent favorables et furent rapportés par l'ENSUT.

Au mois de septembre 1985 la Française Anne Petit-Clair a écrit une thèse sur l'ordre de la SERAS de 226 pages, intitulée: "Contribution à la valorisation des déchets d'abattoirs au Sénégal par fermentation méthanique". Par une lettre (voir annexe) le Représentant Résident du PNUD a retiré cette étude par l'intermédiaire du MPC. En plus la question surgit "dans quelle mesure le Sénégal pourrait participer aux coûts d'un projet éventuel d'assistance technique".

La direction de la SERAS a demandé IRAT-agriforce à Montpellier de rédiger une estimation pour la construction d'un digesteur pour l'abattoir de Thiès.

1.3. L'Euphorbia tirucalli

Au Sénégal cette Euphorbia est une plante sauvage qu'on trouve fréquemment le long des routes. La plante sécrète un suc laiteux vénéneux et agressif et pousse tout en haut contre les autres plantes (fig. 5). A l'ENSUT on a pu constater dans des expériences en laboratoire qu'Euphorbia tirucalli est facile à fermenter sous anaérobie. Cependant on ne peut pas s'attendre à ce que cette herbe parasite sera là au degré suffisant pour alimenter des installations de biogaz pendant une période plus longue. Les plantes sont trop éparpillées de sorte que les coûts de transport vers le digesteur seront trop élevés si les herbes parasites forment le seul substrat du digesteur. Cependant Euphorbia constituera un supplément propice pour les digesteurs alimentés de fumier ou de déchets de l'abattoir.

1.4. Les algues marines

Au mois de septembre 1985 S. Leclerq, E. Tine et E.S. de Sainte Claire ont écrit un rapport, intitulé: "Fermentation méthanique de macrophytes marins". Ce document scientifique no. 102 s'est constitué par la coopération de l'ENSUT, de l'ORSTOM, du CRODT et de l'ISRA. Au Sénégal chaque année entre novembre et juin des algues marines sont jetées sur les plages de la Petite Côte. Elles sont considérées comme pollution écologique. A l'aide d'une population bactérielle prise de la terre entre les mangroves de la zone de marée on a pu établir l'aptitude de ces macrophytes à la production de biogaz.

Au mois de janvier 1988 l'expert de l'ONUDI a inspecté la plage de la Baie de Hann à trois localités différentes qui se trouvent loin l'une de l'autre. Il a pu constater que sur l'estran se trouve une couche d'algues, une espèce d'Ulve, large de 2 mètres et épaisse de 25 centimètres. Ces mêmes algues se trouvèrent dans la mer à deux mètres du littoral. Dans la partie de la Baie de Hann de Tiroye-Mer jusqu'à Rufisque il n'y avait presque pas d'algues sur les plages.

Le long de la "Petite Côte" entre Bargny et Joal-Fadiout une huitième de localités sur la plage fut visitée. Comme on peut voir sur la photo 6 une bande d'algues mince se trouva sur la plage entre Mbodiène et Joal, mais à part de cela presque pas d'algues furent trouvées. Quand on constate combien d'algues sont trouvées sur le littoral entre Dakar et Joal, on peut se demander si, dans la période mentionnée plus haut, assez d'algues sont accumulées pour pouvoir alimenter un digesteur uniquement d'algues. A cause de la dispersion les coûts de transport pour ramasser une couche tellement mince seront très élevés. Il sera nécessaire d'éliminer le sable et les autres matériaux indémontables qui se sont mélangés avec les algues afin d'éviter que le digesteur ne sera bouché. Par expériences il faut constater dans combien de temps les algues sont jetées sur la plage de nouveau après les avoir ramassées. En plus le plan existe d'extraire certaines matières chimiques des algues de sorte que les algues ne seront plus aptes tout court à la production de biogaz.

Vu toutes les constatations citées plus haut le rôle des algues comme substrat de la production de biogaz n'est pas encore clair. On s'attend à ce que surtout dans la Baie de Hann et sur le littoral entre Mbodiène et Joal les algues seront là et qu'au moins elles pourront compléter le fumier comme substrat si le digesteur ne se trouve pas trop loin du littoral.

1.5. Les industries

Plusieurs industries à Dakar furent visitées. M. Michel Ricciardi, le directeur de la production de SOBOA, une brasserie, prétend que la drêche et les autres déchets ne sont pas disponibles à la production du biogaz parce qu'ils sont vendus et utilisés dans l'élevage des bestiaux et dans l'agriculture. Le directeur général adjoint, Michel Morel, de l'usine de poissons AFRICAMER raconte qu'en totalité il y a au Sénégal trois grandes et cinq petites usines de poissons et deux conserveries de poissons. Cependant ses déchets ne peuvent pas être utilisés pour la production de biogaz car on s'en sert pour en faire de la nutrition albumineuse.

SENLAIT est une laiterie pour la production de lait et de yaourt. Madame Coumba Sogue Thiam, responsable du Laboratoire de Contrôle et de la Qualité donna des informations sur les déchets éventuels de l'usine. Il paraît qu'il y a très peu de déchets à cause de la forte dilution avec la rinçure. Puisqu'au Sénégal on ne fait pas de fromage il y a peu de déchets et l'eau usée de l'usine peut s'écouler sans problèmes.

1.6. L'hôpital et la SONES

Le directeur du grand hôpital Aristide Le Dantec à Dakar, le professeur Diop, ne put pas nous procurer des informations sur le nombre de malades et sur la destination des déchets organiques. Avant de pouvoir nous donner ces informations il aimerait recevoir une lettre d'approbation du Ministère, ce qui ne fut pas possible à brève échéance. Pour les mêmes raisons une entrevue avec la SONES sur les eaux usées n'a pas pu être réalisée.

II. Identifier de propres ébauches des installations de biogaz à

2.1. petite échelle et au niveau de la communauté

Pendant dix ans l'ENDA et CARITAS sont en train de construire et de mettre en oeuvre des installations de biogaz simples. Les installations qui fonctionnent à Nianing sont du type indien. Il y a cinq ans le système plug-flow du type chinois fut utilisé dans les abords de Ziguinchor. Les digesteurs de ce système n'avaient un contenu de seulement 800 litres. Auparavant ce type fut utilisé comme modèle de démonstration au CNRA à Bambey. Il n'y a construit qu'un modèle du type chinois. Cependant il n'a jamais été mis en oeuvre parce que le

toit n'a pas pu être rendu étanche au gaz. L'ENDA est une organisation non gouvernementale qui ressort au Ministère du Plan et de la Coopération dont le ministre est le président en exercice. Depuis dix ans sans interruption l'ENDA est en train de construire des unités de biogaz simple dans les abords de Ziguinchor et d'assurer leur fonctionnement. En 1983 Théodore Ouedrago de Burkina Faso et Philippe Peultier de la France ont construit à Badiana une combinaison de deux cuves de biogaz: une cuve de 8 m^3 avec un couvercle fixe (type voltaïque) qui est liée par un tuyau en plastic à une cuve de 6 m^3 avec une cloche gazométrique en métal. Ce dernier est le digesteur gazomètre. C'est un processus discontinu de sorte que chaque deux mois et demi une des deux cuves est vidée et remplie successivement de paille et de fumier. En ne vidant pas en même temps les deux cuves, mais alternativement il n'y a pas de stagnation de la production de biogaz. L'ENDA à Dakar publie un livret qui comporte des données sur la construction et le manieement de ces digesteurs à Badiana. Le livret est intitulé: "Une expérience de biogaz villageois en Casamance". L'alimentation du digesteur se compose de paille (75%) (riz, arachide, mil ou déchets des palmeraies) et de déjections animales (25%). La communauté du village est très content du fait que l'installation marche sans interruption depuis 1983 (fig. 7). Le gaz produit est utilisé dans un dispensaire pour un réfrigérateur à absorption où sont conservés les vaccins. La consommation de gaz journalière est de $2,5 \text{ m}^3$. En plus le gaz est employé à la stérilisation des seringues, $0,25 \text{ m}^3$ de gaz par jour et à l'éclairage de la salle de soins. Les lampes indiennes consomment $0,5 \text{ m}^3$ de gaz par jour. Au même village se trouve un digesteur du type indien de $6,5 \text{ m}^3$, construit avec une cloche gazométrique en métal qui plonge directement dans le substrat en fermentation. En principe c'est un système continu, mais à cause de la quantité de paille dans le substrat le digesteur est utilisé de manière discontinue. Le tuyau d'amenée est bouché très vite par la paille et on préfère vider la cuve chaque deux mois que de l'alimenter chaque jour. L'installation se trouve près d'une maternité et pourvoit à la production d'eau chaude et à la préparation des repas. La consommation de gaz journalière est de $4,5 \text{ m}^3$, tandis que les deux installations peuvent produire $0,25 \text{ m}^3$ de gaz par jour et par cuve. La communauté de village a nommé un homme dont la tâche est d'entretenir les deux installations et de tenir à jour la production du gaz.

En 1985 deux installations enterrées au type indien furent construites à Dioubour. La cuve est alimentée de déjections animales et de matériel des latrines. Le gaz est utilisé pour l'éclairage et pour la préparation des repas. Une seule famille profite de l'installation. Comme on a pu constater également à d'autres endroits du pays un homme qui doit gérer d'autres intérêts ne peut pas en même temps s'occuper de l'entretien d'une installation de biogaz. Ces activités demandent la nomination d'un homme spécial. En ce cas chez un paysan l'entretien et l'alimentation du digesteur sont négligés de sorte qu'il y a des périodes où aucun gaz est produit.

En 1986 un digesteur enterré avec un contenu de $6,28 \text{ m}^3$ fut construit à Badiate, à 14 km. ouest de Ziguinchor. La cuve est condamnée d'un toit en paille et en ciment. Le trou d'homme dans le toit est fermé par un couvercle en bois qui est serré à l'intérieur contre un anneau en caoutchouc graissé. Le gaz est recueilli dans un gazomètre en caoutchouc de 15 m^3 (fig. 3). Le ballon à gaz en caoutchouc est un don de l'Autriche, qui a coûté 200.000 CFA et qui a fonctionné sans coullages pendant deux ans sans interruption. On a pu obtenir une pression du gaz de 35 cm. de colonne d'eau en mettant des pierres sur une plate-forme en bois qui se trouvait sur le ballon en caoutchouc. Une telle pression est indispensable pour la motopompe. La pompe fait monter l'eau d'un puit profond et la conduit vers le jardin maraicher éloigné. L'expert de l'ONUDI constata une teneur du gaz en méthane de 80%, ce qui est très élevée. Le temps de séjour est de 30 jours. Sont produits par jour 2700 litres de gaz, mesurés avec un compteur viennois de S. Elster, qui indiquait 275 m^3 . Pendant l'hivernage, du mois de juin jusqu'au mois d'octobre le biogaz est utilisé pour éclairer les maisons et l'école. La lampe indienne consomme 180 litres de gaz par heure.

L'ENDA a contracté M. Théodore Ouedrago de Burkina Faso comme expert de la construction de cuves de biogaz. Il assiste et conseille les utilisateurs des installations de biogaz à Badiana, Badiate et Dioubour. Sur ses voyages quotidiens il est accompagné de Mme. Mdeye Diatta qui donne des explications sur l'usage de biogaz. Une bonne exemple de vulgarisation.

M. Made Diouf, le responsable de l'ENDA dans la région de Casamance, nous raconta qu'encore cette année des cuves de biogaz seront construites de respectivement $12,38$, $6,28$ et $12,35 \text{ m}^3$ à Thionck-Essyl, Suel et Albadan. 50% des frais sont à la charge de l'ENDA et 50% à la

charge du communauté de village ou d'une entreprise privée (Tionk-Essyl). Le gaz sera utilisé pour arroser des jardins maraichers à l'aide de motopompes. En totalité l'ENDA a reçu de la partie ouest de la région de Casamance 40 requêtes pour des installations de biogaz surtout de Sédhou, de Kolda, de Mandingue et de Diola. De plus en plus on se rend compte de l'utilité de la production de biogaz et on ne peut pas encore répondre à l'attente.

La fig. 2 montre un digesteur du type indien sur le terrain du Centre de Formation Rurale de Nianing (CARITAS). Originellement le digesteur de $11,5 \text{ m}^3$ fut construit pour une fermentation continue mais en pratique on l'utilise de manière discontinue de sorte qu'on le vide chaque 2 à 3 mois. Puis on le remplit alternativement de bouse de vache et de trois couches de paille. Quatorze jours après le remplissage une pression du gaz de 10 cm. de colonne d'eau est mesurée. Dans les étables sur le terrain se trouvent 6 bovins, 6 moutons, 1020 poules, 20 canards, 30 porcs et 18 lapins de sorte qu'il y a plein de déchets. Le directeur M. Faye a procédé à l'utilisation discontinue du digesteur puisque le tuyau d'amenée est bouché tellement vite à cause du sable qui se trouve dans la bouse de vache et qui s'entasse à l'endroit où le tuyau se déverse dans la cuve. Les 5 m^3 de biogaz qui sont produits par jour sont appliqués dans le Centre à la préparation de deux repas pour environ 60 personnes parmi lesquelles les élèves. Après le remplissage de la cuve éteinte vidée aucun gaz est produit pendant une période de 14 jours. Pendant cette période on recourt au butane en bouteilles; il faut 5 kg. de butane par jour, soit 1496 CFA. La production de biogaz constitue donc une économie d'argent considérable! Le gaz est non seulement utilisé pour préparer les repas mais également pour l'éclairage. Dans les tuyaux se trouvent un captage d'eau de condensation et un compteur. Chaque 3 mois la masse fermentée est appliquée à engraisser les jardins maraichers. Deux hommes de CARITAS contrôlent deux installations de biogaz au Centre, l'une sur le terrain et l'autre à Ndjouk-Fissel. Quand il s'agit de biogaz ils coopèrent toujours avec des experts de l'ENDA. L'installation dernière mentionnée, qui a une volume de 27 m^3 , a fonctionné de 1978 jusqu'à 1986 dans un carré de cinq familles, environ 25 personnes. Le gaz fut appliqué à la préparation des repas et à l'éclairage. Lors de la visite de l'expert de l'ONUDI le digesteur ne fonctionna pas à cause de trous de rouille dans le dôme en métal. Le chef du carré, Nicole Diouf, exprima l'espoir qu'à bref

délaï des moyens financiers seront disponibles pour acquérir un nouveau gazomètre de sorte qu'on peut produire de nouveau du biogaz à partir du matériel des latrines et de la bouse de vache.

Selon le directeur du CFR, Georges K. Faye, à Ndjouk-Fissel il y avait le problème qu'un seul homme ne peut pas s'occuper de l'installation ainsi que de son travail de paysan existant, de sorte qu'il y a eu des périodes sans gaz. Le mieux serait d'attirer un homme dont la seule responsabilité est l'entretien de l'installation. Comme ça une stagnation de la production du gaz par manque de temps du responsable peut être évitée. Les frais actuels d'un digesteur du type indien de 27 m³ sont estimés à 2.500.000 CFA. Dans un rayon de 30 km. CARITAS a reçu des chefs de carrés neuf requêtes pour des installations de biogaz. Dans ce rayon se trouve également l'atelier de CARITAS à Sandiara sur la route de Kaolack. M. Ernest Diop est le comptable, le coordinateur et dix hommes de métier sont à son service qui réparent des tracteurs et des outils agricoles. Ils savent également réparer les gazomètres en métal des digesteurs du type indien.

Sur le terrain du CFR un digesteur plug-flow est en construction. La fig. 8 montre que la partie horizontale consiste en un tuyau en béton. Reste à savoir si les extrémités du tuyau peuvent être rendues impénétrables au gaz. Si on réussit, le système plug-flow en tuyau en béton est un additif des installations de biogaz existantes à petite échelle. Le plug-flow devrait être alimenté de fumier liquide de préférence et non de paille.

En ce qui concerne les installations à petite échelle et à échelle semi-industrielle sont disponibles le digesteur discontinu du type voltaïque avec un couvercle fixe et un gazomètre séparé, le digesteur continu du type indien et le tuyau en béton comme plug-flow, également enterré (fig. 8). En plus le plug-flow de surface, le "Transpaille" français, est introduit au Sénégal. Voir fig. 4 et 9. A certains moments, en fonction du temps de séjour mis au point, un cylindre pousse en avant quelques dizaines de centimètres le contenu du cylindre horizontal. Selon le dépliant de fig. 9 des expérimentations de l'AFME, de l'IRAT et de l'ISRA montrent que 2 à 3 hectares de culture céréalière et 4 boeufs gardés à l'étable suffisent pour alimenter le digesteur Transpaille. Avec une charge journalière de 80 kg. de fumier pailleux (50% M.S.) la production journalière de biogaz varie de 6 à 10 m³ selon la température saisonnière. Le digesteur Transpaille produit chaque jour 100 - 150 kg. de substrat orga-

nique humide destiné à devenir un engrais organo-minéral après quelques mois de finition en fosse. Le contenu du digesteur Transpaille peut être plus de 100 m^3 .

Le directeur du CNRA à Bambay, monsieur Mamadou Sonko, nous a permis de visiter l'installation Transpaille. Un Français, Philippe Gaumer, ingénieur en agriculture, contrôla l'installation. Deux paysans sénégalais alimentent et entretiennent l'installation et utilisent le gaz pour un générateur dual-fuel et pour une motopompe. Le digesteur a un temps de séjour de 45 jours et est alimenté d'un mélange de paille (80%) et de bouse de vache (20%) (35% M.S.). Une charge de 5 kg M.S. peut être introduite par m^3 de digesteur. La bouse est produite par 4 vaches gardées à l'étable. Pendant déjà 4 ans sans interruption le Transpaille produit du biogaz. Le gaz est retenu dans un ballon en caoutchouc de 15 m^3 , qui se trouve à droite sur la photo 4. Le gaz est comprimé par le bâti et une plate-forme en dessus du ballon jusqu'à une pression de 15 cm de colonne d'eau. L'expert de l'ONUDI a mesuré la teneur du gaz en méthane, ce qui est 65%. Un générateur 6,5 KVA de Schule a un moteur dual-fuel et coûte 2.500.000 CFA. 1,2 litres de gasoil correspond à environ 2 m^3 de biogaz. Le moteur consomme 2 litres de gasoil par heure de sorte que sont ajoutés 2 m^3 de biogaz et 0,8 litres de gasoil. Le matériel fermenté est gardé à l'aire dans des cuves en béton à bords bas pendant quelques mois et obtient alors une structure fine. A cause de sa structure fine ce composte peut être semé sur la terre très facilement.

Les deux sociétés Agroproduction et SOSEDRA possèdent près du village Bayakh, à 25 km. NNE de Dakar, une ferme privée M. Hyppolite Sène est nommé comme responsable de l'agriculture et de l'élevage au projet de Thédème. A l'étable se trouvent 6 bovins et 4 veaux qui produisent le fumier pour le digesteur de 12 m^3 . Un bâti est construit pour un gazomètre en forme de ballon de 30 m^3 . Le ballon lui-même ne fut pas encore là. Le processus ne se déroula pas de manière optimale parce qu'il y avait très peu de paille. Donc le digesteur fut suralimenté de fumier. En ce cas il faut diluer le fumier avec de l'eau. Selon le niveau des prix de 1985 les coûts d'un Transpaille de 10 m^3 se montent à :

- digesteur + gazomètre + tuyaux	3.750.000 CFA
- générateur	1.950.000 CFA
	<hr/>
total	5.700.000 CFA

Quand la vente d'un bovin procure 50.000 CFA, une société ou une communauté devrait vendre 114 bovins afin de pouvoir installer un Transpaille de 10 m³. Il est évident que cela dépasse largement la capacité des éleveurs. L'introduction d'un programme de biogaz ne peut donc être réalisé que par le support financier du gouvernement ou d'organisations internationales.

2.2. échelle agro-industrielle et industrielle

Du fait qu'au Sénégal la brasserie, l'industrie laitière et l'industrie de poissons vendent leurs déchets pour être utilisés de nouveau, les abattoirs sont les seuls endroits qui produisent régulièrement de grandes quantités de déchets organiques. (par 1.2)

Chaque jour les déchets de huit abattoirs sont jetés dans la rivière, sur la terre ou dans la mer. Le tableau 2 en donne un bref exposé. L'abattoir de Dakar plane au-dessus des autres avec ses 1,5 tonnes de matière sèche par jour. Si le temps de séjour des déchets dans le digesteur est de 25 jours, il faut un digesteur de 625 m³ net pour fermenter une telle quantité. Un digesteur de ces dimensions ne peut pas être d'un type simple, ce qui implique un digesteur du type "high-rate" avec un contrôle optimal du mélange, du substrat et de la température. Le rapport du Français M.A.Théoleyre, GIDA 149 Rue de Bercy, 75012 Paris donne des informations sur la réalisation efficace d'un processus de production de biogaz. Le rapport de synthèse du mois de juin 1987 est intitulé: "suivi technique des installations agricoles de méthanisation". Selon ce rapport 95 installations de types divers ont été construites en France entre 1929 et 1983. Parmi les installations françaises on peut choisir le type le plus convenable pour le Sénégal.

Un type de digesteur tout à fait nouveau pour usage industriel est représenté schématiquement dans la figure 10.

Le susdit réacteur BIMA est une invention autrichienne et il est fabriqué par le Biologische Verfahrens-Technik, Arlbergstrasse 139, A-6900 Bregenz, l'Autriche. Pendant les huit ans derniers 30 installations de 50 à 1300 m³ ont été placées dans 11 pays. Toutes sortes de déchets peuvent être fermentées: du fumier, des déchets d'indus-

tries de pommes de terre et de cultures maraichères, des déchets de distilleries et de l'eau ménagère usée. Le système BIMA constitue une bénéfice financière de 15% comparé aux autres systèmes des mêmes dimensions. Il n'y a pas d'accessoires tournantes, le tuyau d'amenée du gaz ne peut plus se boucher, pas de formation d'une couche flottante et la sédimentation de sable dans la cuve peut être écartée de manière facile sans interruption de travail. Un taux élevé de M.S. de 15% ne constitue aucun problème. Le temps de séjour hydraulique est plus court que celui des bactéries et des matériaux difficiles à décomposer. En principe le système est fondé sur l'accroissement de la pression du gaz en (5) dans la figure 10. Il en résulte une divergence du niveau de liquide entre (2) et (3) de quelques mètres. Le tuyau de réduction de pression (7) est ouvert quatre à six fois par jour. La pression s'évanouit par (5) et le liquide qui se trouve dans la cuve de finition (3) est répandu à travers le tuyau de descente (4) dans la cuve de fermentation principale (2). Au bas du tuyau une mixtion tangentielle effective a lieu. Par l'installation de tiges de mixtion une couche flottante qui pourrait se former dans le récipient circulaire est mélangée intensivement avec le contenu de la cuve de fermentation principale. Le sable et le gravier sont écartés facilement par un puit (9).

Il faut s'attendre à un montant de 20.000.000 CFA si à Thiès un petit réacteur BIMA de 60 m³ net pourrait être installé avec un gazomètre et un générateur. Les 2,1 tonnes de déchets (6% M.S.) de l'abattoir de Thiès procurent 39 m³ de biogaz (65% CH₄) par jour.

Après avoir acquis des expériences avec le digesteur high-rate à Thiès, le digesteur dix fois plus grand de Dakar peut être construit et mis en oeuvre.

III. Déterminer le besoin national d'instruction sur le plan de la technologie de biogaz.

Au Sénégal il y a déjà un groupe de cinq experts en biogaz au niveau universitaire. M. Mamadou Dianka de MDIA (tableau 1) a suivi à l'étranger plusieurs cours de biogaz et il a visité des installations en Chine, en Inde et aux Philippines. M. Dr. Mactar Sall, physicien chercheur de CERER est responsable de l'Évaluation du potentiel solaire et éolien, du biogaz et des pompes solaires pour puits profonds. Sur le terrain se trouve une cuve de biogaz de 3 m³ avec un

couvercle fixe. Le contenu de la cuve peut être remué à l'aide d'une roue dans la cuve et une poignée à l'extérieur. Il y a un trou d'homme qui est fermé par un couvercle avec un anneau en caoutchouc. La cuve est reliée par un tuyau avec un gazomètre de 3 m³ avec une cloche mobile en métal. Il y a un gazomètre enterré de 2 m³ en fibre de verre provenant d'Inde. Malheureusement il fut cassé lors du transport. Un générateur à gaz indien de 3,5 KVA se trouve non usagé dans la baraque ainsi que deux types de lampes à gaz avec des manchons, dont l'une était de modèle allemande avec une amenée du gaz qui est réglée automatiquement. Il y avait également un brûleur à biogaz. Au CERER on peut donc faire des expériences avec des appareils à biogaz.

A l'ENSUT des Sénégalais de l'ENSUT coopèrent avec des Français de l'ORSTOM. A l'ENSUT on délivre le diplôme universitaire technique (DUT). Un système de digestion mécanique fonctionnant en discontinu (2 cuves de 4 m³) a été installé sur le terrain à l'occasion de la session du cours de biogaz qui s'est tenu à Dakar en 1982 sous l'égide de l'Association des Universités Partiellement ou Entièrement de Langue Française. Le stockage du gaz est assuré par une bache en plastique souple ou une cloche métallique plongeant dans un joint d'eau. L'école est également équipée d'un vaste laboratoire doté notamment du matériel nécessaire au suivi scientifique des digesteurs mécaniques. L'institut possède un large équipement en ateliers et en laboratoires ainsi qu'un digesteur "plug-flow" de 150 litres comme le système Transpaille. Des expériences de fermentation par batch et continue ont été faites avec des fermenteurs en laboratoire. On a soumis à la fermentation méthanique sous anaérobie les substrats suivants: l'Euphorbia tirucalli, de la balle de riz, des matières stercorales et des algues marines. Les résultats sont décrits dans un rapport, dont les Sénégalais Emmanuel Tine et Demba Sow sont les collaborateurs. Ces deux experts de biogaz sont assistant à l'ENSUT. Au MPC il y a des employés comme M. Cheikhou Faye, qui écrivent des rapports sur la biotechnologie, qui coopèrent avec des experts de biogaz étrangers, qui ont assisté à un cours de biogaz en France et qui, de cette manière, ont acquis beaucoup de connaissance sur le biogaz et sur ses applications.

L'introduction du programme de biogaz au Sénégal s'écoulera à des niveaux différents en fonction du type de digesteur. Les centres existants d'instructions sont au CFR-CARITAS à Nianing (fig. 1) et

aux centres d'ENDA à Ziguinchor et à Dakar. Vu le nombre de requêtes pour des installations de biogaz aux alentours de Nianing (9) et dans la partie ouest de la région de Casamance (40) il serait grand temps d'amplifier les cours d'instructions pour techniciens de biogaz aux deux centres. Le nombre actuel de deux techniciens de biogaz de CARITAS devrait s'augmenter en rapport au nombre d'installations construites à Nianing. Pour ces installations relativement simples il suffit d'avoir de l'intuition technique en combinaison avec un peu de notion des fonds théoriques. On pense à installer un comité d'environ six personnes provenant des représentants des homologues, des bailleurs de fonds et de l'agence exécutive. Ce comité devrait assister les constructeurs des installations et les cours d'instruction pour techniciens de biogaz. Ce comité est donc responsable non seulement de la construction mais également de l'instruction des manieurs des installations et de l'assistance après la mise en oeuvre de l'installation.

Au CNRA à Bambey on a le plus d'expérience en ce qui concerne la construction et la gestion industrielle du type continu plug-flow Transpaille. L'installation du biogaz sur le terrain du CNRA a marché pendant quatre ans sans interruption. Il serait favorable de stationner à Bambey le cours d'instruction des utilisateurs du Transpaille. Ici aussi il en est de même: le cours d'instruction devrait marcher de pair avec le nombre d'installations Transpaille à construire. Le niveau d'instruction pour le Transpaille est plus élevé que celui pour l'entretien des cuves de biogaz. Tout comme pour les cuves de biogaz, il faut nommer et instruire un technicien dont la seule tâche est l'entretien des digesteurs.

Le cours d'instruction pour le maniement d'un digesteur high-rate est à un niveau élevé. Le nombre de ces digesteurs au Sénégal sera restreint. Ils seront réservés uniquement aux grandes sociétés comme les abattoirs de Thiès et Dakar et ceux-ci introduiront probablement les unités de biogaz dans leur parc aux machines. Un de leurs techniciens devra suivre un cours d'instruction universel sur la production de biogaz à l'ENSUT. Le cours d'instruction spécifique devra avoir lieu chez la firme qui construira le digesteur high-rate. L'assistance de la construction et de l'instruction et le contrôle des fonds y consacrés devraient être confiés à un comité autonome avec un propre budget et qui n'est responsable que du programme de digesteurs high-rate.

Il serait favorable de profiter lors de l'instruction des modèles de démonstration qui se trouvent sur le terrain de l'ENSUT, du CERER et du CNRA. Au CERER on peut également s'exercer à manier des lampes à gaz et des générateurs à gaz. Les informations générales sur la production du biogaz pourraient être fournies lors d'un cours collectif à Dakar sous les auspices des trois comités. Les activités de recherche au niveau universitaire technique tels qu'ils peuvent être réalisés à l'ENSUT forment un chapitre à lui. Depuis des années une bonne coopération existe entre l'ENSUT et l'ORSTOM. Puisque ces activités ont lieu plutôt au cadre du développement de la technologie du biogaz au Sénégal, il existe un programme spécial dont le biogaz est une partie. Il faudrait réserver un certain montant afin de pouvoir suivre les développements sur le terrain du biogaz à l'étranger et afin de pouvoir assister à des colloques. De cette manière les connaissances sont maintenues au niveau et le nombre d'experts en biogaz au niveau universitaire sera augmenté. Ceux-ci passeront leurs connaissances lors de réunions locales, qui devraient avoir lieu régulièrement, ou lors de colloques nationales. L'impression existe qu'en ce moment il y a principalement besoin d'un cours d'instruction technique pratique pour entretenir et assurer le fonctionnement des cuves de biogaz. Puisque l'instruction devrait avoir lieu là où sont construites les cuves, les endroits indiqués seraient respectivement chez CARITAS à Nianing et à l'ENDA à Ziguinchor. Le cours d'instruction du digesteur Transpaille et du digesteur high-rate a moins d'urgence. Il peut avoir lieu à Dakar et marcher de pair avec la construction des digesteurs. Le nombre de techniciens nécessaires pour ces installations derniers mentionnées est relativement restreint.

Si donc les moyens financiers sont disponibles on peut tout de suite procéder à la construction des et à l'instruction sur les cuves de biogaz à Nianing et à Ziguinchor. Ce serait seulement une amplification des activités actuelles.

IV. Examiner le marché de la lie fermentée comme engrais organique.

M. Madouma Diawara, le directeur de l'abattoir à Dakar, nous raconta que 5% des déchets de l'abattoir sont portés vers le Parc de Hann comme engrais organique. La lie fermentée des cuves de biogaz qui

fonctionnent et du Transpaille à Nianing, Badiate, Badiana et Bambey est utilisée comme engrais dans les jardins maraichers et dans l'agriculture. Il y a donc déjà une application spontanée de la lie. On vise même à produire du composte avec le digesteur Transpaille. Selon le dépliant 100 à 150 kg. de substrat organique humide sont produits chaque jour destinés à devenir un engrais organo-minéral après quelques mois de finition en fosse. Dans la région du Cap Vert près de la ville de Dakar se trouvent de vastes jardins maraichers. L'abattoir de Dakar se trouve tout près. Il va de soi que la lie fermentée du digesteur à construire sera de bon débit pour les jardins maraichers. Il y a également des jardins maraichers près des autres abattoirs de sorte que partout dans le pays il y a un marché pour l'engrais organique. Après le processus du biogaz la lie fermentée est liquide et peut être arrosée facilement sur les jardins.

La paille fermentée qui sort du digesteur Transpaille est compostée pendant quelques mois. De cette manière on obtient une substance sèche très fine qui est également qualifiée pour l'agriculture. En général il existe déjà un marché pour la lie fermentée. Le composte peut être débité aux alentours directes de l'installation du biogaz dans les jardins maraichers, les orangeries et dans les cultures de mandarines. Les petites installations de biogaz débiteront leur lie dans leur propre jardin, comme cela se passe déjà.

- V. Chercher des endroits aptes à y construire des esquisses d'installations de biogaz qui servent d'objets de démonstration.

Au Sénégal on a déjà trouvé des endroits où le processus des digesteurs à petite échelle et à échelle moyenne peut être démontré. Dans le paragraphe 3 de ce rapport sont déjà mentionnées les deux cuves de 4 m^3 qui se trouvent sur le terrain de l'ENSUT. Ces cuves fonctionnent selon le système discontinu, elles sont enterrées, construites en béton armé et elles ont un joint hydraulique extérieur. Les gazomètres des digesteurs sont assurés soit par une cloche gazométrique en métal guidée par un axe central, soit par une bache en plastique souple. Une mono-pompe de 5 CV a été transformée pour pouvoir fonctionner uniquement au biogaz. La consommation est de 40 l de biogaz par minute. Au laboratoire se trouve un digesteur Transpaille de 150 l avec lequel on fait des

expériences. Un montage vidéo dérivant la construction du système discontinu décrit ci-dessus est disponible à l'Ecole (rapport UNESCO '84).

Sur le terrain du CERER se trouvent encore d'autres types de digesteurs: le digesteur indien qui est enterré et qui a un gazomètre avec une cloche en métal. Là l'équipement de remuage peut être démontré ainsi que la fermeture du trou d'homme dans le toit en béton par un couvercle en métal pourvu d'un anneau en caoutchouc. Des brûleurs, des lampes et des générateurs de 3,5 KVA à biogaz peuvent être démontrés également.

Bambey est le lieu meilleur pour démontrer le digesteur Transpaille de 9 m³. Un gazomètre en caoutchouc en forme de ballon est relié au digesteur. Le gaz est utilisé dans un générateur dual-fuel et dans une motopompe. Un ingénieur en agriculture français, qui est toujours présent au CNRA, contrôle le fonctionnement du Transpaille et donne des informations aux visiteurs. Depuis quatre ans le système plug-flow est démontré ici avec beaucoup de succès.

A Bayakh, à 40 km de Dakar, un digesteur Transpaille de 12 m³ avec un gazomètre en plastique de 30 m³ en forme de ballon fut installé dans le projet de Thiédème. Le générateur dual-fuel consommera le gaz. Bayakh peut servir d'objet de démonstration parce que le projet se trouve plus près de Dakar que de Bambey.

Le digesteur high-rate ne peut pas être démontré plus tôt que si l'esquisse de l'installation sera installée à l'abattoir de Thiès. De Dakar on arrive à Thiès par l'autoroute. Il est donc facile de démontrer les différentes unités de biogaz au-dedans de 50 km de Dakar.

VI. Projets d'activités ultérieures.

Le tableau 3 montre en schéma les programmes de biogaz possibles au Sénégal. Trois programmes sont suggestionnés qui dépendent du type de digesteur et de son volume. Le schéma est donc mis au point directement avec l'introduction du programme de biogaz au Sénégal. Les dizaines de requêtes pour des cuves de biogaz discontinues dans la partie ouest de la région de Sine-Saloum et dans la région de Casamance rendent acceptables une première action. Pour la réalisation du programme on pense à installer un comité de six personnes par catégorie (tableau 3). Chaque catégorie a son propre budget et ses propres

responsabilités en ce qui concerne la localisation, la construction, la mise en oeuvre et le maniement de l'unité de biogaz.

Ils sont également responsables de l'instruction et de la vulgarisation du type de digesteur de la catégorie en question. Si les fonds sont disponibles les ateliers de CARITAS à Sandiara et de l'ENDA à Ziguinchor peuvent tout de suite se mettre à la construction des cuves de biogaz requises. En beaucoup de cas l'utilisateur fournit les fonds en partie. Depuis des années sans interruption l'ENDA a vulgarisé l'usage du biogaz.

Dans les régions du Sénégal Oriental, de Louga et du Fleuve il faut encore réaliser une vulgarisation appropriée du biogaz. Dans ce but le comité de la catégorie II doit former des experts de biogaz à l'ENSUT à Dakar et les dépêcher auprès des régions où se trouvent des ranches, des unités pastorales et des communautés rurales.

Il faut persuader leurs chefs de l'avantage de la production du biogaz. Il sera très important d'installer sur les lieux un digesteur Transpaille comme objet de démonstration, puisqu'alors là ils pourront voir chaque jour l'avantage du biogaz. On peut s'accorder avec l'utilisateur sur un achat de l'installation avec facilités de paiement. Premièrement le gaz peut être utilisé pour l'exhaure de l'eau d'une source à l'aide d'une motopompe. Il faut absolument assister ces projets. Une fois une installation fonctionne comme il faut elle sert de modèle de référence aux autres utilisateurs futurs.

Puisque les comités proposés des trois catégories du programme de biogaz opèrent de manière autonome et puisqu'ils ont des responsabilités nettement distinguées, les comités peuvent agir en même temps. Alors la catégorie I a besoin d'un digesteur high-rate. Aux alentours de Dakar le meilleur endroit de placer ce digesteur est l'abattoir de Thiès. Le réacteur le plus efficace, BIMA, peut être construit sous licence par une firme française. Dans une lettre à l'expert de l'ONUDI la direction du Biologische Verfahrens-Technik en Autriche a déclaré cela. Le technicien de l'abattoir qui sera chargé de du maniement de l'installation devra d'abord suivre un cours d'instruction en France chez le fournisseur.

Après la construction et la mise en oeuvre des unités divers de chacune des catégories il faut des colloques nationaux afin d'échanger les problèmes et les expériences. Lors et après le colloque, où des experts étrangers de biogaz peuvent être invités, on décide qui est admis à faire un stage à l'étranger afin d'amplifier ses connaissances de la production de biogaz.

CONCLUSIONS

1. Au Sénégal on a déjà une expérience de 10 ans avec la production de biogaz en cuves du type continu et du type discontinu, et de 4 ans avec le système plug-flow Transpaille.
2. Au Ministère, à l'Ecole Technique et au Centre de Recherches sur l'Energie se trouvent au moins cinq experts de biogaz qui peuvent assister effectivement le programme de biogaz sénégalais. En plus il y a plusieurs experts empiriques d'organisations non-gouvernementales à qui on peut faire appel.
3. Dans la plus grande partie du pays il y a assez de bouse de vache, de paille de riz, de déchets d'arachides et de tiges de mil comme substrat de la production de biogaz. En plus il y a des déchets concentrés des huit abattoirs. Les plantes sauvages comme l'Euphorbia et les algues marines ne constituent qu'une composante du substrat.
4. Le Sénégal s'est préparé à l'introduction du programme de biogaz à tous les trois niveaux (catégories).
5. Dans les régions du Fleuve, de Louga et du Sénégal Oriental la vulgarisation du biogaz sera précipitée par l'installation de modèles de démonstration du digesteur Transpaille près des fermes, près des forages et près des unités pastorales.
6. L'introduction d'un digesteur high-rate est tout à fait nouveau au Sénégal. L'abattoir à Thiès est l'endroit le plus apte à acquérir de l'expérience avec ce type de digesteur.

NATIONS UNIES
PROGRAMME DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT



UNITED NATIONS
UNITED NATIONS DEVELOPMENT
PROGRAMME

DAKAR

2, AVENUE ROUME - TEL. 21-32-44 (5 lignes groupées)

ADR. TELEGR. UNDEVPRO

BOITE POSTALE 154

UNIDO 019
UC/SEN/87/118

Dakar, le 25 janvier 1988

Monsieur le Ministre,

J'ai l'honneur de porter à votre connaissance que, dans le cadre d'une prestation accomplie à la requête de votre département (étude préliminaire sur les possibilités de valorisation de la bio-masse), Monsieur De Waart, consultant de l'ONUDI a eu des entretiens approfondis avec le directeur de la production de la SERAS. Cette société a mené des études sur la possibilité d'utiliser ses sous-produits et déchets pour la production de bio-gaz. L'accès à ces études, seraient, assurément, d'un grand intérêt pour la préparation du rapport de Monsieur De Waart ; toutefois, selon la SERAS, ces études ne pourraient être remises à notre consultant qu'après un accord des autorités sénégalaises.

Par ailleurs, au cours de ces entretiens, la possibilité de réaliser avec le concours de l'ONUDI, ce programme de production de biogaz a été évoquée; l'ONUDI souhaiterait savoir dans quelle mesure le Sénégal pourrait participer aux coûts d'un éventuel projet d'assistance technique.

Je vous prie de croire, Monsieur le Ministre, à l'assurance de ma haute considération.

Salif N'Diaye
Représentant Résident

Son Excellence
Monsieur le Ministre
du Plan et de la Coopération
Dakar

AR/jb

cc : S.E.M. le Ministre du Développement Industr. et Artisanat
M. le Directeur de la SERAS

A. H. R.

Tableau 1 : Des discussions ont eu lieu avec les personnes suivantes pendant la mission

A Dakar

- M. Djamel Mostefai	SIDFA	PNUD - Dakar
- M. Modou M'boup	Directeur	DAST - MPC
- M. Cheikhou Faye	Homologue	DAST - MPC
- M. Emmanuel Tine	Assitant	ENSUT
- M. Guy Demeure	Enseignant	ENSUT
- M. Demba Sow	Assistant	ENSUT
- M. Bernard Ollivier	Responsable du labo	ORSTOM/ENSUT
- M. Yannick Combet - Blanc	Chercheur	ORSTOM
- M. Christian Streicher	Chercheur	ORSTOM
- M. Mactar Sall	Physicien chercheur	CERER
- M. Madiouma Diawara	Directeur Abattoir Dakar	SERAS
- M. Ibrahima Diabate	Dir. de la Production	SERAS
- M. Mamadou Dianka	Chef de la Division des Energies Nouvelles et Renouvelables	SERAS M D I A
- M. Michel Ricciardi	Dir. de la Production	SOBOA - brasserie
- M. Michel Morel	Dir. Général Adjoint	AFRICAMER - usine de poissons
- Mme. Coumba Sogue Thiam	Responsable du Labo. de Contrôle et de la Quantité	SIPL - SENLAIT
- Prof. Diop	Directeur	Hôpital Le Dantec
- M. Pascal Ethiang Thiang Sambou	Resp. Relais Technologie	ENDA
- M. Nicolas Bricas	Conseil français	ENDA

En dehors de Dakar

- | | | |
|-------------------------|--|--|
| - Dr. Becaye Diallo | Chef d'exploitation
ferme Sangalkam | Projet laitier des
Niayes, Sangalkam |
| - M. Hyppolite Sène | Resp. de l'agriculture
et de l'élevage au
projet de Thiédème | Sociétés Agro-pro-
duction et SOSE
Thiédème |
| - M. Maurice Jolit | Responsable Maraichage | SAFINA-AGROCAP-FILFIL
à Sebikotane |
| - M. Georges Koroé Faye | Directeur du Centre | Centre de Formation
Rurale de Nianing
CARITAS, Nianing |
| - M. Ernest Diop | Comptable-Coördonnateur
Atelier de maintenance | CARITAS, Sandiara |
| - M. Nicola Diouf | Chef de carré | Ndjouk-Fissel |
| - M. Mamadou Sonko | Directeur | ISRA/CNRA, Bambey |
| - M. Philippe Gaumer | Chercheur de biogaz | CNRA, Bambey |
| - M. Made Diouf | Responsable | ENDA, Ziguinchor |
| - M. Théodore Ouedraogo | Technicien biogaz de B.F. ENDA, | Ziguinchor |
| - Mme. Ndeye Diatta | Informatrice de la vul-
garisation de biogaz | ENDA, Ziguinchor |
| - M. Pierre Praira | Infirmier du dispensaire | Communauté à Badiana |

Tableau 2 : La quantité annuelle de déchets en matières sèches par abattoir au Sénégal

Abattoirs	bovins		ovins/caprins		déchets totaux
	nombres	déchets (MS)	nombres	déchets (MS)	
Dakar	53.100	398,3 tonnes	166.712	116,7 tonnes	515 tonnes
Thiès	5.500	41,3 "	7.000	4,9 "	46,2 "
Louga	2.500	18,8 "	4.000	2,8 "	21,6 "
Saint Louis	4.200	31,5 "	6.000	4,2 "	35,7 "
Kaolack	5.500	41,3 "	19.000	13,3 "	54,6 "
Diourbel	2.000	15,0 "	4.500	3,2 "	18,2 "
Tambacounda	4.000	30,0 "	5.500	3,9 "	33,9 "
Ziguinchor	3.000	22,5 "	4.500	3,2 "	25,7 "

MS - matières sèches

750,9 tonnes

Tableau 3 : Programme de Biogaz au Sénégal

Catégorie	I	II	III
Taille du digesteur:	Grande > 50 m ³	Moyenne 15 - 50 m ³	Petite < 15 m ³
Type	Français ou BIMA	Transpaille ou indien	indien, voltaïque enterré
Système	"high-rate" continu	"plug-flow" continu	non agité discontinu
Coûts d'une unité typique	20.000.000 CFA	6.000.000 CFA	2.000.000 CFA
Application	l'abattoir	Ranchs de Doli Unités pastorales	Carrés Communautés rurales
Utilisation du gaz	De l'eau chau- de De l'électri- cité	Motopompe pour puits cuvelés Exhaure	Dans dispensaire et maternité: éclairage, stérilisation, réfri- gérateur
Responsables: homologues nationaux et agences coopéra- tives	ENSUT/ORSTOM MDIA ; MPC dir. SERAS CERER	Chef d'unité pastorale Chef de ranch, ENSUT/ORSTOM CNR ; CERER MPC ; ENDA MDIA	Chef de carré Chef de communauté villageois ENSUT ; ENDA CARITAS ; CERER MPC ; MDIA

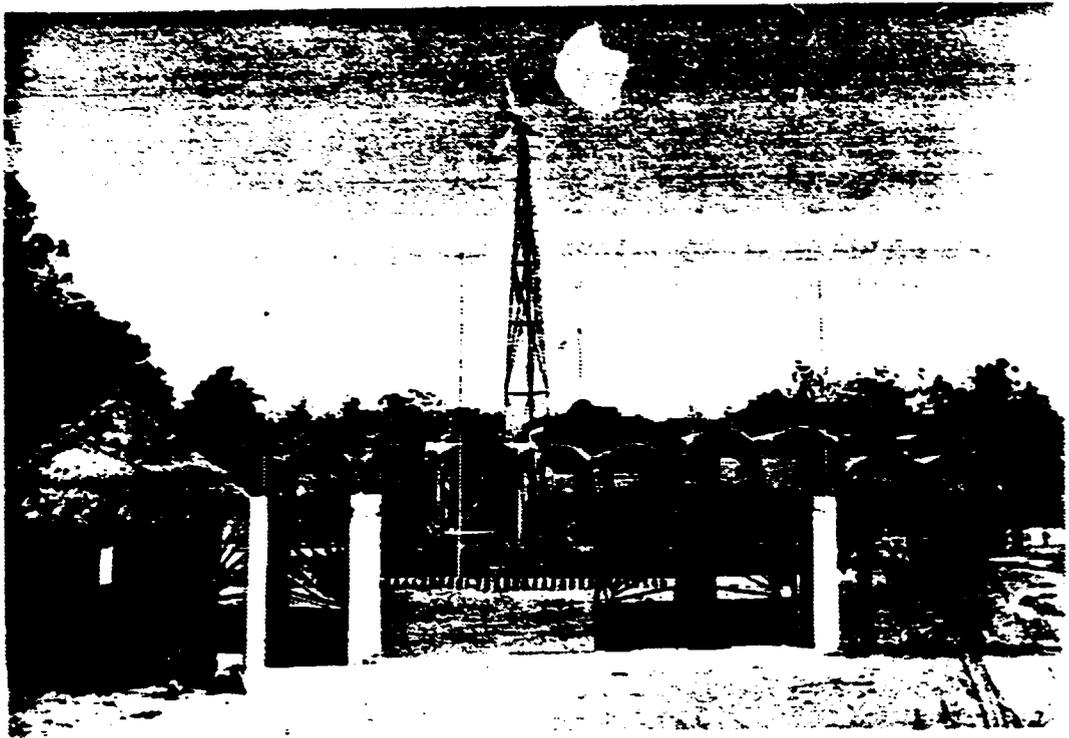


Fig. 1 La façade du Centre de Formation Rurale de Nianing



Fig. 2 Le digesteur du type indien sur le domain du Centre de Formation Rurale de Nianing. Le biogaz est utilisé pour la préparation des repas et pour l'éclairage

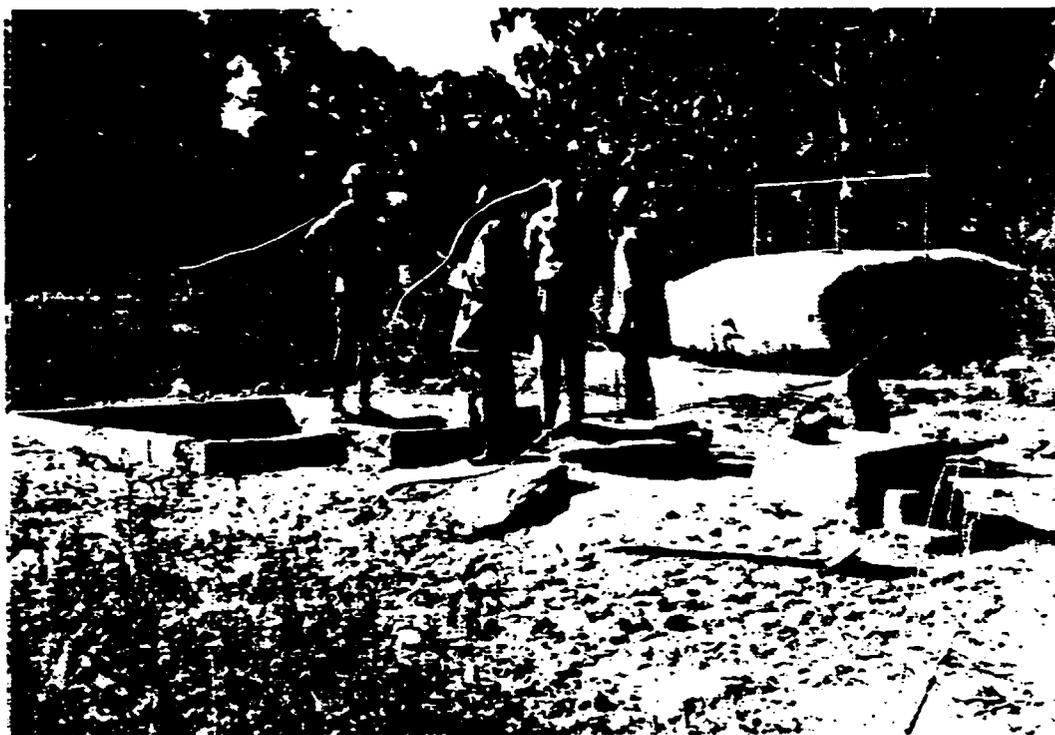


Fig. 3 Un digesteur enterré avec un toit en paille et en béton à Badiate. Le covercle en bois avec un anneau en caoutchouc graissé. Le gazomètre en caoutchouc de 15 m³ séparé.



Fig. 4 Le digesteur horizontal plug-flow de 9 m³ du système "Trans-paille" avec un gazomètre en caoutchouc de 15 m³ sur le terrain du CNRA à Bambeu. 39



Fig. 5 L'*Euphorbia tirucalli* pousse le long de la route. Elle est une mauvaise herbe vénéneuse qui est apte à la production de biogaz.



Fig. 6 La plage de la "Petite Côte" entre Mbodiène et Joal en janvier 1988. L'accumulation d'algues sur l'estran est très restreinte.



Fig. 7 Le digesteur gazomètre en combinaison avec un digesteur à couvercle fixe (type Voltaïque) à Badiana. Le biogaz est utilisé dans le dispensaire.



Fig. 8 Un digesteur selon le système "plug-flow" en voie de construction sur le terrain du Centre de Formation Rurale de Nianing.

LE CARBURANT AU VILLAGE

TRANSPAILLE

BIOGAZ



**l'engrais pour le champ
le premier fermenteur qui produit
tout simplement l'énergie
en continu**

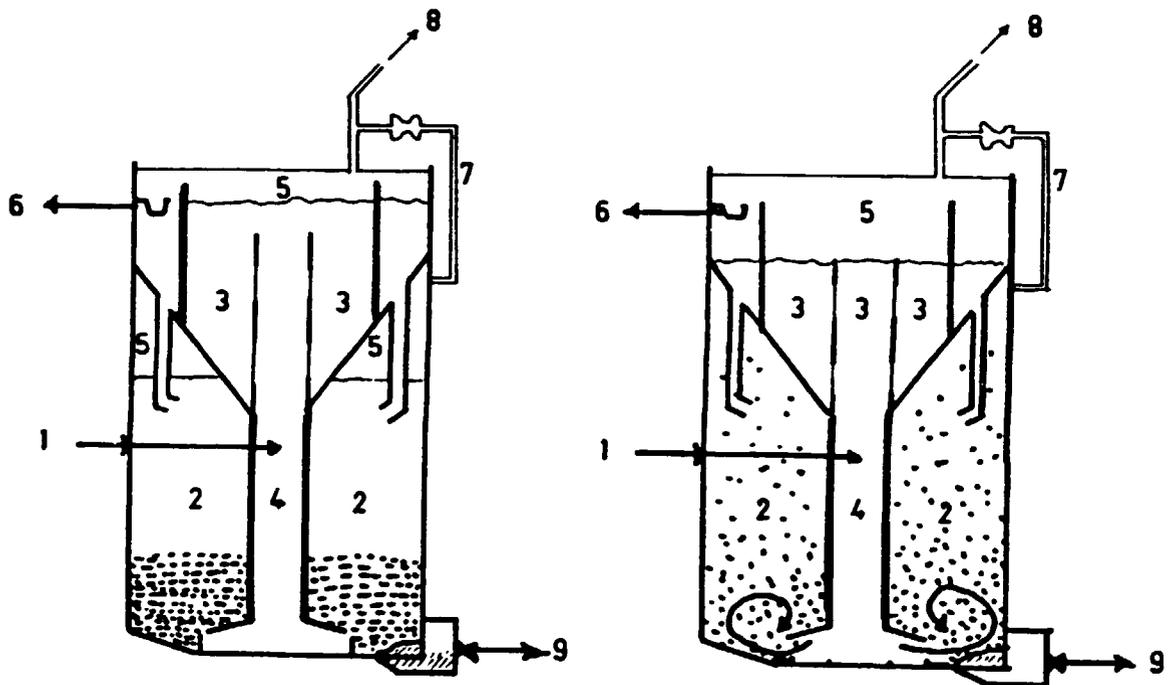


INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES TROPICALES ET DES CULTURES VIVRIÈRES
Division Recherche - Développement
Le Nohou de Saurès - Centre Cial du Bouidou - 34980 ST CLEMENT LA RIVIERE
B.P. 27 - Tél. 485 573 R - T. 401 84 09 56 - F. 41 10 31 - 44 15 01



Fig. 9 - Le titre du dépliant sur le digesteur "plug-flow" de Transpaille

Fig. 10 : BIMA "high-rate" digesteur



avant mélanger

après mélanger

1 Le siphon d'entrée

2 La cuve de fermentation principale

3 La cuve de finition

4 Le tuyau de descente

5 Le biogaz

6 Le tuyau d'écoulement de la lie

7 Le tuyau de réduction de pression

8 La sortie du gaz

9 Le tuyau d'écoulement du sédiment
(sable et gravier)