

ECOLE INTER-ETATS DES SCIENCES ET MEDECINE VETERINAIRES  
(E.I.S.M.V.)

ANNEE 1996

N° 3



**DEVELOPPEMENT DU BIOGAZ  
PAR L'ELEVAGE :  
SITES DELTA DU FLEUVE SENEGAL  
ET HAUTE CASAMANCE**

*THESE*

présentée et soutenue publiquement le 4 mai 1996  
devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dakar  
pour obtenir le grade de DOCTEUR VETERINAIRE  
(DIPLOME D'ETAT)

par

**Mame Faballa NDLAYE**

née le 1er septembre 1967 à Saint-Louis (Sénégal)

*JURY*

- Président du Jury : Monsieur Ibrahima WONE  
Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dakar
- Rapporteur de Thèse : Monsieur Papa El Hassane DIOP  
Professeur à l'EISMV de Dakar
- Membres : Madame Sylvie GASSAMA  
Maître de Conférences Agrégée à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dakar
- Monsieur Louis Joseph PANGUI  
Professeur à l'EISMV de Dakar
- Co-directeurs de Thèse : Monsieur Cheikh LY  
Maître-Assistant à l'EISMV de Dakar
- Monsieur Adama FAYE  
Chercheur à l'ISRA de Dakar

ECOLE INTER-ETATS  
DES SCIENCES ET MEDECINE  
VETERINAIRE DE DAKAR  
BIBLIOTHEQUE

**LISTE DU PERSONNEL  
ANNEE UNIVERSITAIRE 1995-1996  
E.I.S.M.V. DE DAKAR**

**COMITE DE DIRECTION**

1. **DIRECTEUR**  
Professeur François Adébayo ABIOLA
  
2. **DIRECTEUR ADMINISTRATIF ET FINANCIER**  
Monsieur Jean Paul LAPORTE
  
3. **COORDONNATEURS**
  - . Professeur Malang SEYDI  
Coordonnateur des Etudes
  
  - . Professeur Justin Ayayi AKAKPO  
Coordonnateur des Stages et Formations Post-Universitaires
  
  - . Professeur Germain Jérôme SAWADOGO  
Coordonnateur Recherche-Développement

**I - PERSONNEL ENSEIGNANT EISMV**

**A. DEPARTEMENT SCIENCES BIOLOGIQUES ET PRODUCTIONS ANIMALES**

**CHEF DU DEPARTEMENT**  
Professeur agrégé ASSANE Moussa

**SERVICES**

**1. ANATOMIE-HISTOLOGIE-EMBRYOLOGIE**

Kondi Mamadou	AGBA CISSE	Professeur agrégé Moniteur
------------------	---------------	-------------------------------

**2. CHIRURGIE-REPRODUCTION**

Papa El Hassane Mame Balla Ali	DIOP SOW KADANGA	Professeur Moniteur Moniteur
--------------------------------------	------------------------	------------------------------------

### 3. ECONOMIE RURALE ET GESTION

Cheikh	LY	Maitre-Assistant
Hélène	FOUCHER (Mme)	Assistante
Marta	RALALANJANAHARY (Mlle)	Monitrice

### 4. PHYSIOLOGIE-PHARMACODYNAMIE-THERAPEUTIQUE

Moussa	ASSANE	Professeur
Christian	NGUE-ASSOUMOU	Moniteur
Mouhamadou	CHAIBOU	Moniteur

### 5. PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MEDICALES

Germain Jérôme	SAWADOGO	Professeur
Soulèye Issa	NDIAYE	Moniteur
Jean	NEPOMUSCENE	Docteur Vétérinaire Vacataire

### 6. ZOOTECHNIE-ALIMENTATION

Gbeukoh Pafou	GONGNET	Maitre-Assistant
Ayao	MISSOHOU	Maitre-Assistant
Roland	ZIEBE	Moniteur

## *B. DEPARTEMENT SANTE PUBLIQUE ET ENVIRONNEMENT*

### CHEF DE DEPARTEMENT

Louis Joseph PANGUI

### SERVICES

#### 1. HYGIENE ET INDUSTRIE DES DENREES ALIMENTAIRES D'ORIGINE ANIMALE (HIDAOA)

Malang	SEYDI	Professeur
Mouhamadou Habib	TOURE	Moniteur
Mamadou	DIAGNE	Docteur Vétérinaire Vacataire

#### 2. MICROBIOLOGIE-IMMUNOLOGIE PATHOLOGIE INFECTIEUSE

Justin Ayayi	AKAKPO	Professeur
Rianatou	ALAMBEDI (Mme)	Maitre-Assistante
Kokouvi	SOEDJI	Moniteur

### 3. PARASITOLOGIE-MALADIES PARASITAIRES-ZOOLOGIE APPLIQUEE

Louis Joseph Morgan Alexandre	PANGUI BIGNOUMBA GITEGO	Professeur Moniteur Docteur Vétérinaire Vacataire
-------------------------------------	-------------------------------	---

### 4. PATHOLOGIE MEDICALE-ANATOMIE PATHOLOGIQUE- CLINIQUE AMBULANTE

Yalacé Yamba Pierre Balabawi Hamman Félix Cyprien	KABORET DECONINCK SEIBOU ATKAM BIAOU	Maitre-Assistant Assistant Moniteur Moniteur Docteur Vétérinaire Vacataire
---	--	--

### 5. PHARMACIE-TOXICOLOGIE

François A. Papa	ABIOLA SECK	Professeur Moniteur
---------------------	----------------	------------------------

## II - PERSONNEL VACATAIRE

#### - BIOPHYSIQUE

Sylvie	GASSAMA (Mme)	Maitre de Conférences Agrégé Faculté de Médecine et de Pharmacie Université Cheikh Anta Diop DAKAR
--------	---------------	--

#### - BOTANIQUE

Antoine	NONGONIERMA	Professeur IFAN - Institut Cheikh Anta Université Cheikh Anta Diop
---------	-------------	--

#### - AGRO-PEDOLOGIE

Alioune	DIAGNE	Docteur Ingénieur Département "Sciences des Sols" Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (ENSA) THIES
---------	--------	--

### **III - PERSONNEL EN MISSION**

#### **- PARASITOLOGIE**

Ph.	DORCHIES	Professeur ENV TOULOUSE FRANCE
M.	KILANI	Professeur ENMV SIDI-THABET TUNISIE

#### **- ANATOMIE PATHOLOGIQUE GENERALE**

G.	VANHAVERBEKE	Professeur ENV TOULOUSE FRANCE
----	--------------	--------------------------------------

#### **- PATHOLOGIE DES EQUIDES ET CARNIVORES**

A.	CHABCHOUB	Professeur ENMV SIDI THABET TUNISIE
----	-----------	---

#### **- ZOOTECHNIE-ALIMENTATION**

A.	BEN YOUNESS	Professeur ENMV SIDI THABET TUNISIE
----	-------------	---

#### **- DENREOLOGIE**

J.	ROZIER	Professeur ENV ALFORT FRANCE
A.	ETTRIQUI	Professeur ENMV SIDI THABET TUNISIE

#### **- PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MEDICALES**

P.	BENARD	Professeur ENV TOULOUSE FRANCE
----	--------	--------------------------------------

**- PATHOLOGIE INFECTIEUSE**

J. CHANTAL

Professeur  
ENV TOULOUSE  
FRANCE

**- PHARMACIE-TOXICOLOGIE**

L. EL BAHRI

Professeur  
ENMV SIDI THABET  
TUNISIE

**- CHIRURGIE**

A. CAZIEUX

Professeur  
ENV TOULOUSE  
FRANCE

**- OBSTETRIQUE**

A. MAZOUZ

Maitre de Conférences  
IAV Hassan II RABAT  
MAROC

**IV - PERSONNEL ENSEIGNANT CPEV**

**1. MATHEMATIQUES**

Sada Sory THIAM

Maitre- Assisant  
Faculté des Sciences et  
Techniques  
UCAD

**STATISTIQUES**

Ayao MISSOHOU

Maitre-Assistant  
EISMV

**2. PHYSIQUE**

Issakha YOUM

Maitre de Conférences  
Faculté des Sciences et  
Techniques  
UCAD

## **CHIMIE ORGANIQUE**

Abdoulaye	SAMB	Professeur Faculté des Sciences et Techniques UCAD
-----------	------	---

## **CHIMIE PHYSIQUE**

Serigne Amadou	NDIAYE	Maitre de Conférences Faculté des Sciences et Techniques UCAD
----------------	--------	--

Alphonse	TINE	Maitre de Conférences Faculté des Sciences et Techniques UCAD
----------	------	--

## **CHIMIE**

Abdoulaye	DIOP	Maitre de Conférences Faculté des Sciences et Techniques UCAD
-----------	------	--

## **3. BIOLOGIE**

### **PHYSIOLOGIE VEGETALE**

Papa Ibra	SAMB	Chargé d'Enseignement Faculté des Sciences et Techniques UCAD
-----------	------	--

Kandioura	NOBA	Maitre-Assistant Faculté des Sciences et Techniques UCAD
-----------	------	---

## **4. BIOLOGIE CELLULAIRE**

### **REPRODUCTION ET GENETIQUE**

Omar	THIAW	Maitre-Assistant Faculté des Sciences et Techniques UCAD
------	-------	---

## 5. EMBRYOLOGIE ET ZOOLOGIE

Bhen Sikina	TOGUEBAYE	Professeur Faculté des Sciences et Techniques UCAD
-------------	-----------	---

## 6. PHYSIOLOGIE ET ANATOMIE COMPAREES DES VERTÉBRES

Cheikh Tidiane BA		Chargé d'enseignement Faculté des Sciences et Technique UCAD
-------------------	--	---

## 7. BIOLOGIE ANIMALE

D.	PANDARE	Maitre-Assistant Faculté des Sciences et Technique UCAD
----	---------	--

Ahsa NDIAYE GUEYE (Mme)		Maitre-Assistante Faculté des Sciences et Technique UCAD
-------------------------	--	---

## 8. ANATOMIE ET EXTERIEUR DES ANIMAUX DOMESTIQUES

Charles Kondi	AGBA	Maitre de Conférences EISMV DAKAR
---------------	------	---

## 9. GEOLOGIE

A.	FAYE	Faculté des Sciences UCAD
----	------	------------------------------

R.	SARR	Chargé d'Enseignement Faculté des Sciences UCAD
----	------	---

## 10. TRAVAUX PRATIQUES

Maguette	MBOW (Mlle)	Monitrice
----------	-------------	-----------

*Je rends grâce à Allah  
le Tout Puissant et  
à son Prophète Mohamed  
(P.S.L.)  
et dédie ce travail...*

**- A MON BEAU-PERE, IN MEMORIUM**

Nous avons fait ce long chemin ensemble. dommage que vous ne soyez plus là au moment où tout se termine.

Je garderai en vous le souvenir d'un père modèle dont la franchise et la dignité n'ont point d'égale. Je garderai en vous, aussi, l'image du vétérinaire émérite toujours guidé par le souci de servir son pays.

Merci pour tout le soutien moral et matériel que vous n'avez jamais cessé de m'apporter. Ce travail est un hommage mérité à votre mémoire.

**- A MES GRANDS-PARENTS, IN MEMORIUM**

Le sens du devoir, l'humilité et la droiture sont autant de vertus que vous avez toujours enseignées à vos petits enfants. Puisse ce travail vous honorer.

**- A MON PERE ET MA MERE** : bons éducateurs et affectueux. Le mot **merci** serait trop peu pour vous exprimer ma profonde reconnaissance. Puisse ce travail récompenser tous vos efforts.

**- A MA PETITE SOEUR FATOU**

Encore un petit effort, c'est presque la fin.

**- A MON PETIT FRERE SERIGNE**

Que ce travail t'incite à mieux faire.

**- A MES SOEURS MAME FAMA, AMINATA ET NDEYE FATOU**

Ce travail est le vôtre.

**- PARTICULIEREMENT A DIDI ET BABACAR**

**- A TOUS MES TANTES ET ONCLES**

Amour et gratitude.

**- AUX EPoux GUEYE, SARR, MBENQUE, BOYE ET DIALLO**

**- A TOUS MES COUSINS, COUSINES, NEVEUX ET NIECES**

**- A LA « DELEGATION 7H »** en souvenir de notre tendre enfance

**- AUX FAMILLES THIONGANE, NDIAYE PIERRE, DLAWARA, SY, NDAO, MBENGUE, SARR, DIOP LISSA, DIOP CHARLES ET GAYE**

**- A MONSIEUR ET MADAME SARR** : profonde gratitude

**- A MONSIEUR ET MADAME CISSE** : merci pour votre sympathie

**- A MONSIEUR ET MADAME SOW** : amour et gratitude

**- A TOUTES MES AMIES : FATOUMATA BA, ADELE KAM, MARIAMA BA, FATOU DIEN FAYE, KEWE NDIAYE, FATOU BINTOU, AWA AIDARA, KESSO, NABOU NDIAYE, MIMI, AMI FAYE ET BETY :** trouvez ici la preuve de ma sincère amitié.

**- A MES AMIS YERIM, MANSOUR ET TOURE :** amitié, fraternité.

**- AUX DOCTEURS DIEYE ET SECK DU CRZ DE KOLDA AINSI QU' AUX FAMILLES FAYE, DIALLO, KOITA, DIA, COULIBLALY, NIANG :** merci pour l'accueil chaleureux et le soutien que vous m'aviez apportés durant mon passage à Kolda.

**- A TOUS MES CAMARADES DE LA PROMOTION « SALAMATA KANE » :** courage et détermination pour le futur.

**A TOUS MES CADETS ETUDIANTS DE L'EISMV :** courage et abnégation. Seul le travail paie.

**- AUX HABITANTS DES VILLAGES DE KASSAK NORD, MBANE, NDOMBO ET DIALAMBERE :** trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude et de mon déférent attachement.

**- A MES ANCIENNES CAMARADES DU LYCEE DES JEUNES FILLES AMETH FALL DE SAINT-LOUIS :** ce travail est le vôtre.

**- AU SENEGAL, MA PATRIE ET A TOUTE LA JEUNESSE AFRICAINE.**

## **REMERCIEMENTS**

Nos sincères remerciements vont à :

- Docteur A. NIANE BADIANE à l'ISRA
- M. O. S. SOW à la SAED de Ross Bethio
- Madame H. FOUCHET
- Madame TALL
- Madame DIOUF
- M. BALDE à la DAST
- Docteur A. I. THIONGANE

et à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réalisation de ce travail.

## A NOS MAÎTRES ET JUGES

**Monsieur, Ibrahima WONE, Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dakar**

Malgré vos multiples occupations, vous nous avez fait honneur en acceptant de présider notre jury de thèse.

Homage respectueux.

**Monsieur Papa El Hassane DIOP, Professeur à l'EISMV de Dakar**

Votre rigueur et votre amour du travail bien fait nous ont toujours marqués.

Toute notre admiration.

**Madame Sylvie GASSAMA, Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Dakar**

C'est avec plaisir et enthousiasme que vous avez accepté de faire partie de notre jury de thèse.

Sincère reconnaissance.

**Monsieur Louis Joseph PANGUI, Professeur à l'EISMV de Dakar**

Votre simplicité et votre humanisme nous ont toujours impressionnés.

Toute notre admiration.

**Monsieur Cheikh LY, Maître-Assistant à l'EISMV de Dakar**

La spontanéité avec laquelle vous avez accepté de diriger ce travail et l'attention toute particulière avec laquelle vous l'avez suivi dans toute sa réalisation nous ont positivement marquée.

Toute notre gratitude.

**Monsieur Adama FAYE, CRZ de Kolda**

Malgré vos multiples occupations, vous avez suivi ce travail avec toute la rigueur scientifique que nous vous connaissons.

Sincères remerciements.

«Par délibération, la Faculté et l'Ecole ont décidé que les opinions émises dans les dissertations qui leur seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elles n'entendent leur donner aucune approbation ni improbation.»

# TABLE DES MATIERES

## PAGES

LISTE DES CARTES	
LISTE DES PHOTOS	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE : TECHNIQUE DU BIOGAZ.....	4
CHAPITRE 1 : DEFINITION, PRINCIPE ET PRODUITS DE LA METHANISATION.....	5
1. Définitions.....	5
2. Principe.....	6
3. Produits de la méthanisation.....	8
3.1. Le biogaz : valeur énergétique et utilisations.....	8
3.1.1. Valeur énergétique du biogaz.....	8
3.1.2. Utilisations du biogaz.....	9
3.1.2.1. Utilisations domestiques.....	9
3.1.2.2. Utilisations agricoles et agro-industrielles.....	10
3.2. Le compost : utilisations.....	11
4. Intérêts actuels.....	12
5. Paramètres de la méthanisation.....	13
5.1. Paramètres liés au substrat.....	14
5.1.1. Taux de matière sèche du substrat.....	14
5.1.2. Biodégradabilité du substrat.....	14
5.1.3. Composition du substrat.....	15
5.1.4. pH du milieu de fermentation.....	17
5.2. Paramètres liés à la technique.....	18
5.2.1. Température du liquide de fermentation.....	18
5.2.2. Anaérobiose des digesteurs.....	19
5.2.3. Quantité d'eau.....	19
CHAPITRE 2 : TYPOLOGIE DES DIGESTEURS ET PRATIQUE DE GESTION DES INSTALLATIONS.....	21
1. Typologie des digesteurs.....	21
1.1. Exemples de systèmes de biogaz.....	22
1.1.1. Systèmes continus.....	22
1.1.2. Systèmes discontinus.....	24
1.1.3. Systèmes semi-continus.....	25
2. Choix du type de fermenteur.....	26
3. Choix du site.....	27
4. Pratique de gestion des installations.....	27
CHAPITRE 3 : EXPERIENCE DU BIOGAZ DANS LE MONDE ET AU SENEGAL.....	29
1. Structures organisationnelles autour du biogaz en Chine.....	29
2. Expérience du biogaz en Inde.....	31
3. Utilisations du biogaz dans les pays développés.....	32
3.1. Utilisation du biogaz en Israël.....	32
3.2. Le biogaz au Etats-Unis d'Amérique.....	33
4. Le biogaz en Afrique.....	33
5. Expérience du biogaz au Sénégal.....	34
5.1. Systèmes utilisés.....	34
5.2. Utilisations du biogaz.....	36
5.3. Etat technique.....	36
DEUXIEME PARTIE : DISPONIBILITES ET ENJEUX DU BIOGAZ : DEUX ETUDES DE CAS.....	37
- DELTA DU FLEUVE SENEGAL.....	37
- HAUTE CASAMANCE.....	37
CHAPITRE 1 : METHODOLOGIE.....	38
1. Zones d'étude.....	38
1.1. Le delta du fleuve Sénégal.....	38
1.1.1. Milieu physique.....	40
1.1.2. Milieu humain.....	40
1.1.3. Exploitations des terres.....	40
1.1.4. Cadre socio-économique et projet de biogaz.....	41
1.1.5. Description de l'unité SANIGAZ.....	42
1.2. La Haute Casamance.....	46
1.2.1. Milieu physique.....	46

1.2.2. Milieu humain.....	48
1.2.3. Cadre socio-économique et projet de biogaz.....	48
1.2.4. Unité de biogaz de Dialambère.....	49
2. Collecte de l'information et analyse.....	54
2.1. Enquêtes au niveau des ménages.....	54
2.1.1. Outils et déroulement des enquêtes.....	54
2.1.1.1. Le questionnaire sur les ménages.....	54
2.1.1.2. Déroulement des enquêtes.....	54
2.2. Entretiens au niveau des villages.....	55
2.3. Mesures.....	55
2.4. Analyse des données.....	56
2.5. Limites.....	57
<b>CHAPITRE 2 : PRESENTATION DES RESULTATS ET DISCUSSIONS.....</b>	<b>58</b>
1. Activités agricoles.....	58
1.1. Cultures.....	58
1.2. Elevage.....	60
1.3. Résidus agricoles.....	61
1.3.1. Disponibilités et utilisations.....	61
1.3.2. Potentialités pour le biogaz.....	63
2. Sources d'énergie.....	64
2.1. Energie pour la cuisson.....	65
2.2. Energie pour l'éclairage.....	65
2.3. Modalités de l'approvisionnement et coût.....	65
2.4. Estimation des besoins en bois et en biogaz.....	66
2.4.1. Besoins pour la cuisson.....	66
2.4.2. Besoins pour l'éclairage.....	68
2.5. Mesures de la production de biogaz.....	70
3. Situation des installations de biogaz visitées.....	72
3.1. Etat technique.....	72
3.2. Niveau d'acceptabilité de la filière.....	73
3.3. Niveau de participation des femmes dans la gestion des installations.....	73
3.4. Niveau d'intégration du biogaz dans l'exploitation agricole.....	75
4. Valeur économique du biogaz et du compost.....	76
4.1. Coûts du mètre cube de biogaz.....	76
4.1.1. Coûts théoriques et réels du mètre cube de biogaz.....	76
4.1.1.1. Cas de l'unité SANIGAZ.....	76
4.1.1.2. Cas du Saria 25 m <sup>3</sup> .....	76
4.2. Comparaison économique de différentes modalités d'approvisionnement en énergie.....	78
4.3. Le compost issu des digesteurs.....	81
4.3.1. Composition chimique du compost.....	81
4.3.2. Plus-value tirée du compost.....	83
5. Contraintes à la diffusion du biogaz.....	84
<b>CHAPITRE 3 : RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>87</b>
1. Recommandations aux structures de recherche et de vulgarisation du biogaz.....	87
1.1. Rôle de l'étable dans le développement du biogaz.....	90
1.2. Impact du biogaz dans l'élevage.....	90
2. Recommandations aux pouvoirs publics.....	91
3. Recommandations aux structures d'encadrement et ONG.....	92
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>93</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>96</b>
<b>ANNEXES.....</b>	

## **LISTE DES ANNEXES**

- Annexe 1 : Pièges à eau
- Annexe 2 : Equipement d'épuration
- Annexe 3 : Monomètre
- Annexe 4 : Avantages et inconvénients de différents types de fermenteurs
- Annexe 5 : Diffusion du biogaz en Afrique
- Annexe 6 : Unités de biogaz recensées au Sénégal
- Annexe 7 : Moyenne, par espèce, d'animaux élevés par les femmes dans le carré
- Annexe 8 : Questionnaire d'enquête exploitation
- Annexe 9 : Guide d'entretien - village

## **LISTE DES CARTES**

- Carte 1 : Répartition du biogaz au Sénégal
- Carte 2 : Le delta du fleuve Sénégal
- Carte 3 : Région de Kolda (Haute et Moyenne Casamance)

## **LISTE DES PHOTOS**

- Photo 1 : Unité SANIGAZ : vue d'ensemble
- Photo 2 : Alimentation en fumier pailleux
- Photo 3 : Gazomètre souple sous abri
- Photo 4 : Foyer amélioré à biogaz
- Photo 5 : Evacuation des effluents
- Photo 6 : Etable fumière couplée aux digesteurs
- Photo 7 : Cuves de fermentation
- Photo 8 : Gazomètre sous abri
- Photo 9 : Groupe électrogène
- Photo 10 : Epanchage de compost sur un jardin
- Photo 11 : Eclairage

## **LISTE DES TABLEAUX**

- Tableau 1 : Temps d'élimination par la méthanisation de quelques oeufs de parasites de bactéries
- Tableau 2 : Taux de méthane produit en fonction du rapport C/N du substrat
- Tableau 3 : Concentrations admises de quelques éléments minéraux dans le substrat
- Tableau 4 : Estimation du coût du m<sup>3</sup> de différents types de fermenteurs
- Tableau 5 : Effectif du cheptel dans le département de Kolda
- Tableau 6 : Prévalence de la riziculture chez les enquêtées
- Tableau 7 : Part des autres cultures vivrières dans les activités des femmes
- Tableau 8 : Part du maraîchage dans les activités des femmes

- Tableau 9 : Production de bouse de vache : site étable de Dialambéré
- Tableau 10 : Besoin en bois et en biogaz en fonction de la taille des familles
- Tableau 11 : Estimation des besoins en pétrole chez sept familles
- Tableau 12 : Production obtenue de biogaz : site unité de Dialambéré
- Tableau 13 : Utilité de la filière : estimation en % des réponses
- Tableau 14 : Récapitulation des coûts théoriques et réels du m<sup>3</sup> de biogaz
- Tableau 15 : Estimation du coût de la préparation des repas avec le bois de feu
- Tableau 16 : Estimation du coût de la préparation des repas avec le charbon de bois
- Tableau 17 : Estimation du coût de la préparation des repas avec le biogaz
- Tableau 18 : Résultats de l'analyse chimique du substrat utilisé et du compost obtenu. Site unité de Dialambéré
- Tableau 19 : Résultats de l'analyse chimique de fumier d'étable et de compost : site unité expérimentale du CNRA - Bambey

## LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Processus de dégradation de la matière organique en fermentation anaérobie
- Figure 2 : Production de biogaz par kg de matière sèche de substrat
- Figure 3 : Evolution du pH et de la température au cours de la méthanisation
- Figure 4 : Gazomètre à cloche
- Figure 5 : Modèle Transpaille (Tp)
- Figure 6 : Type SARIA/CIEH ou « puits »
- Figure 7 : Modèles chinois et indien
- Figure 8 : Unité de biogaz des villages du delta du fleuve Sénégal
- Figure 9 : Unité de biogaz de Dialambéré en Haute Casamance
- Figure 10 : Prévalence des femmes éleveurs dans l'échantillon
- Figure 11 : Taux de femmes qui utilisent les résidus de culture
- Figure 12 : Taux de femmes qui utilisent le fumier produit au niveau du carré
- Figure 13 : Evolution de la consommation de bois et de biogaz en fonction de la taille des familles
- Figure 14 : Evolution de la consommation de pétrole en fonction de la taille des familles
- Figure 15 : Evolution de la production de biogaz sur l'unité de Dialambéré
- Figure 16 : Participation des femmes à la gestion de l'installation de biogaz : Estimation en % des réponses
- Figure 17 : Système d'exploitation agricole intégré : Etable fumière - unité de biogaz compost

# INTRODUCTION

En ce vingtième siècle finissant, la situation énergétique des pays sahéliens est particulièrement préoccupante. La consommation pétrolière est en rapide expansion et représente, selon une étude du Ministère des Mines et de l'Industrie (1994), par ses incidences financières un handicap très lourd dans la mise en oeuvre des programmes de développement. En 1980, la facture pétrolière du Sénégal s'élevait déjà à 23,5 milliards de francs CFA. Avec la dévaluation du franc CFA et la croissance démographique qui approche 2,8 %, cette facture pourrait contribuer davantage au déséquilibre de la balance des paiements du Sénégal.

La consommation en énergie fossile avait atteint 180 000 Tonnes Equivalent Charbon (TEC) en 1977 (CILSS-Club du Sahel, 1978).

Dans ces conditions, une gestion efficace des produits pétroliers s'impose et la priorité devrait être davantage accordée aux ressources énergétiques locales. Il s'agit de gérer plus rationnellement ces ressources afin d'en tirer le meilleur profit tout en préservant l'environnement.

Aujourd'hui, un choix est porté sur les bioconversions qui permettent une plus grande valorisation de la biomasse disponible dans la plupart des pays sahéliens. Parmi les bioprocessus exploitables, figurent les procédés de méthanisation des déjections animales et de divers résidus de récolte qui conduisent, d'une part, à la production de gaz méthane appelé biogaz et, d'autre part, à la production d'un engrais organique appelé compost.

En effet, la filière biogaz/compost, loin d'être une solution miracle aux problèmes énergétiques des pays en voie de développement, n'en est pas moins un appoint. Il s'agit d'une technologie qui peut aider les populations rurales à satisfaire leurs besoins en énergies domestiques et agricoles et en engrais organiques pour les cultures. Elle revêt, en outre, un cachet social inestimable car le biogaz, grâce à ses multiples utilisations, contribue à améliorer les conditions de vie de la femme rurale (SOKONA, 1992).

En 1976, la fermentation méthanique représentait une production de 63 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP) dont 93 % dans les pays en voie de développement, notamment en Asie (ENDA-GRET, 1981). En Afrique,

l'adoption du biogaz aurait plus de succès dans les communautés où l'élevage est intégré à l'unité de biogaz à l'échelle de l'exploitation familiale.

Dans cette perspective, le développement des étables fumières apparaît comme une alternative crédible, car ces étables permettent, grâce à la stabulation d'une partie du troupeau, avec tous les avantages qu'elle présente (LY, 1993), de valoriser, en plus, le fumier ainsi produit.

La disponibilité en résidus agricoles et l'intégration élevage-filière biogaz/compost constituent deux paramètres essentiels pour le développement d'une activité de recyclage de la matière organique compatible avec les impératifs énergétiques du moment.

La fermentation méthanique des déjections des animaux d'élevage est très utilisée en Europe, notamment au niveau des élevages de grande envergure (AUBART, 1982). Les travaux d'ISMAN et DUCELLIER en 1940 sur la méthanisation ont conduit à de nombreuses réalisations en France et en Afrique du nord entre 1940 et 1945, époque où les ressources énergétiques étaient assez rares (MARCHAIM, 1994).

Aujourd'hui, la diffusion et l'exploitation de la filière biogaz/compost et de toutes les autres énergies renouvelables, qu'elles soient éoliennes, solaires ou par biomasse, posent peu de problèmes scientifiques et techniques car les connaissances, à défaut d'être largement diffusées, sont acquises.

Toutefois, ces technologies, présentées depuis longtemps comme particulièrement adaptées aux conditions énergétiques des pays en développement, sont restées insignifiantes dans les bilans énergétiques réels des pays sahéliens (SEMA, 1980 ; SOW, 1990). Tout en contournant les contraintes purement techniques, un programme biogaz doit également se justifier sur le plan socio-économique. Cette thèse est destinée à contribuer aux recherches sur les problèmes liés à la diffusion à grande échelle de la filière biogaz/compost en milieu rural et en l'occurrence au Sénégal et à aider à leur résolution.

Les hypothèses qui soutendent l'intérêt de cette étude sont la disponibilité, au niveau du delta et de la Haute Casamance, de résidus pailleux et le développement d'ateliers d'élevage semi-intensif d'une part, et, d'autre part, le besoin considérable de restitution de la matière organique au sol et les nombreuses possibilités de valorisation par le cheptel et pour la production de compost facilement dégradable.

Ce travail est présenté en deux parties :

- la première partie est une synthèse bibliographique sur les aspects de la filière. Elle est scindée en trois chapitres ;

- la méthodologie de recherche adoptée, la présentation des résultats et discussions ainsi que les recommandations sont exposées dans la deuxième partie.



*Première Partie*

**SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE :  
TECHNIQUE DU BIOGAZ**

# CHAPITRE I

## DEFINITION, PRINCIPE ET PRODUITS DE LA METHANISATION

### 1. DEFINITIONS

Le biogaz est un gaz inflammable produit par des microbes au cours de la fermentation de matières organiques sous certaines conditions de température et à l'abri de l'air dans un réacteur appelé fermenteur ou digesteur.

Cette fermentation génère deux produits :

- le premier produit est le biogaz ou biométhane ou « *gobar gaz* » ou encore gaz des marais. Il est constitué en moyenne de 60 % de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) ;

- le second produit est le compost obtenu après maturation des effluents de la digestion (ENDA, 1978 ; NIANE et RUIZ, 1993).

#### Le compost

La filière de méthanisation par transformation de la matière organique en milieu anaérobie est une filière à part, bien qu'elle soit souvent confondue avec le compostage proprement dit. En effet, le compostage tel qu'il est réalisé par les agriculteurs, correspond plutôt à la fermentation de déchets et résidus agricoles :

feuilles, tiges, pailles en présence d'air. Par contre, dans une unité de biogaz, le compostage correspond à la maturation des effluents issus de cuves de fermentation méthanique. Ces effluents sont étalés dans une fosse appelée compostière afin de permettre d'une part, l'évacuation des gaz toxiques emmagasinés qui sont l'ammoniac et l'hydrogène sulfuré (FARINET, 1989) et, d'autre part, de favoriser leur humification..

Au cours de la méthanisation, l'humification de la matière organique n'est pas significative, elle ne peut être une transformation réalisable que si l'effluent est remis en condition aérobie (MUSTIN, 1987). Cette maturation qui doit durer deux mois en moyenne selon NIANE (1993) permet d'obtenir le compost qui est un produit stable, riche en éléments nutritifs et qui améliore la fertilité des sols.

#### Le substrat

Le substrat est assimilé à tout produit susceptible d'être digéré dans un fermenteur. Ce produit peut être constitué de déchets animaux : lisiers, litière,

contenu de paille ; de déchets végétaux : paille, feuille, brindilles ; d'eaux résiduaires ; d'algues ; d'ordures ménagères, etc.

Le terme de substrat est ainsi pris dans son sens le plus large et non dans le sens plus restreint qui lui est donné en enzymologie ou en bactériologie.

## **2. PRINCIPE**

La méthanisation est basée sur le principe selon lequel tout substrat organique est capable de subir un certain nombre de transformations complexes appelées fermentation (AUBART, 1982). La fermentation conduite à l'abri d'air aboutit à la formation de gaz méthane (CH<sub>4</sub>) et d'autres gaz en proportion moindre comme le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), l'ammoniac (NH<sub>3</sub>), l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S). L'ensemble de ces gaz compose le biogaz.

La fermentation anaérobie s'opère en trois étapes principales qui sont l'hydrolyse, l'acidogénèse et la méthanogénèse (ENDA, 1978 ; AUBART, 1982).

La première étape correspond à la dégradation de la matière organique complexe en molécules plus simples et assimilables par les bactéries. En effet, au cours de cette étape, les protéines, les glucides et les lipides contenus dans le substrat sont réduits en molécules plus simples de peptides, de glycérols, d'acides, de mono, di et polysaccharides. Les bactéries qui en sont responsables sont appelées des liquéfiantes fermentatives (AUBART, 1982) et sont constituées essentiellement du genre *Clostridium* (MARCHAIM, 1994).

La deuxième phase dite acidogène conduit à la formation d'acides gras volatils, d'alcool, de dioxyde de carbone, d'hydrogène et d'eau. Elle est l'oeuvre de bactéries acidogènes cellulolytiques. En fait, la cellulose constitue la nourriture principale des bactéries engagées dans la fermentation méthanique. Il est ainsi nécessaire d'utiliser, en plus des déjections animales, de la paille, dans les cuves de fermentation. Les genres *Bacterium*, *Bacillus*, *Cellulomonas* et *Pseudomonas* sont les plus rencontrés dans cette seconde étape (MARCHAIM, 1994).

La troisième et dernière phase qui est non moins importante est la méthanogénèse proprement dite. Au cours de cette étape, les acides gras volatils: propionate, butyrate, valérate, sont réduits en acétates et en hydrogènes qui sont transformés à leur tour en méthane (CH<sub>4</sub>) et en gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) [par exemple (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub> + nH<sub>2</sub>O → 3nCH<sub>4</sub> + 3nCO<sub>2</sub> + K calories].

Les micro-organismes responsables appartiennent aux genres Méthanobactérium, Méthanobacillus et Méthanosarcina. Ces genres peuvent être présents dans le rumen des bovins et dans le sol (MARCHAIM, 1994). Le processus de la méthanisation est présenté à la figure 1.

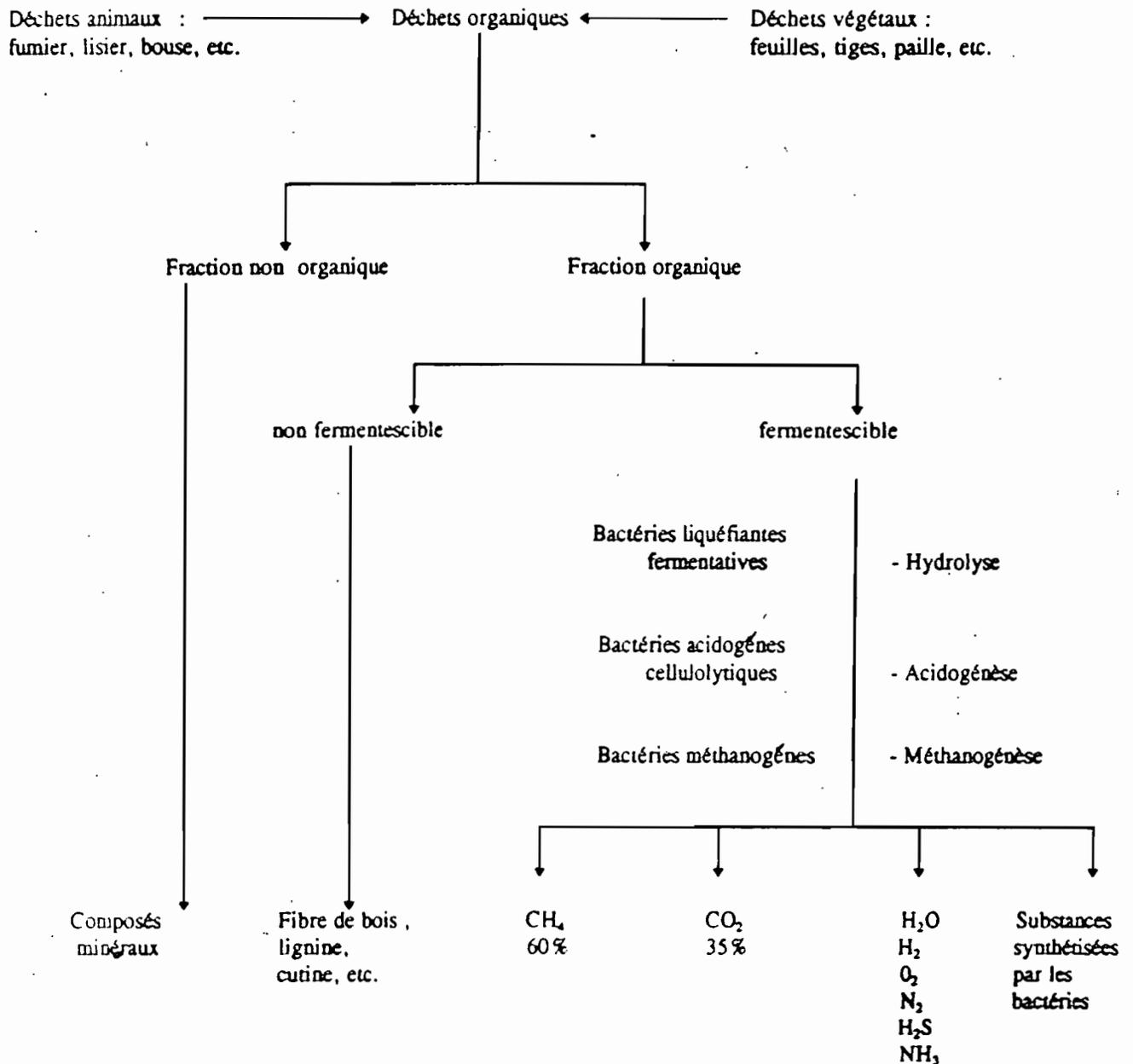


Figure 1 : Processus de dégradation de la matière organique en fermentation anaérobie

Source : ENDA, 1978 d'après LIDON, MORANT et NACRO

En somme, la fermentation méthanique est une transformation qui s'effectue le long d'une chaîne de dégradation successive grâce à l'action de différentes espèces de bactéries qui sont en équilibre (SASSON, 1985 ; MARCHAIM, 1994). Si l'équilibre est rompu, il y a une accumulation d'acides et une inhibition de la formation de gaz méthane. Si l'équilibre est maintenu, le processus aboutit à la formation de biogaz et de compost de qualité qui sont les principaux produits de la méthanisation.

### **3. PRODUITS DE LA METHANISATION**

#### **3.1. Le biogaz : valeur énergétique et utilisations**

##### **3.1.1. Valeur énergétique du biogaz**

De tous les constituants du biogaz, le méthane ( $\text{CH}_4$ ) est le plus important et sa teneur dans le mélange détermine la qualité du biogaz (ENDA-GRET, 1981 ; MARCHAIM, 1994). Selon AUBART (1982), plus la teneur en méthane du biogaz est importante, plus le biogaz est pur et de qualité meilleure. La teneur en méthane varie de 60 à 70 % pour les déchets d'élevage à 75 % pour les substrats gras (MARCHAIM, 1994).

Le  $\text{CH}_4$  étant le principal constituant du biogaz, les propriétés de celui-ci sont donc étroitement liées à celles du méthane. Le biogaz est un gaz incolore et malodorant avec une odeur d'oeuf pourri du fait de sa teneur en ammoniac et en hydrogène sulfuré. Il est plus léger que l'air et a tendance à s'élever au-dessus du niveau du sol. De ce fait, il présente moins de danger qu'un gaz plus dense que l'air (ENDA-GRET, 1981).

La combustion totale d'un mètre cube de biogaz dégage 4 800 à 6 900 Kcal sous une pression d'atmosphère (ENDA-GRET, 1981 ; FAO, 1984 ; FAO, 1987). Comparé à d'autres combustibles, un mètre cube de biogaz correspond à :

- 0,62 l de pétrole lampant
- 0,8 l d'essence
- 3,47 kg de bois de feu
- 0,43 kg de butane
- 4,5 KWh d'électricité

(Source : ENDA-GRET, 1981 ; RABEZANDRIANA, 1982).

La solubilité du biogaz dans l'eau est très faible. A la température de 20°C et à la pression d'une atmosphère, 3 unités de volume de biogaz seulement se dissolvent dans 100 unités d'eau (MARCHAIM, 1994). Une des applications de cette propriété est le principe de construction des fermenteurs : le gaz produit s'échappe et s'accumule au-dessus du mélange liquide-solide en fermentation avant d'être évacué vers les points de consommation. En outre, il est possible de purifier le biogaz en munissant les conduits de pièges à eau de manière à l'assécher.

### 3.1.2. Utilisations du biogaz

Le biogaz a des propriétés qui diffèrent de celles des autres gaz, mais n'en reste pas moins un bon combustible. Il est utilisé aussi bien comme source d'énergie domestique que carburant de moteur dans les unités d'exploitation agricole (SERENE, 1992).

#### 3.1.2.1. Utilisations domestiques

En milieu rural, le biogaz est utilisé pour l'éclairage, la cuisson des repas, la mouture, l'exhaure de l'eau et la réfrigération.

En effet, 1m<sup>3</sup> de biogaz diffuse une luminosité équivalente à 60 watts en lumière électrique pendant 6 à 7 heures (ENDA, 1978).

En remplaçant le brûleur original des réfrigérateurs à accumulation qui fonctionnent au pétrole par un brûleur à biogaz ou par un bec Bansen bien adapté, il est possible de produire la chaleur nécessaire au système de réfrigération. Des expériences portant sur les modalités de réfrigération ont donné de bons résultats au Népal : avec une pression de 8 cm et un débit de 8 litres par heure, il a été possible de faire fonctionner pendant une période d'essai de 6 mois, un réfrigérateur d'une capacité de 0,34 m<sup>3</sup> (ENDA, 1978).

L'utilisation du biogaz pour la cuisson constitue un moyen de lutter contre le déboisement et la déforestation causés par les prélèvements massifs de bois sur l'environnement. Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) du biogaz est de 5 130 kcal/m<sup>3</sup>, alors que celui du bois de chauffe est de 4 300 kcal/kg et celui du charbon de bois de 6600 kcal/kg. Le biogaz se substitue parfaitement aux combustibles classiques (FARINET, 1988). ANDRIANASOLO (1990) a effectué l'analyse éco-énergétique de l'utilisation du biogaz par rapport aux autres combustibles classiques (charbon de bois, bois de feu) chez une famille malgache de 8 personnes avec des consommations moyennes journalières de 10 kg de bois ou 5 kg de charbon.

L'auteur déduit de ses expériences que le biogaz permet d'économiser un surplus d'énergie de l'ordre de 8 278 220 kcal/an/famille. Une étude similaire devrait être réalisée chez d'autres peuples par exemple chez les ménages sénégalais afin de voir si l'utilisation du biogaz à la place des autres combustibles présente les mêmes avantages.

Par rapport à la mouture et à l'exhaure de l'eau, il n'existe que très peu de données sur les besoins en biogaz et les équivalences énergétiques avec d'autres sources d'énergie comme le gas-oil, l'essence ou l'électricité du réseau national. Toutefois ces deux types d'utilisation nécessitent la conversion du biogaz en électricité par le biais d'un groupe électrogène, générateur de courant électrique.

### 3.1.2.2. Utilisations agricoles et agro-industrielles

Le biogaz offre de nombreuses possibilités dans les secteurs agricoles et industriels. Les fermentateurs sont couplés à des groupes électrogènes qui fournissent l'énergie utile au fonctionnement des appareils utilisés dans les ateliers de mouture, de séchage de grains ou de transformation de produits agricoles.

En élevage, plusieurs applications sont envisagées. Les plus courantes sont le chauffage (chaudière à biogaz), la production de froid sanitaire et le pompage de l'eau. Dans les élevages avicoles, le biogaz est utilisé pour le chauffage des poussinières, tandis que dans les porcheries, il sert à produire de l'eau chaude pour les opérations de dépilation ou de nettoyage.

Grâce au biogaz, la conservation par la réfrigération de diverses denrées notamment les produits laitiers est rendue possible en milieu rural. La conservation des vaccins, des médicaments et implants est désormais facilitée. Ces options offrent des perspectives nouvelles d'amélioration de l'hygiène et de la situation sanitaire des élevages extensifs.

Enfin, grâce au biogaz, il est possible de faire fonctionner des motopompes en immersion dans un puits, ce qui permet de disposer de l'eau en toute saison pour l'irrigation et l'abreuvement<sup>1</sup>.

Dans les fermes de grande envergure, l'usage du biogaz a permis une autonomie dans l'approvisionnement en électricité et une sécurité financière face aux fluctuations des coûts des énergies classiques. Dans ces fermes, toutes les

<sup>1</sup> Source : Unité expérimentale de biogaz du CNRA de Bambey

utilisations sont envisageables dans la mesure où les digesteurs sont bien dimensionnés en tenant compte de la spécificité de chaque élevage (AUBART, 1982 ; AGGARWAL et SINGH, 1983 ; FAO, 1991).

L'utilisation du biogaz comme une énergie alternative offre de nombreuses possibilités aussi bien pour les besoins domestiques qu'agricoles. Mais à l'actif de la filière biogaz, il y a, outre la production d'énergie, la fourniture d'un engrais organique qui aussi présente de nombreux avantages.

### **32. Le compost : utilisations**

Au cours de la fermentation anaérobie, la production de méthane s'effectue aux dépens des molécules organiques les plus fermentescibles. Mais du fait que les précurseurs de l'humus sont parfaitement conservés (MUSTIN, 1987), les effluents, remis à l'air libre, s'humifient bien et peuvent alors être utilisés pour amender les sols en culture. En outre, les effluents compostés, contrairement au fumier frais, sont fréquemment utilisés par les agriculteurs. Ils libèrent plus rapidement une quantité significativement plus importante d'azote, une fois dans le sol (AUBERT, 1982 ; STONEHOUSE et al., 1984 ; FARINET, 1989, SARR et CLAUDE., 1989). La disparition d'une partie de la matière organique au cours de la fermentation entraîne ainsi un enrichissement apparent du résidu en éléments fertilisants (JUSTE cité par AUBERT, 1982).

Durant ces dernières années, de nombreuses études ont été menées en vue de la détermination de la valeur agronomique du compost. Les recherches effectuées au Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Bambey par SARR (1989) et FARINET (1989) ont porté sur la valeur fertilisante du fumier de bovin fermenté. Les essais ont consisté en des apports d'engrais minéral seul, puis couplé à des apports de compost sur des plants de mil en culture irriguée et pluviale. Il ressort de ces expériences que le mil irrigué et enrichi en engrais minéral et organique donnait les meilleurs résultats. Ces essais devraient se poursuivre pour voir si le compost à lui seul a une incidence sur la dynamique d'absorption des éléments minéraux par la plante. Il s'agit aussi de voir, dans quelle mesure et à quelle dose, le compost ainsi utilisé donne rapidement de meilleurs rendements agricoles. Car jusque-là, les expériences effectuées sur une supplémentation organique n'ont donné des résultats qu'au bout de 3 à 4 ans (NIANE, 1993).

L'effluent de la digestion méthanique n'est pas uniquement destiné à enrichir les sols, il est aussi utilisé dans l'alimentation du bétail. Dans les élevages

piscicoles, les digestats servent à nourrir les poissons. Cette pratique connaît beaucoup de succès en Israël avec les Kibbutz Industries Association (K.I.A.) et au Philippines au niveau de la grande ferme polyvalente de Maya (MARAMBA, 1978 ; SASSON, 1985). Il a été démontré que les résidus solides de la digestion pouvaient remplacer jusqu'à 50 % des granulés qui sont à base de céréales et utilisés pour nourrir les poissons en bassin;

Dans les élevages de bovins, porcins et ovins, ces résidus riches en protéines, en éléments minéraux et en vitamines pouvaient remplacer jusqu'à 25 % de la matière sèche (fane, paille, foin) dans la ration.

Ces effluents ainsi utilisés représentent une plus value non négligeable pouvant rentabiliser une unité de biogaz. A travers la production d'énergie de substitution et d'engrais organique, la filière biogaz/compost constitue une bonne alternative pour le développement du monde rural.

#### **4. INTERETS ACTUELS**

La substitution du bois de feu par le biogaz est une technique porteuse pour les populations rurales en général. Tout en favorisant une réduction des prélèvements sur les ressources naturelles, elle offre une source d'énergie alternative pour l'entretien de feux domestiques et pour la petite motorisation.

Cette substitution correspond en particulier à une réduction des corvées de collecte de bois auxquelles les femmes rurales sont assujetties. Une telle réduction entraîne une plus grande disponibilité pour d'autres activités sociales ou économiques. Cette nouvelle disponibilité est très souvent synonyme, à son tour, de gains monétaires et économiques mais aussi de gestion d'un temps libre qui contribue à une autonomie des femmes par rapport aux structures familiales et sociales souvent pesantes.

Entre autres, l'utilisation du biogaz pour la petite motorisation aux fins d'éclairage, de pompage de l'eau et de mouture permet la répartition vers la campagne d'un mieux-être réservé jusque-là aux villes (DUHAMEL, 1985).

Au-delà de toutes les utilisations envisageables, la technologie du biogaz offre la possibilité d'améliorer l'hygiène du milieu. En effet, la fermentation méthanique permet de traiter la charge polluante et de désodoriser l'environnement. La méthanisation permet d'éliminer la quasi-totalité des entérobactéries pathogènes: colibacilles, salmonelles, shigelles ; des entérovirus et de la presque totalité des oeufs de parasites gastro-intestinaux présents dans les milieux et surtout dans les élevages (tableau 1). Elle réduit voire élimine les semences d'adventices dans le compost et par conséquent lutte contre l'enherbement.

Tableau 1 : Temps d'élimination, par la méthanisation, de quelques oeufs de parasites et bactéries

- Oeufs de schistosome	14 jours (été), 37 jours (hiver)
- Oeufs d'ankylostome	Au bout de 30 jours, 90% de mortalité
- Oeufs de vers plats	Au bout de 70 jours, 99% de mortalité
- <i>Shigella flexnerie</i> (responsable de la dysenterie)	30 heures
- Bacille de la paratyphoïde	44 heures

Source : ENDA(GRET, 1981

Cependant, pour assurer une bonne production de biogaz et de compost de qualité, il est important de tenir compte d'un certain nombre de paramètres qui interviennent dans le processus de la fermentation méthanique.

## 5. PARAMETRES DE LA METHANISATION

La méthanogénèse est l'aboutissement d'actions déterminantes de divers micro-organismes spécifiques. Aussi, plus favorable est le milieu, plus rapide est la production de gaz. Ainsi, les facteurs du milieu qui déterminent ces réactions doivent être soumis à un contrôle externe rigoureux. Les paramètres de la méthanisation sont répartis en deux groupes (AUBART, 1982 ; GRET-GERES, 1983). Le premier groupe concerne les paramètres liés aux substrats qui sont : le taux de matière sèche, la biodégradabilité, la composition, la présence de substances toxiques ou inhibitrices et le pH. Quant au second groupe, il représente les paramètres liés à la technique utilisée. Ce sont : la température, l'anaérobiose et la quantité d'eau utilisée.

Ces différents paramètres interviennent par différents processus. Les processus les plus déterminants sont décrits.

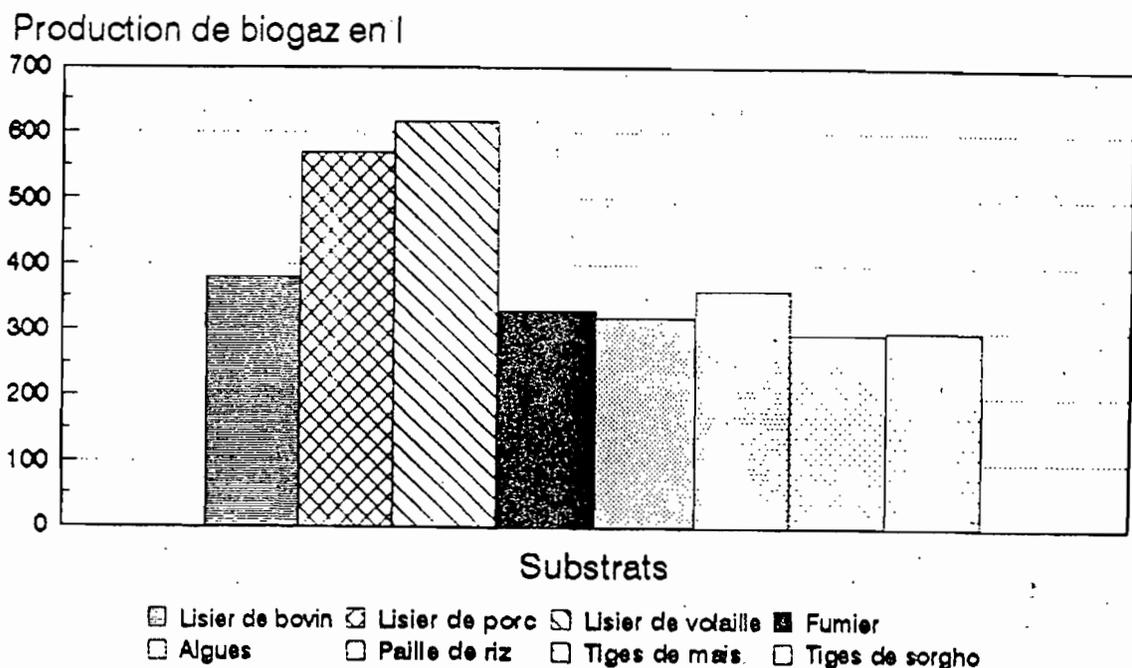
## 5.1. Paramètres liés au substrat

### 5.1.1. Taux de matière sèche du substrat

Le taux de matière sèche (MS) varie en fonction des types de fermenteur. Dans le cas des réacteurs horizontaux dont le Transpaille, il est recommandé d'utiliser une charge renfermant 70 % de paille et 30 % de bouse de vache fraîche (SOW, 1991). Par contre dans les systèmes indiens et chinois utilisant les gadoues des sanitaires et les lisiers, le substrat est liquide et contient 15 % de MS.

### 5.1.2. Biodégradabilité du substrat

Il n'y a pas de substrats spécifiques de production du biogaz. La plupart des déchets organiques peuvent être fermentés, mais la lignine fait exception (ENDA, 1978 ; MARCHAIM, 1994). Toutefois, les substrats les plus couramment utilisés sont les déchets d'élevage, les résidus de cultures et autres végétaux comme les algues et les eaux chargées des industries agro-alimentaires ne contenant pas de tanin ou de détergent. Les productions de biogaz à partir de ces différents substrats, d'après différentes analyses, sont représentées par la figure 2.



Source: Ducellier cité par Rabezandriana (1982)

Figure 2 : Production de biogaz par kg de matière sèche de substrat

Dans les pays en développement, le substrat le plus utilisé est la bouse de vache et le fumier d'étable en raison de sa disponibilité.

La bouse de vache est un substrat de choix car elle est modérément dégradable et elle est bien équilibrée en éléments nutritifs utiles aux bactéries fermentaires (MARCHAIM, 1994).

Les plantes telles que les jacinthes d'eau, les lentilles d'eau donnent des rendements élevés en méthane (FAO, 1977). La biodigestion de ces plantes peut constituer une solution aux problèmes d'invasion des canaux d'évacuation. Une autre plante, *Euphorbia turicalli* a donné des résultats très satisfaisants et bien meilleurs que ceux obtenus avec la fermentation de la bouse de vache (NIANE et RUIZ., 1993).

Quant aux ordures urbaines (poubelles, déchets organiques ménagers), elles peuvent en principe être traitées grâce à la digestion anaérobie. L'étude expérimentale du traitement des ordures ménagères est à pied d'oeuvre dans la ville de Bakel au Sénégal avec l'appui technique de la Société d'Aménagement et d'Exploitation des Terres du Delta du Fleuve Sénégal, des Vallées du Fleuve Sénégal et de la Falémé (SAED). Selon SOW (1991), les premiers résultats sont très concluants.

L'opportunité de créer des stations de traitement des ordures ménagères par la technique du biogaz apparaît donc comme une solution tentante aux problèmes d'insalubrité des centres urbains.

Il y a un choix assez large pour les différents types de substrat proposés. Ce choix doit se faire en fonction des disponibilités de chaque site et en fonction du type de fermenteur utilisé.

Toutefois, il est important de tenir compte de la composition du substrat car il y va de la croissance des bactéries et donc du rendement en biogaz (ENDAGRET, 1981 ; MARCHAIM, 1994).

### 5.1.3. Composition du substrat

Les éléments essentiels d'un bon substrat sont le carbone (C), l'azote (N) et les éléments minéraux (AUBART, 1982 ; ANDRIANASOLO, 1990). Mais c'est surtout le rapport carbone/azote (C/N) qui détermine la production de méthane (KESRAOUI et al., 1990). Un rapport C/N de 30 est généralement cité comme optimal (FRY, 1975 ; NAS, 1977 ; BORDA, 1980 ; UNEP, 1981 ;

KIRCHI, 1986 ; MARCHAIM, 1987 ; MARCHAIM, 1994). KESRAOUI (1990) et ses collaborateurs ont déterminé de façon expérimentale la production de méthane en fonction du rapport C/N du substrat constitué de déchets bovins. Les résultats sont présentés au tableau 2 et montrent qu'un rapport C/N = 8 permet la production d'un biogaz plus riche en méthane.

Tableau 2 : Taux de méthane produit en fonction du rapport C/N de substrat

C/N	CH <sub>4</sub> (%)
8	67
12,3	64
51,7	51,7

Source : INRAT, 1990

Les éléments tels que le calcium (Ca<sup>++</sup>), le magnésium (Mg<sup>++</sup>), le sodium (Na<sup>+</sup>), le potassium (K<sup>+</sup>) et l'ammoniaque (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) sont des stimulants de la digestion méthanique à certaines limites de concentration (tableau 3). Au-delà ils deviennent toxiques.

Tableau 3 : Concentrations admises de quelques éléments minéraux dans le substrat

Eléments.	Concentration mg/l
NH <sub>3</sub>	1 500 à 3 000
Ca <sup>++</sup>	2 500 à 4 500
Mg <sup>+</sup>	1 000 à 1 500
Na <sup>+</sup>	3 500 à 5 500
K <sup>+</sup>	2 500 à 4 500

Source : ENDA-GRET, 1981

La concentration des éléments minéraux et organiques de même que le rapport C/N sont autant de paramètres qui permettent de sonder et d'ajuster l'environnement des fermenteurs. Cependant, ces éléments sont un peu délicats à mesurer sur le terrain et surtout en milieu rural. D'autres paramètres comme le pH et la température de la cuve de fermentation sont plus facilement mesurables.

#### **5.1.4. pH du milieu de fermentation**

Le pH correspond à l'acidité ou l'alcalinité (basicité) d'une substance. Afin d'assurer une bonne production de biogaz, les bactéries responsables de la méthanisation exigent un milieu neutre ( $\text{pH} = 7$ ) ou légèrement alcalin. L'optimum se situe entre 7 et 8,5 (KESRAOUI et al., 1990).

Dans un processus normal de méthanisation, la concentration en acides gras volatiles (AGV) mesurée à partir de la concentration en acide acétique doit être inférieure à 2000 parties par million (PPM). Au cas où l'acidité est élevée, il est impératif d'intervenir pour éviter les effets pervers qui résulteraient d'une baisse du pH. MARCHAIM (1994) a dégagé deux voies opérationnelles pour corriger un pH trop acide. La première voie consiste à arrêter momentanément l'alimentation des digesteurs (cas des systèmes continus) pour permettre aux bactéries méthanogènes d'éliminer les ions  $\text{H}^+$ . Une fois que le pH est normal, l'alimentation peut être reprise à des niveaux réduits au début puis augmentés graduellement afin d'éviter les chutes trop importantes du pH.

La seconde voie est la plus rapide et elle est préconisée en cas d'urgence. Elle consiste à verser dans la cuve de fermentation des produits chimiques qui élèvent le pH et qui fournissent une capacité supplémentaire à tamponner le jus du fermenteur. La chaux est souvent utilisée. Le carbonate de soude (poudre de soude), bien que plus coûteux, permet d'éviter la précipitation de carbonate de calcium.

Sur le terrain, le pH peut se mesurer à l'aide d'un papier pH ou d'un pH mètre par lecture directe. Le pH évolue au cours de la fermentation avant de se stabiliser au voisinage de la neutralité ou légèrement au-dessus (fig. 3).

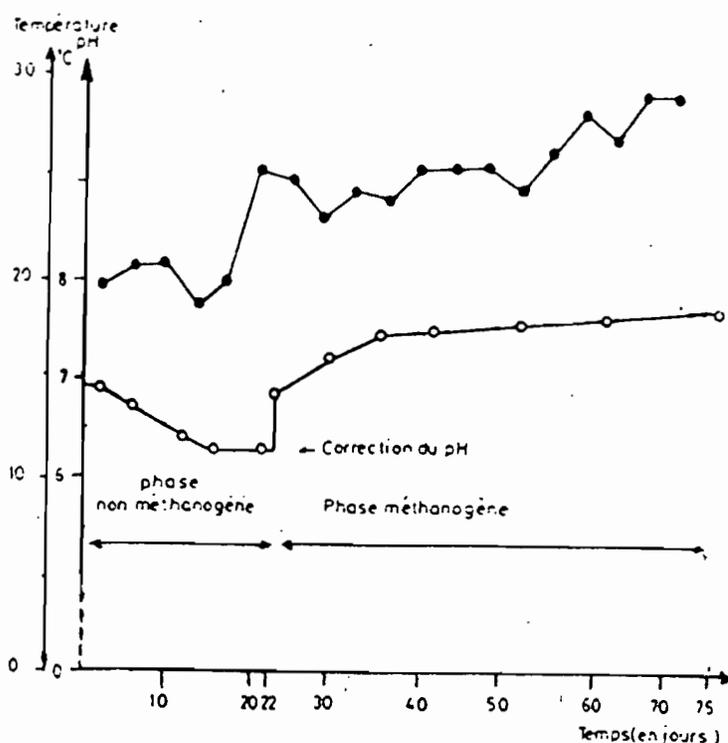


Figure 3 : Evolution du pH et de la température au cours de la méthanisation

Source : INRAT, 1990

Le pH, à lui seul, ne peut permettre d'émettre un jugement sur une éventuelle variation de la production de biogaz. Généralement, on fait appel à la température qui est un facteur non moins important dans le processus de méthanisation.

## 5.2. Paramètres liés à la technique

### 5.2.1. Température du liquide de fermentation

Les bactéries ont une sensibilité variable pour un gradient de température. **MARCHAIM (1994)** stipule que la thermosensibilité est fonction du métabolisme protéique de chaque type de micro-organisme. Les bactéries méthanogènes ont une croissance optimale pour des températures élevées allant jusqu'à 45 à 50°C. Les basses températures, quant à elles, favorisent l'accumulation d'acides gras volatiles car elles sont propices à la croissance des bactéries acidogènes (2e phase de la fermentation) qui vont concurrencer les méthanogènes productrices de gaz (**ZIKUS et WINEREY, 1976** rapportés par

KESRAOUI et al., 1990). Toutefois, le principal facteur à craindre est la fluctuation de la température. Un brusque changement de température supérieur à 3°C affecte en effet la production de biogaz, d'où la nécessité de maintenir une relative stabilité de la température des fermenteurs (MARCHAIM, 1994). De ce fait, les digesteurs sont généralement enterrés car le sol constitue un bon isolant thermique.

La température peut être prise de deux façons. La première façon consiste à sonder directement le jus du fermenteur, après agitation, à l'aide d'un thermomètre spécifique assez long à travers un trou placé sur le digesteur. La seconde façon est préconisée lorsqu'on ne dispose pas du type de thermomètre requis et elle consiste à relever la température ambiante à l'aide d'un thermomètre mural.

pH et température sont ainsi mesurables sur le terrain de façon simple et peu coûteuse. Leurs évolutions (fig.3) ont un impact sur la production de biogaz.

Cependant, d'autres facteurs interviennent de façon plus ou moins importante et dont la maîtrise contribue à améliorer les rendements en méthane. Il s'agit de l'anaérobiose et de la quantité d'eau utilisée dans la cuve de fermentation.

### 5.2.2. Anaérobiose des digesteurs

La méthanisation s'effectue dans des conditions d'anaérobiose strictes. Ainsi, 0,01 milligramme par litre d'oxygène dissout peut inhiber totalement la croissance des bactéries précurseurs de méthane (BOURNAS et COILLARDS, 1980 ; MARCHAIM, 1994). Pour obtenir une bonne production de biogaz, l'anaérobiose et l'étanchéité des fermenteurs doivent être assurées. Cette nécessité implique une rigueur dans le choix des matériaux de construction des digesteurs et dans leur conception.

### 5.2.3. Quantité d'eau

Pour leur métabolisme, les bactéries ont besoin d'eau. Celle-ci doit représenter 90 % du poids total des matières (ENDA-GRET, 1981).

Cependant, les excès et les déficits doivent être évités. Un excès d'eau dans le digesteur entraîne une chute de la production de gaz par unité de volume de fermenteur, empêchant ainsi l'utilisation optimale de celui-ci. Un manque d'eau provoque l'accumulation d'acide acétique qui abaisse le pH et ralentit la méthanisation.

La connaissance de tous les paramètres liés au substrat et à la technique est fondamentale dans la gestion d'une unité de biogaz/compost. Mais l'impact de l'un ou de l'autre des paramètres est modulé par le type de digesteur et donc par son système de fonctionnement.

## CHAPITRE 2

# TYPOLOGIE DES DIGESTEURS ET PRATIQUE DE GESTION DES INSTALLATIONS

### 1. TYPOLOGIE DES DIGESTEURS

La biométhanisation emploie une technologie variée allant du plus simple voire rudimentaire avec l'utilisation des fûts de récupération, au plus complexe comme les réacteurs à haut rendement. Les fermentateurs ont des formes diverses. Cependant, ils répondent tous à une structure classique qui comprend :

- un corps ou cuve ;
- un dispositif d'entrée des effluents ;
- un dispositif de sortie des effluents ;
- un orifice d'évacuation du gaz et ;
- des équipements annexes (annexes 1, 2, 3).

Les équipements annexes sont constitués des tuyaux de raccordement munis de piège à eau et éventuellement d'épurateur, de réservoir de stockage du gaz, de manomètre et de fosse compostière.

Les équipements de stockage du gaz appelés gazomètres permettent lors d'une consommation continue et régulière de gaz de disposer d'une réserve fournissant régulièrement du gaz au point d'utilisation. Il existe deux types de gazomètres :

- Le premier type de gazomètre est constitué d'une bâche plastique gonflable séparée du digesteur encore appelé ballon, ou couplé au digesteur. Une charge ou lest est placée au-dessus du ballon qui se gonfle et se dégonfle à la manière d'une baudruche selon que celle-ci contient du gaz ou non. La charge placée au-dessus du gazomètre permet d'obtenir une

surpression à l'intérieur du ballon. En effet, le biogaz ne peut être utilisé que lorsqu'il est sous pression (FAO, 1990 ; SASSE, 1986).

- Le deuxième type de gazomètre est celui des gazomètres rigides métalliques. Ces types sont couplés au digesteur. Le gaz ainsi produit est piégé sous le gazomètre constitué d'une cloche métallique qui coulisse verticalement le long d'un guide central. Dans ce cas-ci, la pression du gaz est fonction du poids (P) de la cloche en gramme par sa surface (S) en centimètre carré (fig. 4) (DIOP, 1991). La pression maximum est obtenue quand la cloche est pratiquement sortie de l'eau.

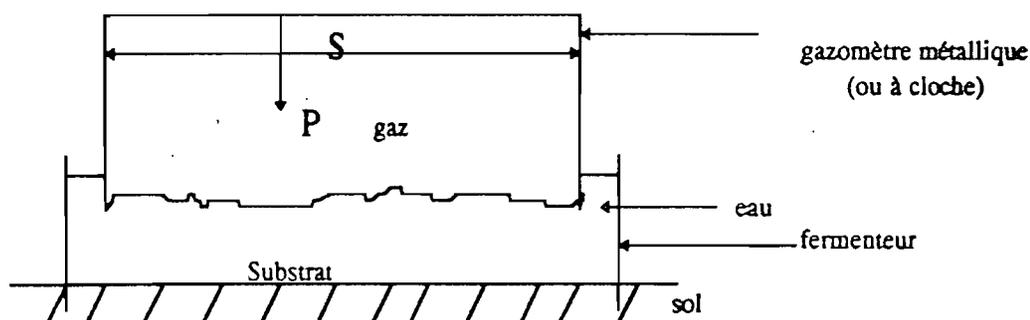


Figure 4 : Gazomètre à cloche

## 1. 1. Exemples de systèmes de biogaz

Une unité de biogaz peut fonctionner de manière continue, discontinue ou semi-continue.

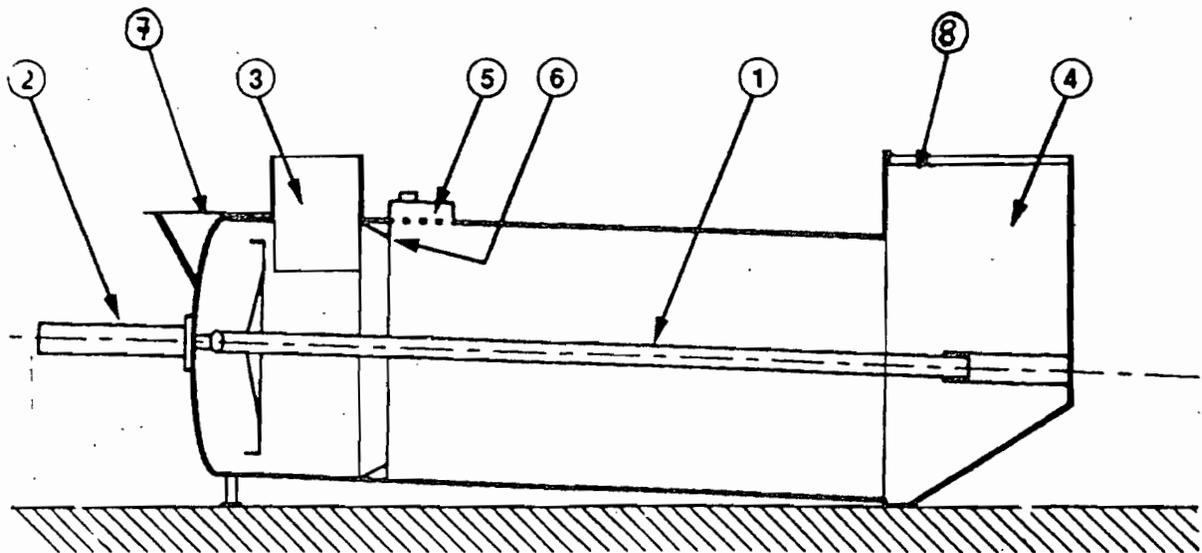
### 1.1.1. Systèmes continus

L'exemple type est le modèle Transpaille.

Ces systèmes, basés sur l'utilisation de déchets solides pailleux, utilisent une technologie plus élaborée. Ce sont des réacteurs tubulaires horizontaux munis d'une trémie de chargement à une extrémité par laquelle sont introduits des déchets frais et d'une fosse d'évacuation des déchets fermentés à l'autre extrémité. Le chargement est journalier et la production de gaz varie avec la quantité de substrat introduite et avec la fréquence d'introduction (SOW, 1991). Ces systèmes sont équipés d'un dispositif de transfert de charge appelé

vérin actionné par une pompe hydraulique. La cuve en tôle métallo-soudée ou en polyester est semi - enterrée et inclinée à 4 %. Son volume utile est estimé à 0,20 m<sup>3</sup> / kg MS/ j. Le Transpaille (Tp) (fig. 5) a été développé par le Groupement d'Intérêt Economique (GIE) AGRIFORCE à partir d'un brevet déposé par l'IRAT/ISRA/AFME.

Le Tp est inspiré du modèle zairois Plum Barila qui est constitué de deux fûts soudés.



- 1 Arbre central de transfert avec bouclier de poussée
- 2 Vérin double effet
- 3 Trémie de chargement
- 4 Fosse de réception
- 5 Collecteur de biogaz
- 6 Couronne de compression et d'étanchéité
- 7 Passerelle d'accès
- 8 Table d'égouttage des effluents

Figure 5 : Modèle Transpaille (Tp)

Source : FARINET, J.L. ; SOW, O., 1993

### 1.1.2. Systèmes discontinus

L'exemple type est le modèle « puits » ou Saria/CIEH.

Ces systèmes qui exploitent les déchets solides du type fumier pailleux, sont principalement destinés à la production de gaz. Le traitement des matières ne vient qu'en second plan. Contrairement aux systèmes continus, le chargement des cuves n'est pas journalier. Ces systèmes fonctionnent de manière discontinue car les cuves sont vidées périodiquement tous les mois. Il survient ainsi des cycles de production entrecoupés de périodes mortes qui correspondent à la vidange et au remplissage d'une cuve. Pour obtenir une production constante de gaz, il est préconisé d'utiliser plusieurs cuves qui fonctionnent alternativement.

Ces systèmes utilisent une technologie simple et peu de main-d'oeuvre. Les cuves sont en béton et le couvercle en tôle (fig. 6)

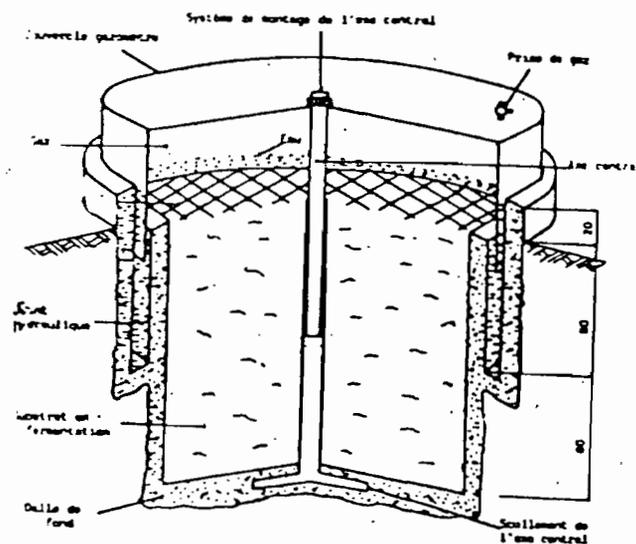
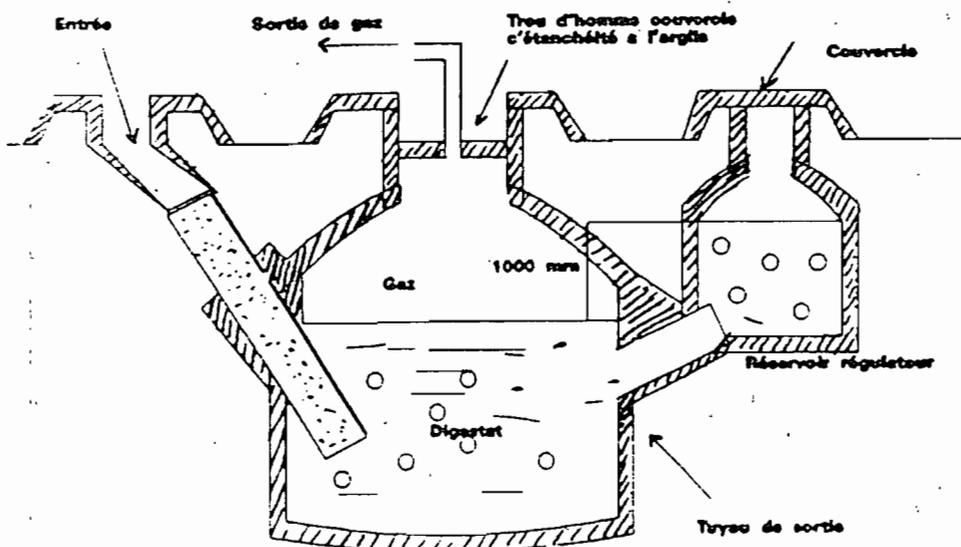


Figure 6 : Type SARTA/CIEH ou « puits »

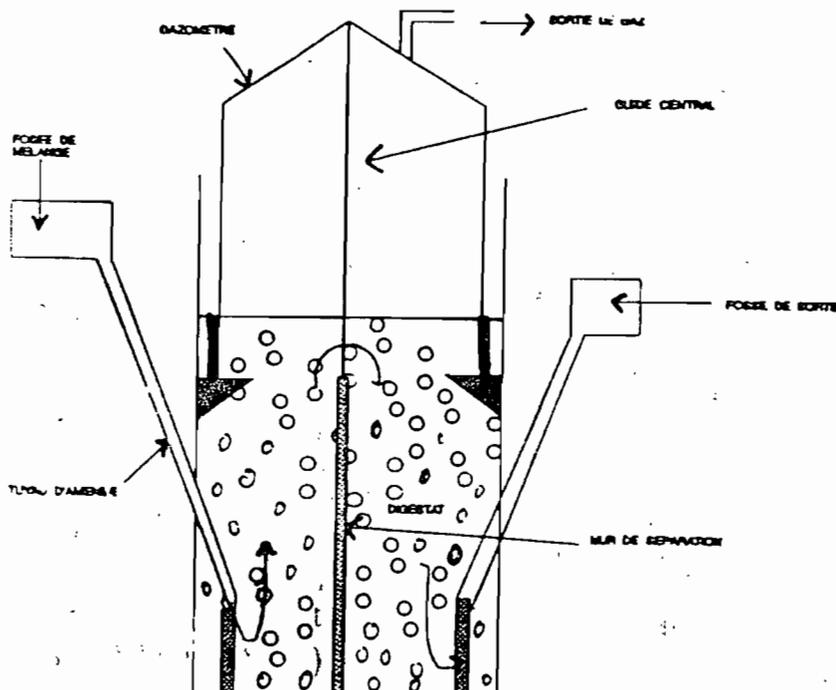
Source : LO, I et al., 1989

### 1.1.3. Systèmes semi-continus

Ces systèmes, basés sur les déchets fluides, présentent une similitude de fonctionnement avec le tube digestif. Ils doivent recevoir une alimentation pour cultiver et entretenir des bactéries. Ils ont besoin d'un certain degré de température pour être fonctionnels. La construction des fermenteurs en particulier du dôme des fermenteurs relève d'une technologie assez élaborée. En général, ces types de fermenteur sont construits à proximité des latrines ou des étables auxquelles ils sont reliés par des conduits d'alimentation (ENDAGRET, 1981). Ces exemples types sont les systèmes indiens à dôme flottant et chinois à dôme fixe (fig. 7).



a - Type chinois



b - Type indien

Figure 7 Digesteurs de type chinois et indien

En dehors des systèmes déjà décrits, il existe beaucoup d'autres variantes dont le nom est souvent subordonné au pays d'origine. C'est ainsi qu'il a été décrit des modèles taiwanais, guatémaltèques, zaïrois, tanzaniens, javanais (GUTTERER et SASSE, 1993) différents les uns des autres mais qui répondent tous à un même principe de fonctionnement.

Chacun des systèmes présentés comporte des avantages et des inconvénients (annexe 4). Le choix d'un modèle est déterminé par plusieurs variables.

## **2. CHOIX DU TYPE DE FERMENTEUR**

La capacité de financement, le type de substrat disponible, la main-d'oeuvre locale et les besoins exprimés en gaz et en compost sont autant de facteurs qui influent sur le choix du type de fermenteur.

Les systèmes continus qui relèvent d'une technologie plus poussée ont l'avantage de consommer peu d'eau et de donner des rendements relativement élevés en gaz. Cependant, la main-d'oeuvre nécessaire et le coût de leur installation s'avèrent plus importants que pour les autres systèmes (tableau 4).

Tableau 4 : Estimation du coût du m<sup>3</sup> de différents types de fermenteurs

Type de fermenteur	Coût F CFA / m <sup>3</sup>
- Chinois	85 500
- Indien	105 000
- Saria/CIEH	216 000
- Transpaille	300 000

Source : FARINET, 1988

Le choix d'un type de digesteur est aussi le résultat d'un compromis entre les ressources locales (financières, technologiques...) d'une part, et, d'autre part, les besoins énergétiques. Ainsi, il est généralement préconisé de faire au préalable une étude économique comparée des différents modèles de fermenteur entre eux et avec les autres opportunités d'approvisionnement en énergie (bois de feu, charbon de bois, pétrole lampant, gas-oil) pour justifier un investissement. Selon NLANE (1993), les installations communautaires

destinées à la mouture et à l'exhaure de l'eau sont les plus rentables économiquement.

### **3. CHOIX DU SITE**

Le manque de connaissances ou la non prise en compte des données environnementales sont souvent à l'origine de nombreux échecs et parfois des rejets du biogaz. Il est primordial de connaître les critères de choix d'un bon site. Ces critères sont décrits par le Centre d'Etude et de Recherche sur les Energies Renouvelables CERER (1983). Ils concernent l'ensoleillement, la position des digesteurs par rapport aux habitats et la facilité d'accès. Il est particulièrement recommandé de veiller à la profondeur de la nappe phréatique. Généralement, les fermenteurs sont installés près des latrines ou des étables à évacuation directe pour éviter les manipulations souvent inutiles (ENDA, 1985).

Après le choix du type de digesteur et de la zone d'installation, la formation des exploitants au fonctionnement et à la maintenance des équipements est également une composante essentielle du succès du biogaz.

### **4. PRATIQUE DE GESTION DES INSTALLATIONS**

Pour gérer un système de production de biogaz, il n'existe pas de recette type qui s'applique à tous les systèmes. La conduite de la digestion et l'entretien des installations sont déterminés en fonction de la particularité de chaque type. Les règles de conduite pour les deux grands systèmes continus et discontinus sont bien connus.

#### **→ Pour le système continu**

La charge est introduite journalièrement dans le fermenteur et pour une quantité donnée, une quantité correspondante d'effluents est refoulée dans la fosse de réception. Les effluents sont évacués une à deux fois par semaine et mis en fosse pour le compostage. Après évacuation des effluents, il est préconisé de vérifier le niveau de l'eau de la cuve et d'en rajouter au besoin pour permettre la bonne conduite de la fermentation.

### → Pour le système discontinu

Le substrat est d'abord fermenté à l'air. Cette pré-fermentation a un double objectif. Elle permet l'oxydation de molécules comme le glucose empêchant ainsi l'acidification ultérieure du digesteur d'une part, et, d'autre part, elle permet d'atteindre très vite des températures élevées une fois que la fermentation anaérobie est entamée (ANDRIANASOLO, 1990 ; MARCHAIM, 1994).

La conduite de la fermentation proprement dite consiste à remplir le digesteur de fumier noyé dans de l'eau, à refermer ensuite la cuve et à surveiller la production de gaz. Une fois démarrée, la digestion ne nécessite plus d'intervention, ce qui allège les travaux.

Un digesteur de type discontinu accepte plus facilement des différences de nature des matières au cours de l'année. Par ailleurs, lors du chargement il est possible de réutiliser l'eau d'une précédente cuve riche en microbes pour ensemencher la suivante (OUEDRAOGO et PEULTIER., 1984).

L'opération de déchargement est une occasion pour vérifier l'intégrité des parois de la cuve afin de déceler les fuites éventuelles.

Dans tous les systèmes, le contrôle des performances de production de gaz doit se faire régulièrement. Tous les ans, il est conseillé de vider entièrement les digesteurs et de vérifier toutes les installations.

La conduite de la fermentation méthanique, quels que soient le système et le type de digesteur utilisés, consiste en des tâches simples mais qui doivent être régulières et rigoureuses pour garantir le succès des programmes nationaux de biogaz.

## CHAPITRE 3

### EXPERIENCE DU BIOGAZ DANS LE MONDE ET AU SENEGAL

La production du biogaz bénéficie d'une longue expérience dans le monde. En effet, de nombreuses installations de démonstration et des programmes nationaux de biogaz ont été développés dans beaucoup de pays.

Ce chapitre est consacré aux expériences de quelques pays d'Asie, d'Europe, d'Amérique et d'Afrique qui se sont distingués dans le développement de la technique du biogaz.

#### 1. STRUCTURES ORGANISATIONNELLES AUTOUR DU BIOGAZ EN CHINE

Nul par ailleurs qu'en Chine, la diffusion du biogaz n'a connu un aussi grand succès. La Chine est, de ce fait, citée en exemple pour la biotechnologie du biogaz.

Aujourd'hui, l'expérience chinoise est vieille d'un peu plus de vingt ans avec la fabrication en 1973 du premier digesteur dans ce pays. Cette expérience a bénéficié de deux atouts majeurs que sont :

- un choix politique avec un appui constant de l'Etat chinois à l'égard des structures de développement de la filière biogaz/compost ;
- une organisation sociale des campagnes qui sont les principales bénéficiaires.

L'appui de l'Etat s'est manifesté aux niveaux de la recherche, de la formation et de l'allocation des ressources financières.

#### La recherche

L'Etat chinois a, en effet, initié la création d'instituts de recherche provinciaux chargés d'apporter des innovations à la technologie de la fermentation méthanique (VAN BUREN, 1980 ; PNUD, 1981 cités par SASSON, 1985). Selon ISLAM cité par SASSON (1985) la production totale de biogaz en 1978

était de deux milliards de mètre cubes pour 7,15 millions de digesteur, soit 0,77 mètre cube par digesteur par jour sur 12 mois de fonctionnement et 0,93 mètre cube par jour sur 10 mois de fonctionnement effectif. Les évaluations de **THERY** en 1980 aboutissaient à une production d'un peu plus de 2,5 millions de mètre cube de biogaz par an soit 1,5 millions de Tonnes Equivalent Pétrole (TEP).

### La formation

La clé du succès du biogaz en Chine repose aussi dans la constitution d'un noyau d'experts autour du biogaz (**ENDA-GRET, 1981**).

L'Etat a pris en charge les collectivités productrices pouvant superviser la construction, l'entretien et la gestion des produits de la fermentation. Entre 1975 et 1980, plus de 200 000 techniciens avaient été formés à différents niveaux dans le Sichuan et ceux-ci servaient, à leur tour, de formateurs dans les communes, au sein des brigades et dans les groupements de familles associés à l'exploitation du biogaz.

### L'allocation des ressources

Les ressources concernent les matériels de construction indispensables en particulier le ciment. Sur le plan économique, les banques d'Etat accordaient des prêts à faible intérêt (0,18 % par an en 1979) pour la confection de cuves de fermentation (**ENDA-GRET, 1981**).

La réduction des irrégularités économiques ajoutée à la décentralisation industrielle avec l'installation de petites cimenteries dans la plupart des districts ont permis à un grand nombre de familles d'avoir un digesteur. Les sources officielles indiquaient que la Chine devait avoir 20 millions d'installations en 1980 et 70 millions en 1985, et, déjà en 1980, 70 % des familles paysannes utilisaient le biogaz pour leur besoin en énergie de cuisson (**SMIL, 1976 ; FAO, 1977 ; SMIL, 1979** cités par **SASSON, 1985**).

Toutefois, n'eut été l'existence de structures organisationnelles bien définies dans les campagnes, le concours de l'Etat n'aurait pas été mis à profit par les populations. La mise sur pied de fonds collectifs et d'épargne familiale pour construire des digesteurs permirent aussi d'alléger les coûts d'investissement. Enfin, l'expérience chinoise qui fait un large emploi des résidus de récolte, de déchets animaux et humains est un bel exemple d'intégration agriculture-élevage et de recyclage de la matière organique.

## 2. EXPERIENCE DU BIOGAZ EN INDE

Après la Chine, l'Inde est le pays qui possède le plus grand nombre de digesteurs avec plus de cent mille en fonction en 1982 (ENDA, 1991);

Entre 1980 et 1984, le Vi<sup>e</sup> plan quinquennal de l'Inde prévoyait l'installation d'un million de digesteurs à usage domestique pour une valeur de 55 millions de dollars US. Une telle opération ne représentait que 5 % des possibilités offertes par la transformation des fèces de bovins soit 18,75 millions d'installations individuelles et 5,6 millions d'unités collectives (SASSON, 1985; MARCHAIM, 1994).

Le gaz produit est surtout utilisé pour la cuisson, l'éclairage, le chauffage et le pompage de l'eau, les effluents servant d'engrais organique.

En Inde, les services de vulgarisation ont été créés en rapport avec l'expérience chinoise. Ainsi furent installés :

- le Gobar Gas Scheme dont le rôle était d'allouer des crédits de construction de digesteurs aux populations ;

- le Khadi Village Industries Commission (K.V.I.C.) pour l'assistance technique.

Le K.V.I.C. répartissait dans les provinces un personnel technique compétent pour assurer gratuitement l'encadrement des propriétaires de digesteurs.

L'Etat, jusqu'en 1973, accordait aussi des prêts pour la fabrication de fermenteurs et le montant de ces prêts était de 75 % du coût du digesteur sans intérêt avec un remboursement étalé sur dix ans (GUTTERA et SASSE, 1993). Puis, le montant des prêts fut réduit jusqu'à 20 %. Outre l'attribution de subventions directes aux coûts d'investissement, les états fédéraux et les organisations privées de diffusion du biogaz recevaient de 2,5 à 5 % de la valeur de construction complète de leur programme, en subvention, pour mettre en place et entretenir une infrastructure organisationnelle.

Malgré cette aide en crédit, l'usage du biogaz reste encore timide en Inde d'autant plus que les déjections animales (bouse de vache) y servent de combustibles et d'engrais organique (ENDA, 1991). En plus des contraintes financières pour disposer des animaux couvrant les besoins en biogaz d'une famille d'au maximum quatre à cinq personnes adultes, la construction et l'entretien de la cuve de fermentation nécessitaient un travail supplémentaire.

Contrairement à la Chine qui bénéficie d'un élevage en porcherie fixe très développé et permettant d'éviter de collecter puis de transporter le substrat, la nécessité de construire des étables s'était imposée en Inde, dans les villages où les vaches ne sont pas parquées.

Ces facteurs limitèrent considérablement la vulgarisation du biogaz en Inde. Cependant, les principaux facteurs de réussite d'un programme de biogaz sont souvent plutôt sociaux que techniques. Les résultats les plus significatifs tant pour le biogaz que pour d'autres innovations techniques rurales, sont surtout ceux des communautés qui ont assimilé la technique et l'ont adaptée à leurs propres conditions (ENDA-GRET, 1981 ; SOW, A. 1990). Autrement dit, il faut tenir compte des capacités financières et organisationnelles des populations cibles dans l'élaboration des stratégies de diffusion du biogaz en milieu réel.

### **3. UTILISATIONS DU BIOGAZ DANS LES PAYS DEVELOPPES**

Depuis la récente crise pétrolière de 1973, la technique du biogaz qui était pour la plupart des pays développés un moyen pour épurer les eaux usées urbaines, a connu de nouvelles orientations (MBODJ, 1984 ; SASSON, 1985). De nouvelles perspectives tournées vers la production d'énergie se sont très vite développées. Dans des pays comme les USA, Israël, le Japon, la France, le Canada, l'Australie et la Suède, d'importants projets de méthanisation des déchets animaux et végétaux ont vu le jour.

Aujourd'hui, le biogaz couvre une part importante dans la couverture des besoins énergétiques sans cesse croissants de ces pays.

Les USA et Israël sont des exemples clés.

#### **3.1. Utilisation du biogaz en Israël**

Les études effectuées en Israël ont été à l'origine des avancées importantes dans la technologie du biogaz avec notamment la conception de turbines à biogaz. Mais la grande innovation a été l'obtention de hauts rendements en gaz avec la Kibbutz Industries Association (K.I.A.) qui a réussi à obtenir 4 à 6,5 m<sup>3</sup> /j/ m<sup>3</sup> de cuve (SASON, 1985). A titre comparatif, les fermenteurs de type chinois donnent 0,25 à 0,3 m<sup>3</sup> / j m<sup>3</sup> de cuve et ceux de type indien : 0,3 à 0,4 m<sup>3</sup> / j / m<sup>3</sup> de cuve (LO et al., CRAT 1989).

Les chercheurs israéliens sont parvenus à obtenir un biogaz pur ne contenant que du méthane. Quant au dioxyde de carbone, il était récupéré pour être

utilisé dans des serres afin d'accroître l'intensité de la photosynthèse des plantes en culture.

Une autre découverte toute aussi importante a été l'utilisation des effluents de la fermentation dans la ration alimentaire des animaux. Les essais de substitution ont donné des résultats satisfaisants avec des taux de 50 % de granulés à base de céréales en pisciculture et 25 % de la matière sèche de la ration du bétail (**MARAMBA, 1978 ; SASSON, 1985**).

Une usine pilote d'une capacité de 200 000 litres a ainsi fonctionné pendant 3 ans dans le Kibbutz de Haute Galilée. La première grande usine a été inaugurée en 1982 à Ashkelen. Par la suite, il était prévu la construction de 460 autres usines de production de biogaz en plus de celles destinées à l'exportation.

### **3.2. Le biogaz aux Etats-Unis d'Amérique**

L'extraction de méthane à partir des déjections animales et des déchets agricoles par le procédé anaérobie est une technologie bien connue aux USA (**FAO, 1980**). Contrairement à beaucoup d'autres pays, la biométhanisation y a dépassé le cadre de petits projets villageois ; elle est entretenue par des sociétés à profil industriel. A titre d'exemple, **MARCHAIM (1994)** cite une production de 23 millions de m<sup>3</sup> de méthane pur à partir de la fermentation anaérobie de lisier de porc à l'engrais. Ce même auteur évoque la valorisation de 1000 km<sup>2</sup> de jacinthe d'eau avec une installation produisant 5 millions de m<sup>3</sup> de méthane par jour.

## **4. LE BIOGAZ EN AFRIQUE**

Les premières productions et utilisations du biogaz en Afrique ont eu lieu vers 1940 en Algérie, avec **ISMAN** et **DUCELLIER** ; et depuis le nombre de digesteurs installés s'est considérablement accru (**AUBART, 1982**).

Cette tendance a été entretenue par :

- un approvisionnement facile en substrats fermentescibles au niveau de l'exploitation familiale où l'agriculture est associée à l'élevage ;

- une longue tradition d'utilisation de la bouse de vache comme fertilisant, combustible ou encore matériaux de construction et enfin ;
- un climat avec des températures élevées propices à la fermentation méthanique.

Plusieurs expérimentations sont en cours en Afrique et un grand nombre de digesteurs a été installé dans diverses localités.

Une récapitulation est présentée à la carte en annexe 5. Elle fait état des exemples recensés par **ENDA** en 1978 et par le Centre de Recherche Africain de Technologie (**CRAT**) en 1982. Depuis, le nombre de digesteurs construits en Afrique a fortement augmenté avec une extension à de nombreux pays.

## **5. EXPERIENCE DU BIOGAZ AU SENEGAL**

La situation énergétique particulièrement difficile en milieu rurale a conduit à l'élaboration de stratégies fondées sur les énergies alternatives. En effet, le biogaz, à l'instar des autres énergies renouvelables telles que le solaire, l'éolienne et la biomasse, devait constituer un moyen pour affranchir les campagnes des contraintes énergétiques auxquelles elles sont confrontées. Au cours de ces dernières années, de nombreux projets de biogaz ont été initiés dans différents points du Sénégal (carte 1 et annexe 6).

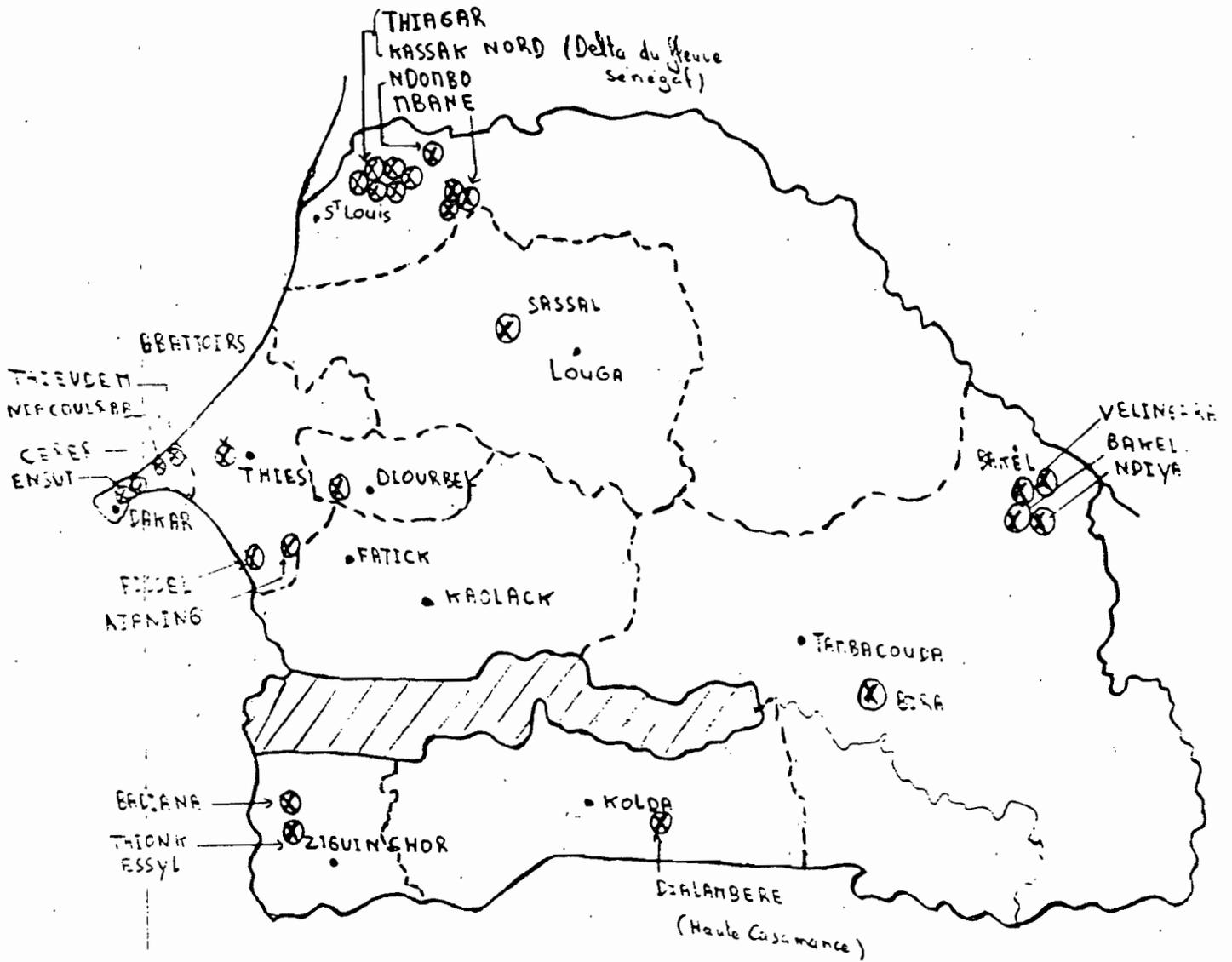
### **5.1. Systèmes utilisés**

La diversité géographique et celle des ressources locales ont conduit à une diversification du choix du type de digesteur dans les localités recensées.

Cependant, les systèmes les plus utilisés sont les types chinois et indiens en fonctionnement discontinu. Ces fermenteurs sont installés en Casamance au niveau des villages de Dialambéré à Kolda (Haute Casamance), de Badiana, Thionk Essyl et Badiate à Ziguinchor ; à Sassal dans la région de Louga et sur la Petite Côte à Nianing. Tandis que le type Transpaille est plutôt développé dans le delta du Fleuve Sénégal au niveau des villages de Kassak nord, Mbane et Ndombo ; dans la région des Niayes, dans les villages de Thieudème et Niacoulrab, aux abattoirs de Thies, et à Bakel.

Le tableau qui est présenté en annexe 6 est une présentation exhaustive des différents systèmes de biogaz utilisés au Sénégal.

carte



⊗ UNITES DE BIOGAZ

	1
	2
	3

## **5.2. Utilisations du biogaz**

Le biogaz est diversement utilisé au Sénégal. Mais de façon générale, l'accent a été mis sur les utilisations domestiques, l'utilisation agricole ne vient qu'en seconde position.

Dans le delta du Fleuve Sénégal où le problème crucial est l'approvisionnement en bois, le biogaz s'utilise comme combustible, tandis qu'ailleurs la production d'électricité est plus développée.

La tendance actuelle est l'utilisation du biogaz dans les grandes fermes et dans les abattoirs. Le biogaz est aussi utilisé comme un moyen pour traiter les eaux usées comme le cas de la station d'épuration de Nianing et enfin, comme un moyen pour traiter les ordures ménagères.

Cependant, la quasi-totalité des installations existant au Sénégal sont constituées par des unités de démonstration et des unités pilotes financées par des capitaux étrangers.

L'analyse et l'identification des champs d'application et des technologies disponibles pourraient faire du biogaz une bonne alternative, d'autant plus que la crédibilité de cette filière a été correctement évaluée à partir des petites installations familiales et villageoises (SOW, 1993)

## **5.3. Etat technique**

La maîtrise de la technologie du biogaz n'a pas posé un véritable problème au Sénégal, d'autant plus qu'elle a été pendant longtemps l'objet d'études de la part de nombreux experts versés dans ce domaine (MBODJ, 1984). Les régions aptes au biogaz ont été bien définies et les groupes cibles clairement identifiés. Cependant, l'intégration du biogaz, au vu du nombre des installations, se heurte à de nombreuses contraintes. Les principaux problèmes soulevés ont trait au coût d'installation de l'unité de biogaz et au manque de structure organisationnelle qui se chargerait de l'amélioration technique et de l'expansion de la filière.

Afin de mieux cerner ces contraintes, deux études de cas ont été effectuées dans le delta du Fleuve Sénégal d'une part, et, d'autre part, dans la haute Casamance. Les études de cas, présentées dans la deuxième partie de cette thèse, représentent le travail de terrain qui complète les éléments de synthèse bibliographique qui ont été présentés dans cette première partie.

*Deuxième Partie*

**DISPONIBILITES ET ENJEUX DU BIOGAZ  
DANS LE DELTA DU FLEUVE SÉNÉGAL  
ET EN HAUTE CASAMANCE**

# CHAPITRE 1

## METHODOLOGIE

Les méthodes utilisées ont été basées sur des enquêtes formelles, informelles et sur des mesures. Elles ont permis d'obtenir des informations relatives aux unités de biogaz des sites.

L'étude présentée a été centrée sur deux actions de recherche complémentaires:

→ La première action de recherche a consisté à présenter les caractéristiques socio-économiques des villages choisis.

→ La seconde action, quant à elle, a porté sur l'évaluation des gains tirés de la substitution de sources traditionnelles d'énergie par le biogaz. Ces deux actions ont permis de dégager les avantages socio-économiques d'une intégration élevage-unité de biogaz/compost.

### 1. ZONES D'ETUDE

Cette étude a eu pour cadre trois villages du delta du Fleuve Sénégal que sont Kassak nord, Mbane et Ndombo et un village de la Haute Casamance dénommé Dialambéré (cartes 2 et 3).

Ces sites sont supposés être représentatifs pour les réalités physiques biologiques et socio-économiques des zones auxquelles ils appartiennent.

#### 1.1. Le delta du Fleuve Sénégal

La partie sénégalaise du delta qui est concernée par cette étude présente des particularités physiques et socio-économiques.



### 1.1.1. Milieu physique

Le delta du fleuve Sénégal correspond à la partie en aval du fleuve qui porte le même nom. Il est constitué d'une vaste plaine alluviale qui s'étend sur les deux rives du fleuve avec, à droite, la Mauritanie et, à gauche, le Sénégal. La partie sénégalaise du delta s'étend sur une superficie de 5 000 Km<sup>2</sup> (GUEYE, 1989) et va de la ville de Dagana à l'embouchure du fleuve à une vingtaine de kilomètres au sud de la ville de Saint-Louis.

Le delta du fleuve Sénégal est caractérisé par un climat de type soudano-sahélien avec une longue saison sèche allant de novembre à juin et une saison hivernale qui va de juillet à octobre. La pluviométrie est en moyenne faible, de l'ordre de 200 mm par an et elle est irrégulière d'une année à l'autre (TOINGAR, 1994).

Les températures sont d'une manière générale assez élevées et varient entre 26 et 27°C (Atlas National du Sénégal, 1977).

La végétation, liée à la structure du sol, est très diversifiée ; mais elle est dominée par une steppe arbustive.

### 1.1.2. Milieu humain

Le delta du fleuve Sénégal est caractérisé par une diversité culturelle née d'un brassage entre, d'une part, les autochtones constitués de wolofs, walo-walo qui sont des agriculteurs sédentaires, de tribus nomades peuls et maures, et, d'autre part, d'immigrants toucouleurs et soninkés venus de la moyenne vallée (TOURRAND, 1985). Il y a dix ans, la population du delta s'élevait à 202 573 habitants avec en majorité les wolofs représentant 63,5% suivis de loin par les peuls et toucouleurs qui représentaient respectivement : 15,8% et 8% (SAED, 1987).

Aujourd'hui, avec les aménagements hydro-agricoles, la population du delta s'est considérablement accrue.

### 1.1.3. Exploitation des terres

Le delta du fleuve Sénégal recèle la moitié des superficies aménagées de la vallée du dit fleuve. L'espace aménagé par la SAED et les privés couvrait au total 67 790 ha en 1994.

Ces aménagements hydro-agricoles ont permis le développement de cultures irriguées comme le riz devenu l'une des principales activités des populations avec une production totale estimée en 1994 à 166 000 t, le maïs, le sorgho, la tomate : 62 000 t et le maraîchage 12 300 t.

Toutefois, l'élevage a été profondément remis en cause non seulement par la sécheresse mais encore par les aménagements hydro-agricoles et les conséquences socio-économiques que ceux-ci ont entraînées. En effet, la restriction de l'espace jadis ouvert aux troupeaux constitue, de plus en plus, un facteur limitant pour l'élevage. Les pâturages de décu, base de l'alimentation du cheptel en saison sèche, sont aujourd'hui réduits à quelques zones à l'ouest du delta. Selon les estimations de la Direction de la Santé et des Productions Animales (DSPA), le cheptel comptait 468 000 bovins et 836 000 ovins-caprins en 1981 (TOURRAND, 1985).

De toute évidence, l'évolution de ce cheptel est à la baisse du fait d'une part des départs massifs des grands éleveurs mais, d'autre part, des parasitoses fréquentes comme la distomatose, la schistosomose et l'oesophagostomose liées à la transhumance.

Actuellement, la nécessité d'intégrer l'élevage à l'agriculture s'impose et les systèmes jadis connus tels que les petits élevages peuls semi-intensifs et les systèmes villageois intégrés qui sont des systèmes agro-pastoraux devraient être réhabilités et améliorés.

#### **1.1.4. Cadre socio-économique et projets de biogaz**

La conjonction d'éléments majeurs, tels que les aménagements hydro-agricoles, l'incitation à l'initiative privée par l'octroi de crédits et le développement d'entreprises agro-industrielles, a donné naissance à une ère économique nouvelle.

Cependant la dynamique insufflée par ces changements a engendré des effets sociaux négatifs. En plus des préjudices portés à l'élevage, les aménagements ont été souvent mis en cause dans les processus de déboisement et de désertification des zones en question. Actuellement, il se pose un problème accru de déboisement dans le delta et les conditions climatiques ne favorisent guère la régénération rapide des ligneux. Par ailleurs, dans les stratégies de mise en valeur des terres, la mécanisation des cultures et l'irrigation sont souvent à l'origine de l'appauvrissement et de l'acidification des sols. Conséquence, beaucoup de terres sont devenues incultes, tandis que les rendements des cultures évoluent à la baisse sur les espaces cultivables.

D'une manière générale, le delta du fleuve Sénégal recèle un potentiel hydro-agricole immense mais, connaît des difficultés liées au déboisement et à l'approvisionnement en combustibles ligneux d'une part, et, d'autre part, à l'appauvrissement des sols.

C'est dans le cadre d'une stratégie de remède à tous ces problèmes que le programme biogaz dénommé SANIGAZ a été initié dans cette région. Le programme SANIGAZ qui englobe les villages de Kassack nord dans l'arrondissement de Ross Bethio, de Ndombo dans la commune de Richard Toll et de Mbane chef-lieu du dit arrondissement a été développé par la SAED avec l'appui technique et financier du GIE AGRIFORCE basé en France. Son objectif a été la valorisation énergétique des résidus agricoles, en l'occurrence la paille et le fumier des parcs de stabulation, par la méthanisation. Le biogaz produit était destiné à remplacer le bois de feu dans la cuisson des repas, tandis que le compost issu des fermenteurs servait à amender les sols

#### 1.1.5. Description de l'unité SANIGAZ

Les unités SANIGAZ sont, en fait, de petits digesteurs conçus à partir du modèle Transpaille dont le principe de fonctionnement a été décrit plus haut. En effet l'unité SANIGAZ (photos 1 et 2) a été modifiée et dimensionnée pour répondre aux besoins énergétiques, notamment la fourniture en gaz pour la cuisson des repas d'une famille rurale moyenne de 15 équivalents adultes (FARINET et SOW, 1993).

Les seules modifications concernent sa fabrication entièrement métallo-soudée, contrairement au Transpaille, où la fosse d'évacuation des effluents est en ciment. L'autre modification est que le vérin est directement monté sur le fond bombé de la cuve, ce qui résout les problèmes liés à la perte d'étanchéité rencontrés avec la presse-étoupe du Transpaille. L'unité SANIGAZ est constituée des éléments suivants :

- le fermenteur d'une capacité volumique de 3,5 m<sup>3</sup> (photo 1) plus ses accessoires que sont la pompe, le vérin hydraulique, et les kits de raccordement;

- le gazomètre en polyvinyle cyclique (PVC) de 2,5 m<sup>3</sup> de volume et son kit de raccordement (photo 3) ;

- le foyer amélioré équipé d'un brûleur à biogaz de 10 kw et raccordé à un compteur (photo 4) ;

- le réseau de distribution en métal reliant les trois éléments précédents. Ce réseau est enterré avec une pente de 2 % pour permettre l'écoulement des condensats vers le piège à eau.

En pratique, l'exploitation de l'unité SANIGAZ se résume en trois tâches fondamentales : le chargement, le déchargement (photo 5) et le maintien du niveau du liquide décrits avec le Transpaille.

La figure 8 est un schéma d'ensemble de l'unité SANIGAZ dans les villages visités.



Photo 1 :  
Unité SANGAZ  
Vue d'ensemble

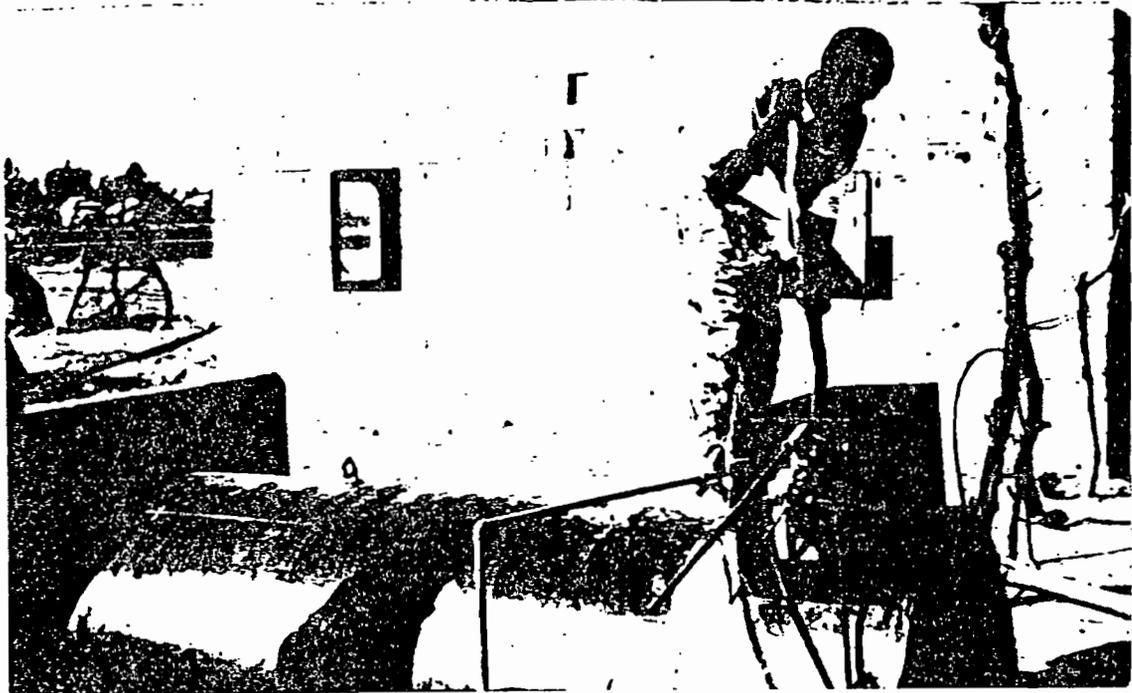


Photo 2 :  
Alimentation  
avec du fumier  
pailleux



Photo 3 :  
Gazomètre sous  
un abri

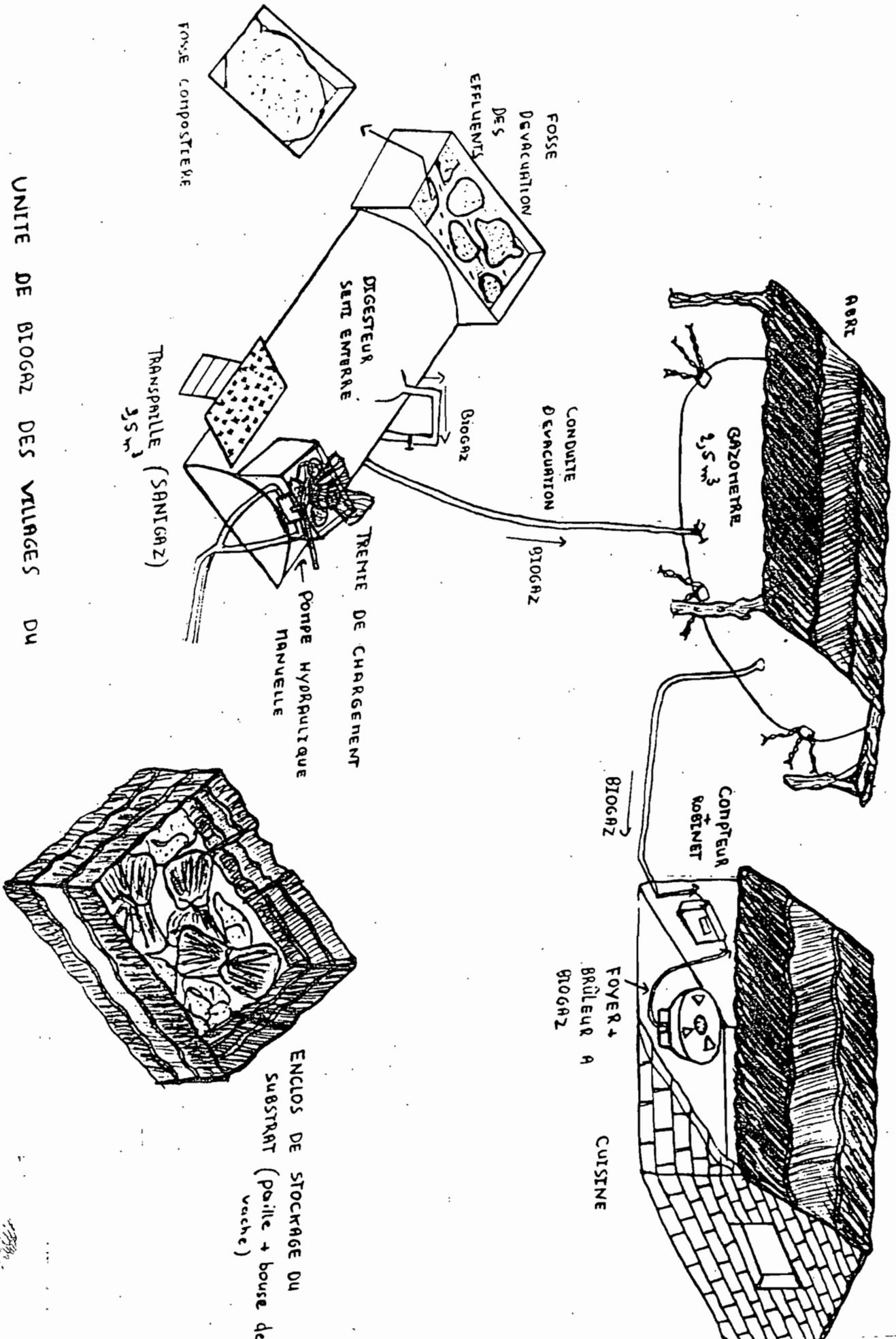


Photo 4 :  
Foyer amélioré muni de  
son brûleur à biogaz



Photo 5 : Evacuation  
des effluents pour le  
compostage

UNITE DE BIOGAZ DES VILLAGES DU  
DELTA DU FLEUVE SENEGAL



1980

## 1.2. La Haute Casamance

Née de la partition de l'ex Casamance, la région de Kolda, avec ses 21 011 km<sup>2</sup> (10,68% de territoire national), représente près des deux tiers de l'ancienne région sud ; c'était alors la partie que l'on appelait Moyenne Casamance qui correspond actuellement au département de Sédhiou et Haute Casamance qui englobe les départements de Vélingara et de Kolda. Les limites géographiques de la région naturelle de Kolda sont présentées à la carte 3.

### 1.2.1. Milieu physique

Le climat est de type soudano-guinéen caractérisé par une chaleur et une humidité assez élevées. Les pluies sont relativement abondantes. Les précipitations vont de 700 à 1 300 mm du nord au sud mais la moyenne est de 900 mm en Haute Casamance. La saison hivernale, marquée par des averses orageuses, va de juin à octobre (DIAO, 1991).

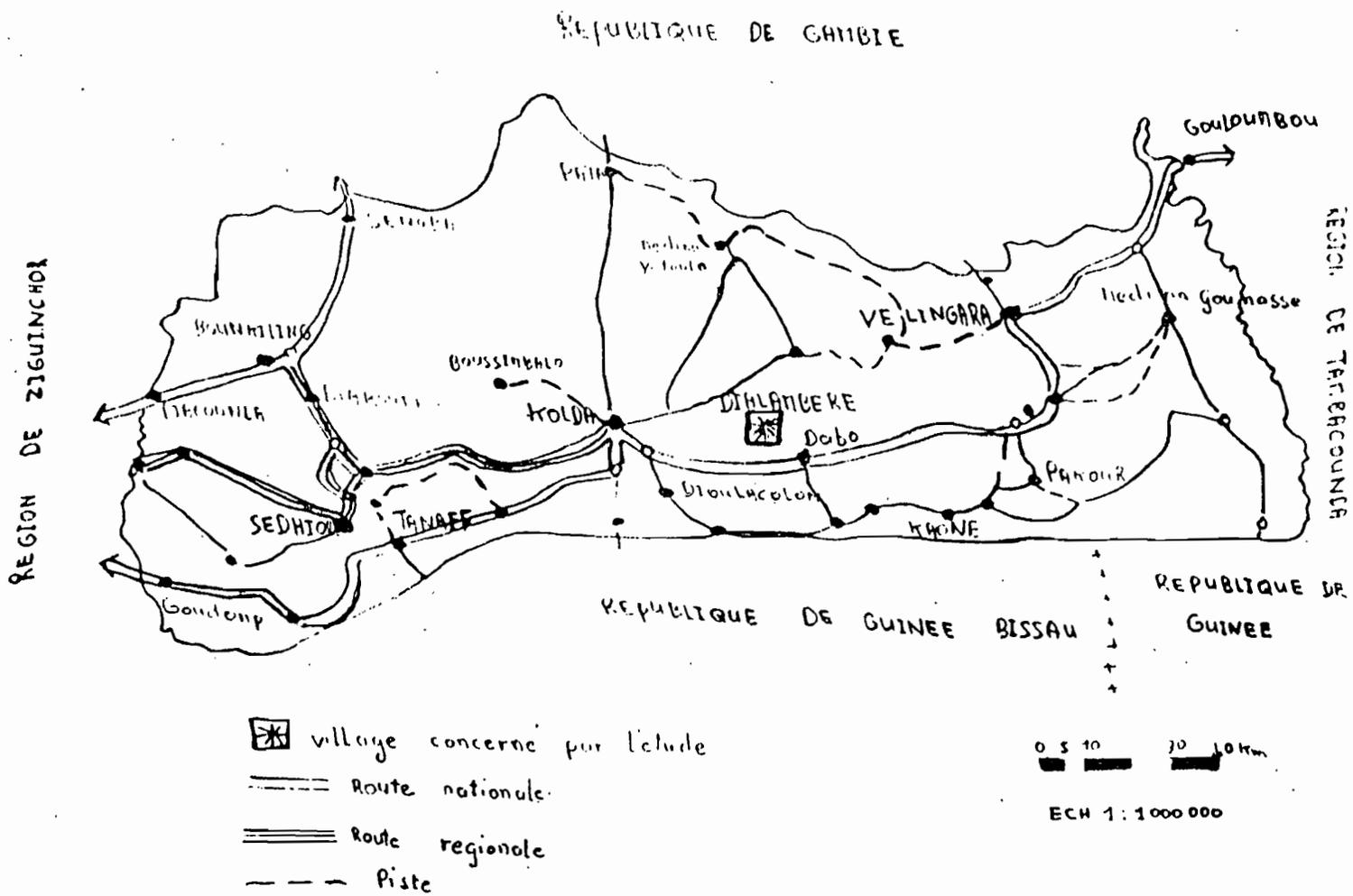
Les températures sont très élevées pendant 10 mois : de février à novembre. La moyenne annuelle est de 27,6°. Cependant les écarts thermiques entre le jour et la nuit sont assez élevés : de l'ordre de 7 à 10°C. Ceci a une incidence négative sur la production de biogaz car la durée d'activités des micro-organismes responsables de la fermentation méthanique reste limitée.

La végétation de type soudano-guinéen a subi beaucoup de dommages liés d'une part, à la mauvaise répartition des pluies de ces dix dernières années et, d'autre part, à l'action de l'homme avec les feux de brousse et la coupe anarchique de bois. Actuellement, y prédomine une savane boisée avec beaucoup de bambous africains : *Oxythenentera abyssinica*.

Les ressources en eau sont très importantes ; le réseau hydrologique est dense. On compte un cours d'eau principal : la Casamance et ses affluents. Il y a aussi la Kayanga et son affluent : l'Anambé. Pour les eaux souterraines, trois aquifères superposés sont présents (Atlas National du Sénégal, 1977).

De nombreux points d'eau plus ou moins permanents font de la Haute Casamance une terre de prédilection pour le bétail qui ne souffre que très modérément de soif pendant la saison sèche et pour la faune sauvage dont certaines espèces sont en voie de disparition dans le reste du Sénégal.

CARTE 3 Région de Felda (Haute et Moyenne Casamance)



### 1.2.2. Milieu humain

L'actuel « Fouladou » constitue la partie sénégalaise de l'ancien royaume du Gabou (BA, 1986). Il est composé de plusieurs groupes ethniques dont les peuls qui sont majoritaires et les Soninkés, localisés près de la frontière gambienne. Les autres groupes ethniques sont constitués essentiellement par les immigrants comme :

- les toucouleurs fortement concentrés dans le département de Vélingara, et particulièrement à Médina Gounasse ;
- les peulhs fouta venus de la Guinée Conakry ;
- les bissau-guinéens ;
- les wolofs.

Au dernier recensement général de 1988, la région de Kolda comptait 593 199 habitants dont 185 656 pour le seul département de Kolda, soit 31% de la population totale de la région. Ces chiffres ont montré un sous-peuplement. Mais compte tenu des proportions des sols inutilisables pour l'agriculture ou nécessitant de gros aménagements, ce sous-peuplement est à relativiser (SODEFITEX, 1980).

### 1.2.3. Cadre socio-économique et projet de biogaz

En Haute Casamance et dans le reste de la région de Kolda, l'élevage occupe la seconde place du secteur primaire après l'agriculture. Il est favorisé par les conditions climatiques, la richesse des parcours naturels et la longue expérience des éleveurs. Toutes les espèces connues dans le pays sont élevées dans la région, à l'exception des camelins. Selon un rapport de la Direction de l'Elevage, le seul département de Kolda (qui forme avec le département de Vélingara la Haute Casamance) comptait en 1993 211 570 taurins, 77 200 ovins, 82 900 caprins et 380 300 volailles (tableau 5).

Tableau 5 : Effectif du cheptel dans le département de Kolda

Bv	Ov	Cp	Pc	Eq	Asins	Volailles
211 570	77 200	82 900	8 400	30 010	11 060	380 300

Source : Direction de l'Elevage, 1993

Le bétail, qui du reste est trypanotolérant, a toujours constitué un moyen d'épargne mobilisable et de capitalisation au niveau de l'exploitation agricole.

Toutefois, il y a une tendance aujourd'hui vers le développement de systèmes semi-intensifs intégrés à travers les étables fumières et laitières initiées par la Société de Développement des Fibres Textiles (SODEFITEX) (1980) et le Centre de Recherche Zootechnique (CRZ) de Kolda. Ces actions de développement sont d'autant plus facilitées qu'il existe un bon potentiel en sous-produits agricoles mobilisables pour l'élevage. En effet, le développement des cultures de rente comme le coton et l'arachide dont les productions ont été respectivement estimées à 30 649 tonnes et 90 485 tonnes lors de la campagne 1993-1994, du maraîchage et de la culture fruitière avec une production de 45 000 tonnes lors de la même année, ont permis de disposer de quantités significatives de résidus pour alimenter le bétail stabulé. A l'opposé, les taurins très aptes à la culture attelée sont utilisés pour les travaux champêtres mais aussi pour la production de lait, de viande et de fumier pour l'amendement des sols.

Cependant, une part importante des résidus agricoles (paille, tiges, fumier, etc..) est perdue avec la divagation des animaux et le brûlage des parcelles à l'approche des cultures, et cette part des résidus qui sont gaspillés pourrait être valorisée en énergie de cuisson, de mouture, d'éclairage, entre autres utilisations, pour lutter contre le déboisement et améliorer les conditions de vie des populations rurales. C'est dans cette optique que le biogaz a été introduit en Haute Casamance comme dans beaucoup d'autres localités du pays.

#### **1.2.4. Unité de biogaz de Dialambéré**

Avec une population d'environ 860 habitants, Dialambéré est un village peuplé à majorité de peuls agropasteurs et situé dans la communauté rurale de Dabo du département de Kolda. Il possède un cheptel de bovins et ovins estimés à des milliers.

Un rapide survol de l'historique du biogaz à Dialambéré montre que l'introduction de cette technologie dans ce village découle des difficultés énergétiques et environnementales survenues au niveau d'un projet que le groupement des jeunes du dit village avait mis sur pied.

Grâce à l'appui financier de l'African Development Fondation (ADF), ce groupement avait développé, dans le cadre de ses activités socio-économiques, un projet intégré comprenant un atelier d'embouche bovine et ovine, un jardin destiné au maraîchage et à l'arboriculture avec 1 000 bananeraies, une case de

santé, une garderie d'enfant et un centre audio-visuel avec l'appui technique du C.E.R. de Dabo et de l'équipe de Recherche du CRZ de Kolda. Mais très vite, le projet s'est heurté à des difficultés énergétiques et d'apport nécessaire d'engrais, tant au niveau du jardin que dans les autres activités. Devant cette situation, le groupement devait trouver une solution rapide et conforme avec l'environnement de la région menacée par des cycles de sécheresse répétée. Ainsi, après plusieurs concertations avec des services spécialisés, notamment l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), les jeunes ont fini par initier un projet d'installation de biogaz-compost pour sa double fonction de production d'énergie et de compost engrais organique.

Le but du projet d'installation de biogaz était de permettre par l'emploi des résidus (déjections animales et les divers végétaux), de couvrir les besoins en énergie pour l'éclairage, la cuisson des aliments, le pompage d'eau, l'alimentation des appareils audio-visuel. Les résidus de fermentation constituaient un élément fertilisant des sols et favorisaient ainsi l'essor du maraîchage. Dès lors, la possibilité était offerte de passer d'une économie de subsistance vers une économie ouverte sur l'extérieur.

L'unité de biogaz de Dialambéré comprend :

- une étable fumière dont le produit en déjection animale sert à alimenter les fermenteurs (photo 6) ;

- un ensemble de quatre cuves en béton enterrées, de capacité volumique de 6,25 m<sup>3</sup> chacune (photo 7) et un gazomètre (photo 8) ;

- un groupe électrogène à essence adapté au biogaz comme source d'énergie avec une puissance de 9 à 10 CV (photo 9), sa consommation étant de 500 l de gaz par CV puissance et par heure ;

- deux fosses à compost.

L'étable qui disposait de 14 vaches et de leurs veaux en 1995, permettait de produire, entre autres, du fumier en quantité suffisante pour l'alimentation des fermenteurs. Ceux-ci au nombre de quatre fonctionnaient deux par deux de façon alternative afin de permettre une production continue de gaz. Tous les deux mois, deux cuves sont vidées puis chargées à nouveau avec du fumier frais immergé dans de l'eau. Le jus de la précédente fermentation est réutilisé afin d'éviter les gaspillages d'eau et d'accélérer la fermentation.

Les effluents sortis des digesteurs sont mis dans les fosses à compost et sont épandus, au bout de deux mois dans le potager du village (photo 10). Quant au biogaz, il est entièrement converti en électricité pour :

- l'éclairage des ruelles du village (photo 11) ;
- le fonctionnement du moulin à mil du village et,
- le fonctionnement de la pompe à eau utilisée au niveau du jardin maraîcher du village.

Il en est ainsi jusqu'à la saison des pluies (de juin à novembre) où la production de biogaz est suspendue du fait des travaux champêtres mais aussi du fait que les animaux de l'étable sont libérés.

A la fin de l'hivernage, au mois de novembre, les animaux sont à nouveau stabulés et la production de biogaz peut redémarrer après vérification de l'état de l'installation.

Le système de biogaz de Dialambéré fonctionne ainsi à peu près 6 mois sur 12, de janvier à juin.

A la différence donc des unités SANIGAZ des villages de Kassak nord, Mbane et Ndombo du delta du fleuve Sénégal, l'unité biogaz de Dialambéré en Haute Casamance est de type communautaire et fonctionne de manière discontinue.

La figure 9 représente une vue d'ensemble du système biogaz de Dialambéré.

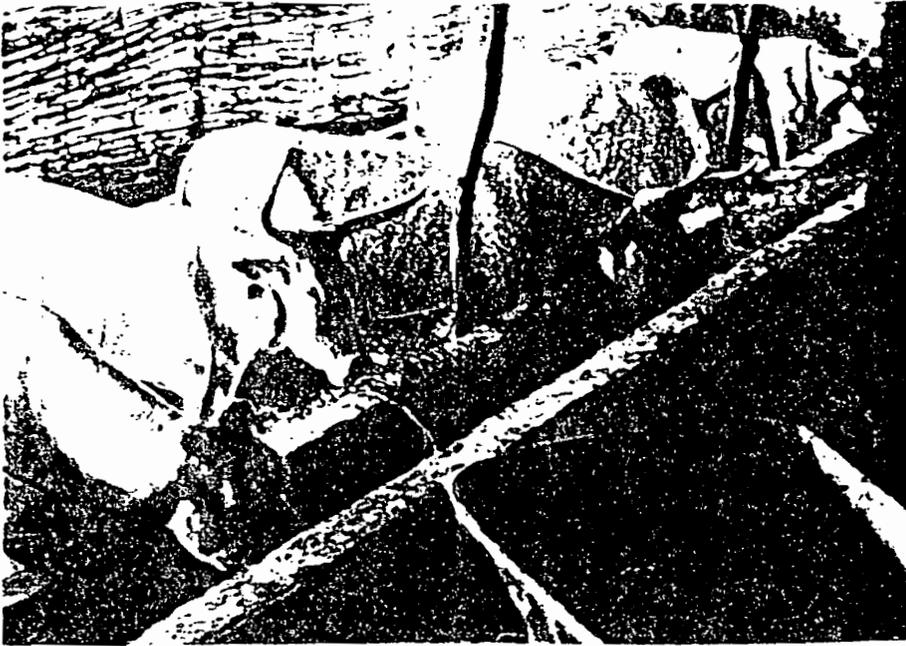


Photo 6 : Etable  
fumière couplée à  
l'installation de biogaz

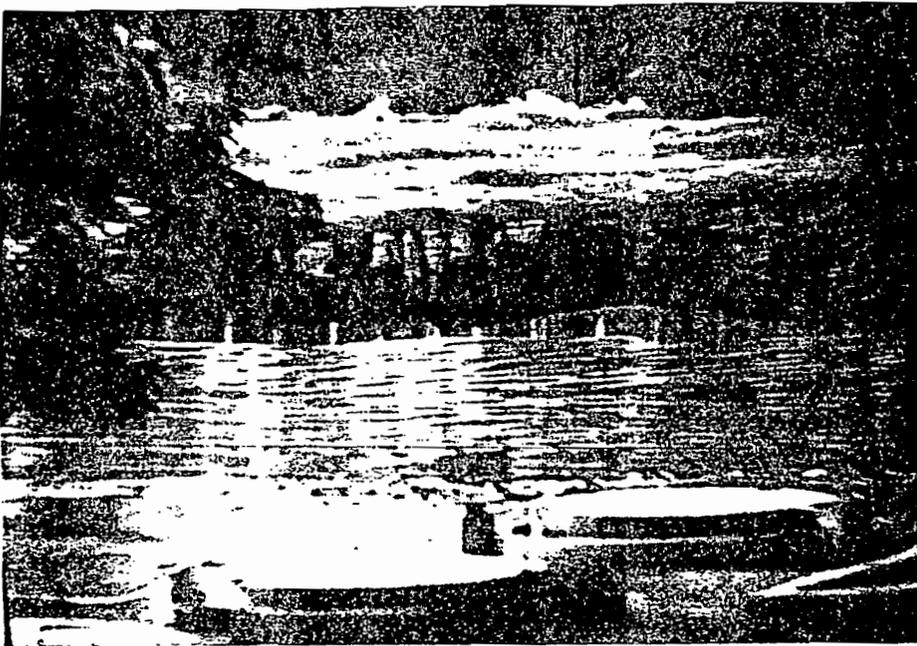


Photo 7 : Cuves de  
fermentation (en bas de  
la photo)

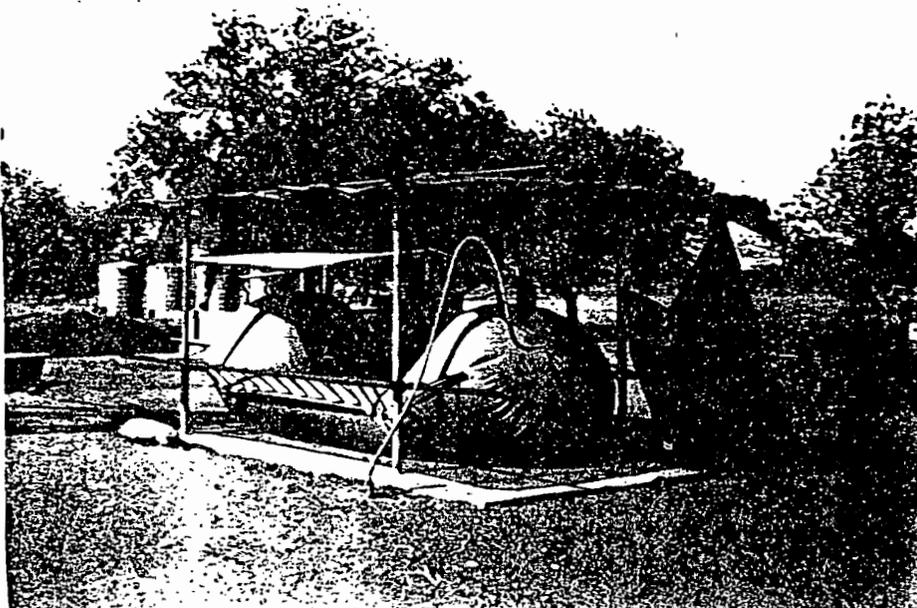


Photo 8 : Gazomètre

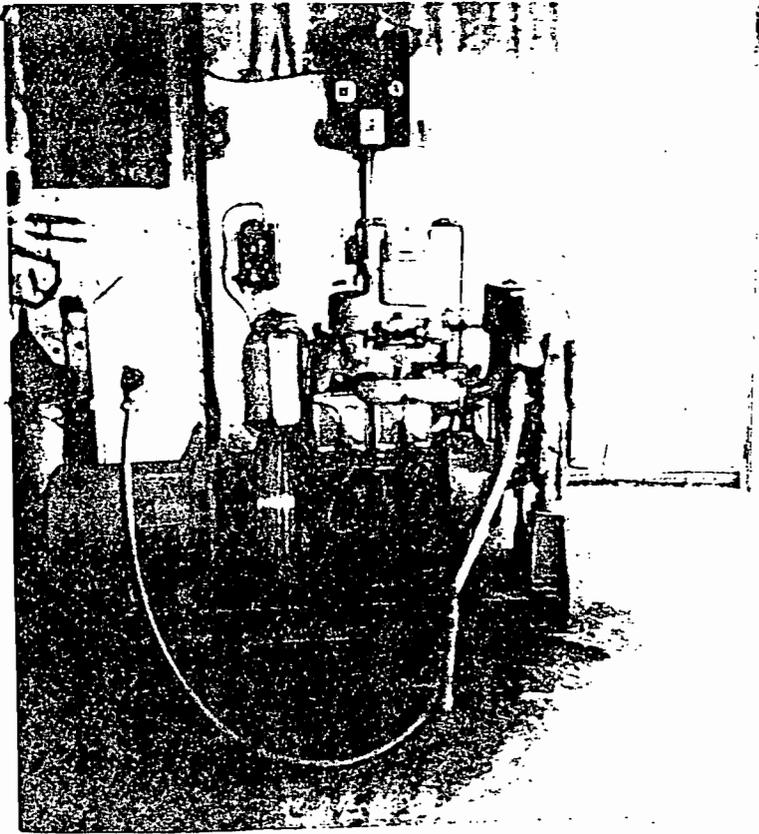


Photo 9 : Groupe électrogène



Photo 10 : Epandage de compost produit

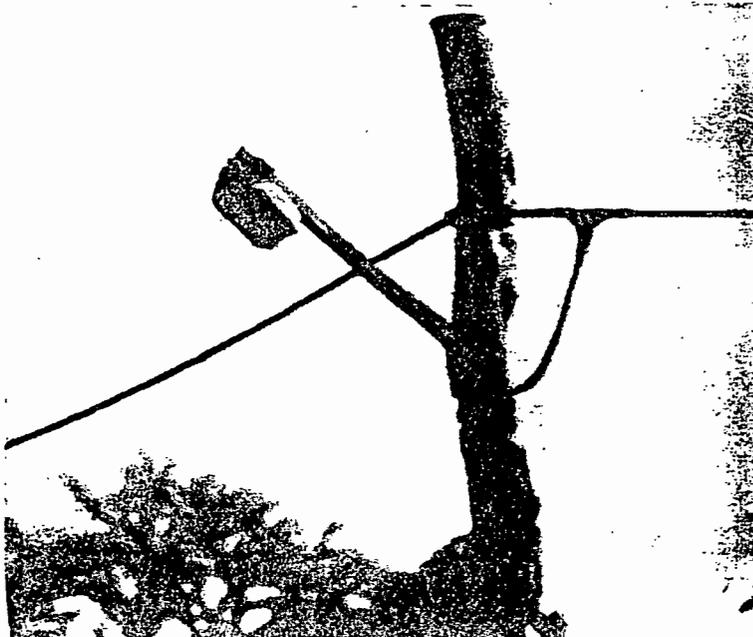
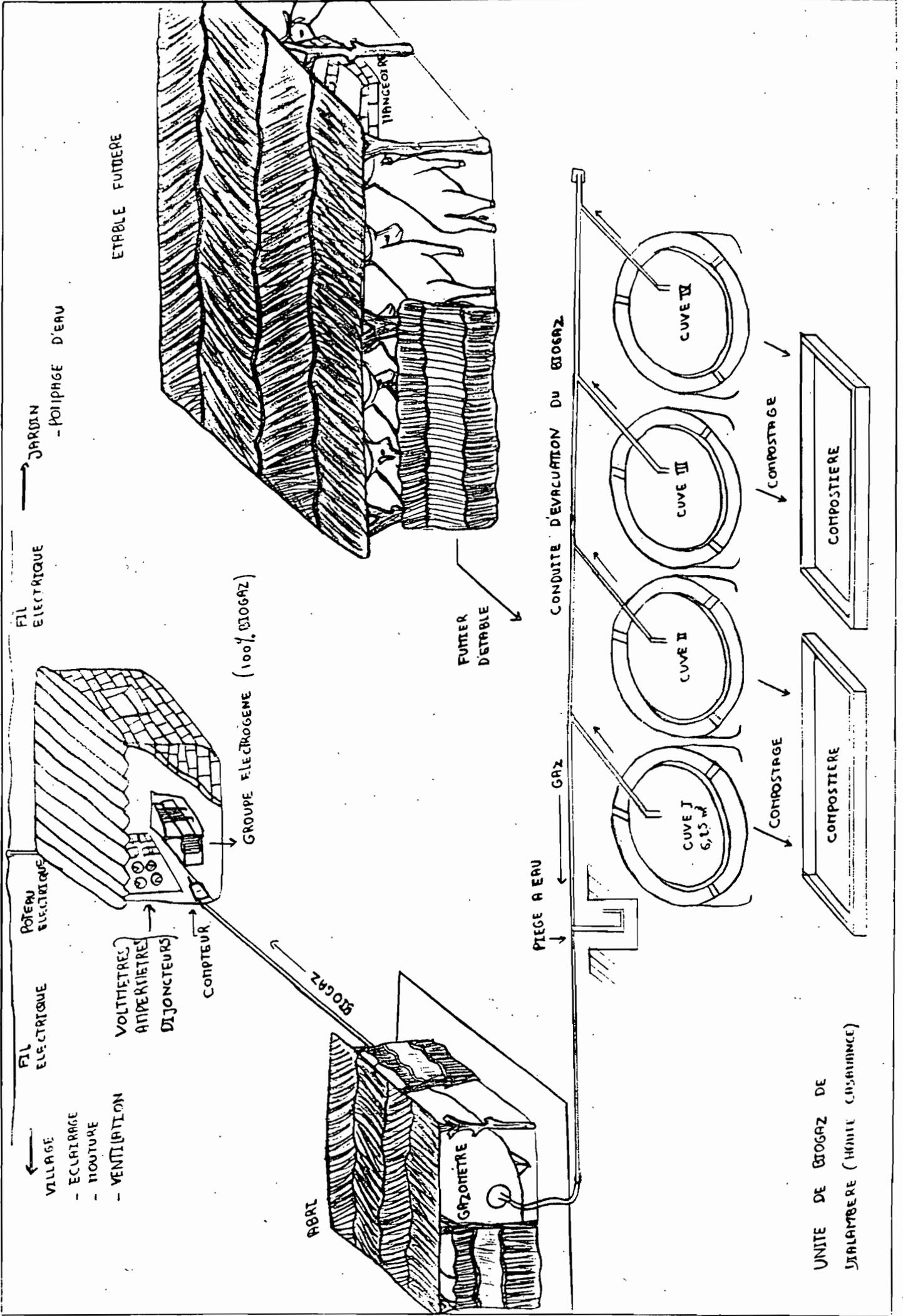


Photo 11 : Eclairage à partir du biogaz



UNITE DE BIOGAZ DE  
ITALAMBRE (HAUTE CORDONNE)

## **2. COLLECTE DE L'INFORMATION ET ANALYSE**

Les informations ont été recueillies de manière formelle et informelle à travers des enquêtes, des entretiens et des mesures qui ont été transcrits immédiatement sur les supports qui sont présentés en annexes 8 et 9. Trois types de support ont été utilisés. Il s'agit du questionnaire d'enquête, du guide d'entretien et de la fiche de production.

### **2.1. Enquêtes au niveau des ménages**

Au niveau du delta du Fleuve Sénégal, du fait du caractère individuel des installations de biogaz et du fait du nombre limité (10) de ces installations, seules les femmes concernées par le projet ont été interrogées. Au niveau de Dialambéré par contre, où le système de biogaz est communautaire, un échantillon raisonné de 44 femmes sur 144 dans le village, soit 30 % des femmes adultes, a été retenu.

#### **2.1.1. Outils et déroulement des enquêtes**

##### **2.1.1.1. Le questionnaire sur les ménages**

Les enquêtes ont été menées sur la base d'un questionnaire qui a fait l'objet de tests de vérification de cohérence et de validation. Ces enquêtes ont eu pour cible un échantillon de femmes présentes dans les villages déjà cités.

Les enquêtes ont été menées en langue poular aussi bien dans le delta qu'à Dialambéré. Ce choix a nécessité l'aide d'un interprète. Les informations recherchées ont porté sur la détermination des activités domestiques et agricoles de chaque femme pour évaluer les gains de temps que pourrait générer l'usage du biogaz.

Egalement, les opinions personnelles ont été recueillies sur le biogaz, aussi bien ses avantages et ses inconvénients, que les utilisations souhaitées. Le questionnaire détaillé est présenté en annexe 8.

##### **2.1.1.2. Déroulement des enquêtes**

Dans le delta, les enquêtes ont duré 4 mois : de novembre 94 à février 95. Elles ont coïncidé avec la moisson et la commercialisation du riz. Elles ont été accompagnées par une révision préalable de toutes les installations qui avaient été plus ou moins délaissées par les utilisateurs.

Dans les trois villages ciblés, les enquêtes de même que les autres opérations ont été facilitées par les moyens techniques que la SAED de Ross Béthio a bien voulu mettre à notre disposition.

A Dialambéré, les enquêtes ont été étalées dans le temps, d'avril à juin 1995, afin de pouvoir suivre les différents stades de la production de gaz et donc d'électricité.

## **2.2. Entretiens au niveau des villages**

Les entretiens organisés au niveau de chaque village ont permis de contacter un nombre plus important de femmes et d'hommes de tous âges. La synthèse des informations a donné l'occasion de cerner les tendances et les motivations au regard des projets de biogaz. Au cours des entretiens, les informations recueillies ont porté en gros sur l'inventaire des sources d'énergie traditionnelles et l'état actuel de l'approvisionnement, les impressions concernant la nouvelle technologie biogaz/compost, les utilisations, les problèmes rencontrés au niveau de la manipulation, l'entretien des unités et enfin leurs effets sur l'environnement.

## **2.3. Mesures**

Les enquêtes de terrain ont été complétées par l'évaluation quantitative de certaines variables importantes pour l'évaluation de la filière biogaz.

### *↳ Au niveau du delta*

Les mesures ont porté sur les consommations journalières de bois de feu et de charbon de bois dans des familles choisies au hasard dans le village de Kassak nord et ne disposant pas d'installations de biogaz d'une part, et, d'autre part, sur le temps et le coût de la préparation des repas avec les combustibles classiques, puis avec le biogaz chez d'autres familles disposant elles d'une unité de biogaz.

### *↳ A Dialambéré*

Au niveau de ce village, l'accent a été porté sur la détermination d'une corrélation entre la production de fumier fermentescible par les vaches de l'étable et la production de gaz. Les mesures ont ainsi porté d'une part, sur l'évaluation des quantités journalières de bouse produites par 14 vaches et leurs veaux en stabulation, sur une période de 8 jours, et, d'autre part, sur la production de gaz durant les 8 semaines qu'a duré le cycle de production de biogaz. Au cours des investigations, il a été prévu de réaliser deux cycles de productions de 8 semaines chacun avec les 4 cuves de fermentation. Cependant, seules les mesures du deuxième cycle de production ont été conservées à cause

de la détérioration du gazomètre qui survint pendant la première phase de production et qui entraîna des pertes de gaz trop importantes.

Pour le système de gaz de Dialambéré, les investigations ont porté également sur la détermination de la composition chimique du substrat (fumier pailleux) avant et après fermentation méthanique, notamment ses éléments potassium (K), azote (N), phosphore (P) ainsi que le pH et le taux de matière organique, afin de discuter leurs valeurs fertilisantes.

Au niveau des différents sites, les matériels de mesures utilisés ont été :

- pour les pesées : des cordes, des sacs en plastique, une pelle, un peson de 50 kg muni de crochets ;

- pour la mesure de la production de biogaz : un compteur et du papier pH pour vérifier l'acidité du jus des fermenteurs.

#### **2.4. Analyse des données**

Après avoir dépouillé et saisi le questionnaire, l'analyse qualitative des données a été réalisée en faisant appel aux statistiques descriptives. Les variables susceptibles d'une exploitation utile ont été retenues. Les analyses résument les informations suivant les deux principaux sites qui ont été étudiés.

Les estimations de la taille des familles ont été faites selon les coefficients suivants :

- 1 homme = 1 équivalent adulte
- 1 femme = 1 équivalent adulte
- 1 enfant de moins de 14 ans = 0,5 équivalent adulte

Quant à la main-d'oeuvre, son coût a été évalué à 300 F CFA l'heure. Ce coût correspond à celui de la main-d'oeuvre agricole au niveau des sites.

Toutes les données ont été saisies et analysées avec le logiciel *Statistical Package for the Social Sciences / Personal Computer + (SPSS / PC+)*.

En somme, la méthodologie a été adaptée aux objets de l'étude et aux moyens disponibles. Toutefois, certaines limites ont été relevées au cours de l'étude.

## 2.5. Limites

L'étude révèle des limites au niveau de la collecte et de l'analyse des informations.

### *Limites de la collecte des informations*

A cause du caractère obsolète des installations se traduisant quelquefois par un arrêt complet de fonctionnement, beaucoup de retard a été observé dans la phase expérimentale. Par ailleurs, le manque d'appareils adéquats permettant d'évaluer la composition du biogaz produit, et donc l'état de pureté de celui-ci, a limité les possibilités de comparer le biogaz produit au niveau des sites étudiés à celui produit ailleurs. Enfin, du fait de la panne observée sur le moulin à mil et la motopompe à eau du village de Dialambéré, il a été impossible d'estimer les consommations journalières en biogaz de ces appareils.

### *Limite de l'analyse des informations et hypothèses retenues*

Certaines variables telles que le fumier produit au niveau de l'étable, la force de travail et la durée des travaux domestiques des femmes n'ont pas de valeur marchande. A cet effet, la valeur du fumier a été estimée en équivalent monétaire sur la base de son équivalent engrais chimique (FALL, et FAYE, 1992). Ainsi, l'équivalent azote d'une tonne de fumier d'étable est fixé à 82 Kg de NPK (14/7/7).

Quant aux coûts de la force et du temps que durent les travaux domestiques, ils ont été rattachés au coût de la main-d'oeuvre agricole fixée à 300 F CFA au niveau des sites.

Malgré les limites de la méthodologie préétablie, les informations collectées ont pu être analysées pour aboutir à des résultats probants. Ces résultats ont concerné les activités agricoles des ménages, leur consommation en énergie domestique d'une part, et d'autre part les besoins en biogaz de ces ménages, le coût du biogaz par rapport aux combustibles classiques et les contraintes liées à l'intégration du biogaz au niveau des ménages.

## CHAPITRE II

### PRESENTATION DES RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les possibilités de développement de la filière biogaz/compost ont été examinées dans deux zones écologiques différentes mais qui présentent des caractères communs liés aux problèmes d'ordre énergétique.

Dans les différents villages, les investigations ont porté sur les activités agricoles des ménages, l'approvisionnement en énergie domestique, la gestion des installations de biogaz et enfin les interrelations entre l'élevage et les unités de biogaz.

#### 1. ACTIVITES AGRICOLES

Les activités agricoles concernent aussi bien les cultures maraîchères et céréalières que l'élevage.

##### 1.1. Cultures

Parmi les cultures pratiquées par les femmes enquêtées, la riziculture occupe une place privilégiée aussi bien au niveau des villages du delta qu'en Haute Casamance. Sur un échantillon de 94 femmes, 81,5 % de l'effectif disposent d'une parcelle de riz (tableau 6).

Tableau 6 : Prévalence de la riziculture chez les femmes enquêtées

Rubrique	Nombre	%
Femmes pratiquantes	44	81,5
Femmes non pratiquantes	10	18,5
<b>TOTAL</b>	<b>54</b>	<b>100</b>

Dans les villages de Kassak nord, Ndombo et Mbane, le riz constitue une culture de rente. Par contre, chez les peuls de la Haute Casamance (Fouiadou),

la riziculture revêt un caractère plutôt culturel et le riz produit est surtout autoconsommé.

D'autres cultures comme le sorgho, le petit mil et le maïs sont également pratiquées par les femmes mais dans une proportion moindre estimée à 14,8 % (tableau 7).

Tableau 7 : Part des autres cultures dans les activités vivrières des femmes

Rubriques	Nombre	%
Femmes pratiquantes	8	14,8
Femmes non pratiquantes	44	81,5
Femmes pratiquantes de façon irrégulière	2	3,7
<b>TOTAL</b>	<b>54</b>	<b>100</b>

L'arachide, par contre, est très cultivée au sud. A Dialambéré, elle concerne 51,9 % des femmes. Quant aux cultures maraîchères, elles se sont développées avec l'avènement des petits projets communautaires villageois financés par les ONG. 29,6 % des femmes soit un peu plus du quart de l'échantillon font ainsi du maraîchage (tableau 8)

Tableau 8 : Part du maraîchage dans les activités des femmes

Rubriques	Nombre	%
Femmes pratiquantes	16	29,6
Femmes non pratiquantes	37	68,5
Femmes pratiquantes de façon irrégulière	1	1,9
<b>TOTAL</b>	<b>54</b>	<b>100</b>

Ces différentes cultures procurent des quantités substantielles de résidus qui sont utilisés à diverses fins, comme aliments de bétail ou matériaux de construction entre autres.

## 1.2. Elevage

L'élevage revêt des caractères différents selon les sites.

En Haute Casamance, l'élevage est intégré à l'agriculture à travers la pratique de la culture attelée et l'amendement des sols à travers les déjections animales. Dans le delta, l'intégration agriculture-élevage fait souvent défaut.

Mais l'élevage tel qu'il est pratiqué par les femmes revêt un tout autre aspect. Il est pratiqué certes par 75,9 % des femmes enquêtées (fig. 10) mais il est de faible envergure.

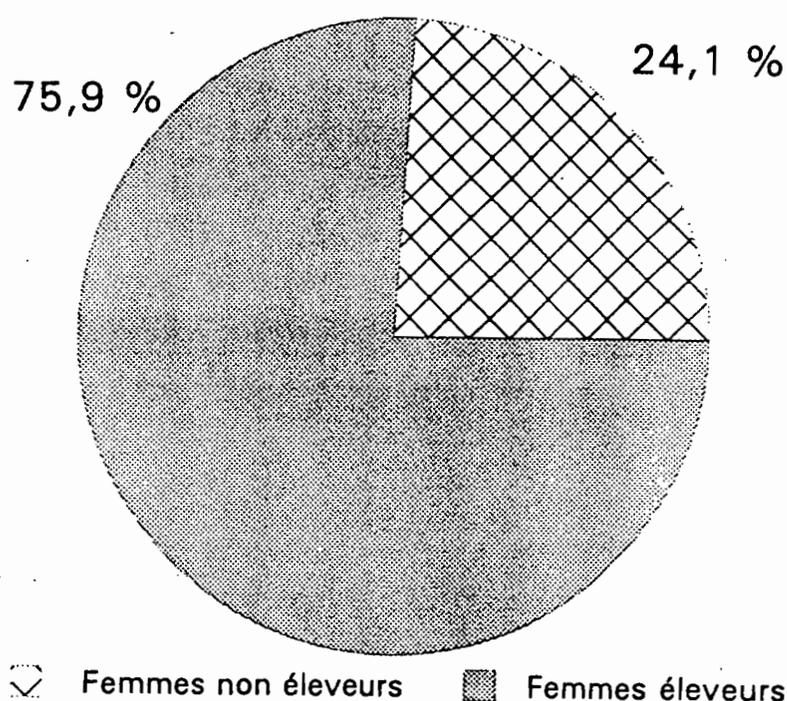


Figure 10 : Présence des femmes éleveurs dans l'échantillon

En dehors de la volaille, le cheptel ne dépasse pas 40 têtes par femme par village, et il concerne surtout les petites espèces tels que les ovins, caprins et volailles (annexe 7). Les bovins, chevaux et ânes ne sont pratiquement pas élevés par les femmes. Les moyennes obtenues sont de 1,18 bovins par femme, 0,06 cheval et 0,06 âne par femme enquêtée.

Dans les villages de Kassak nord, Mbane et Ndombo dans le delta, l'essentiel de l'élevage est centré sur l'aviculture qui occupe 5 femmes sur 10.

### 1.3. Résidus agricoles

Les résidus agricoles concernent aussi bien les restes des cultures que le fumier produit au niveau des carrés.

#### 1.3.1. Disponibilités et utilisations

En fonction des activités agricoles, il a été tenté d'évaluer les disponibilités en résidus à partir de leurs taux de ramassage et de brûlis. Ainsi, il a été observé que 70,4 % des femmes cultivatrices utilisent les sous-produits représentés par la paille, les tiges de mil, de maïs, de sorgho, les feuilles et les sons. 83,3 % des femmes enquêtées utilisent le fumier issu de leur élevage pour amender les sols (fig. 11).

L'essentiel des restes de culture est utilisé comme fourrage en saison sèche.

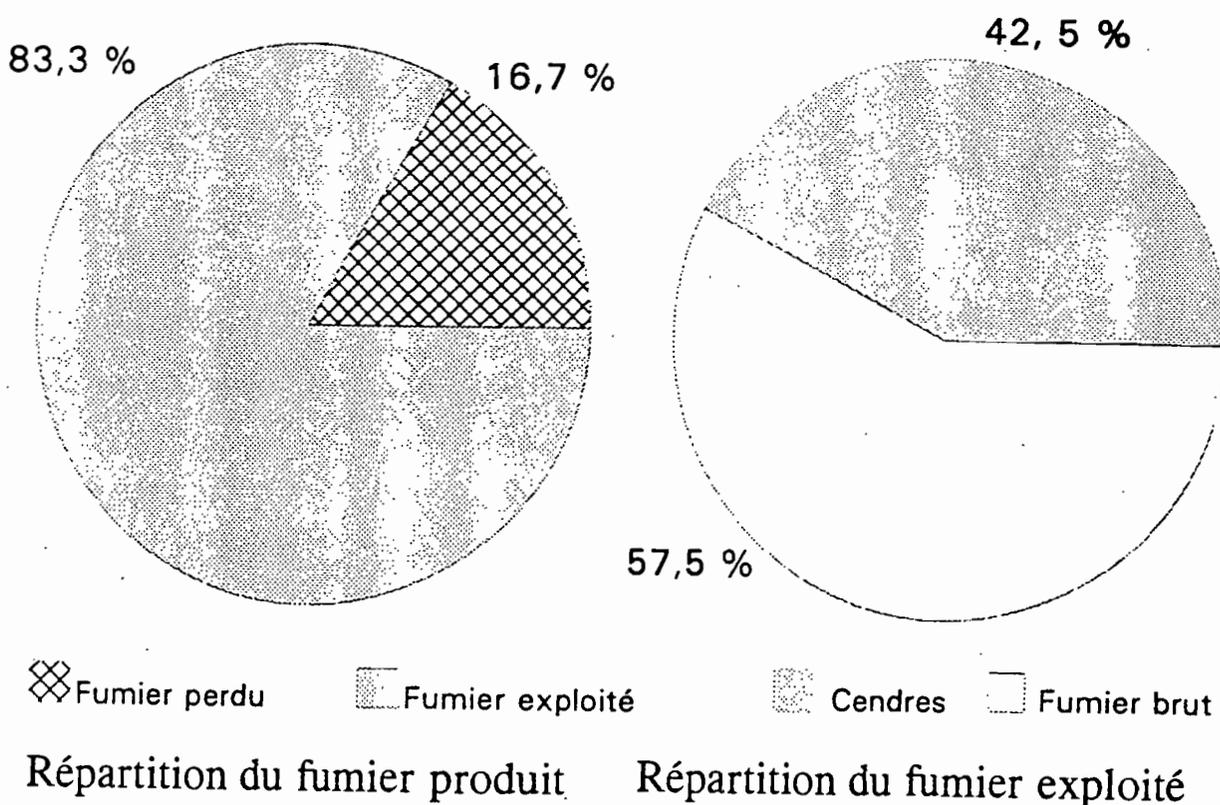


Figure 11 : Utilisation du fumier

Toutefois, il existe une partie des résidus de culture qui est utilisée par les femmes pour la construction d'habitats et la confection de lits et de paillasses. Le surplus de fourrage produit, dans le cas de la fane d'arachide, est vendu essentiellement à des commerçants revendeurs (fig. 12).

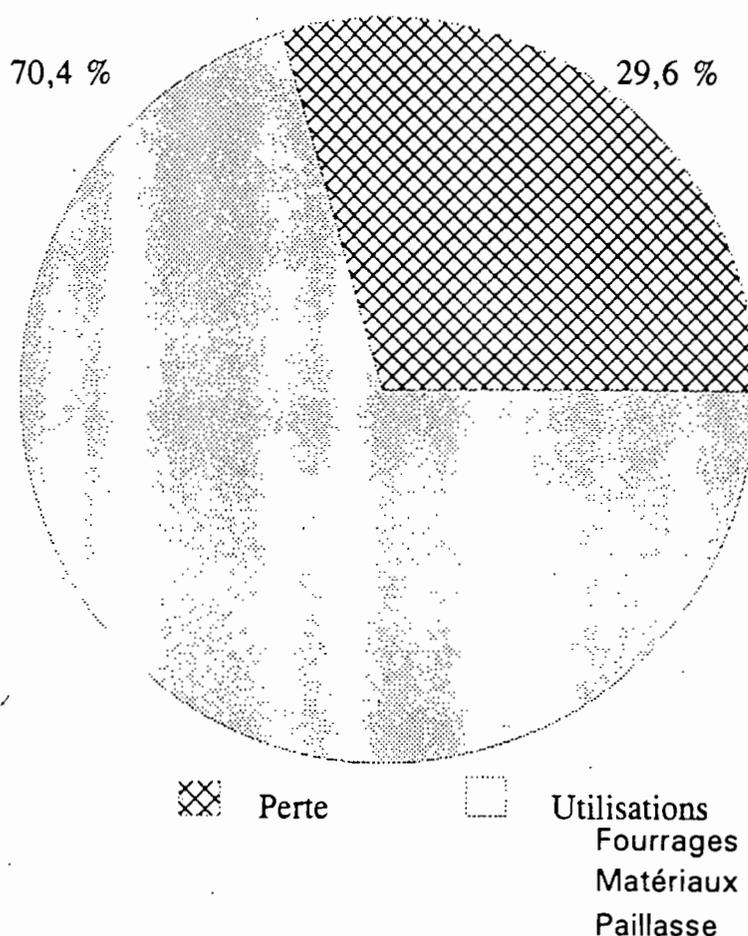


Figure 12 : Utilisations des résidus agricoles

Quant au fumier produit par les animaux du carré, il était soit épandu directement sur les cultures : le taux d'épandage étant de 57,5 % soit réduit d'abord en cendres avant d'être épandu sur les cultures : le taux d'incinération étant de 42,5 %.

En somme, 29,6 % des femmes qui cultivent la terre et 16,7 % des femmes qui font l'élevage n'utilisent pas leurs résidus. Ces taux représentent les disponibilités en résidus. Dans le cadre des enquêtes, ces disponibilités ont correspondu aux quantités de pailles et tiges et feuilles non collectées, brûlées ou piétinées par les animaux et de fumier produit par le bétail en divagation et des petits élevages entretenus par les femmes.

### **1.3.2. Potentialités pour le biogaz**

En dehors des disponibilités en résidus agricoles déjà citées, il existe un potentiel résiduel inexploité et qui pourrait servir à alimenter les unités de biogaz. Ce potentiel concerne les fèces des animaux en divagation dans le village d'une part, et, d'autre part, la paille de riz qui est peu appréciée par les animaux et qui est généralement brûlée à l'approche des cultures. Il est possible à partir de ces différents résidus de développer la filière biogaz dans les villages.

Par ailleurs, les femmes qui sont sûrement impliquées dans la gestion des déchets des petits ruminants et des animaux de trait pourraient constituer un potentiel humain non négligeable pour le développement du biogaz .

Dans le village de Dialambéré, les opportunités ont permis de mesurer la quantité de bouse de vache produite par des vaches laitières en stabulation dans une étable fumièrre cimentée. Les résultats des mesures sont donnés dans le tableau 9

Les mesures ont été effectuées après curage et nettoyage de l'étable. Tous les matins, les quantités de bouse de vache produits étaient mesurées à l'aide d'un peson de 60 kg et de sac en plastique servant de tares.

Tableau 9 : Production de bouse de vache : site étable de Dialambéré

Date	Effectif des vaches	Production kg/j	Production moyenne/tête/j
20.03.1995	14	68,6	4,9
25.03.1995	9	50,4	5,6
08.04.1995	5	16,0	3,2
15.04.1995	9	37,8	4,2
02.05.1995	5	17,5	3,5
10.05.1995	14	72,8	5,2
17.05.1995	14	54,6	3,9
28.05.1995	14	65,8	4,7

Les 8 pesées effectuées sur un effectif total de 84 unités ont donné 383,5 kg de bouse de vache, soit une moyenne par pesée de 47,94 kg et un effectif journalier moyen de 11 vaches.

La production moyenne par tête a été de 4,4 kg de bouse par jour avec un écart-type de 0,84 kg.

Au bout d'une année, la production totale de fumier a été estimée à 22,176 tonnes. Ainsi, si la stabulation est bien faite, le besoin en fumier pour l'alimentation des fermenteurs peut être entièrement couvert et un excédent de 18 tonnes pourrait être récupéré et exploité à d'autres fins.

Dans les villages ciblés du delta comme dans celui de Dialambéré en Haute Casamance, l'agriculture est au centre des activités des femmes. Cette agriculture dominée par la riziculture et l'élevage des petits ruminants et l'aviculture, génère des quantités non négligeables de résidus. La valorisation énergétique de tels résidus permettrait de couvrir une partie des besoins énergétiques de ces villages.

## **2. SOURCES D'ENERGIE**

Dans les ménages ciblés, les enquêtes ont permis de déterminer les sources d'énergie domestique, les modalités de l'approvisionnement ainsi que les coûts monétaires de ces différentes sources d'énergie.

## **2.1. Energie pour la cuisson**

A Dialambéré, le seul combustible utilisé est le bois de feu. Il s'agit là de bois de défriche et de bois mort constitués en majorité de Combraetaceae. Au nord par contre, dans les villages de Kassak nord, Ndombo et Mbane, les sources d'énergie sont plus diversifiées. Les femmes utilisent pour la cuisson des fagots de bois de défriche et de bois vert, du charbon de bois, quelquefois du butane et du biogaz.

Il faut noter au passage que le village de Mbane constitue une des localités du Sénégal réputées dans la production et la commercialisation du charbon de bois.

## **2.2. Energie pour l'éclairage**

Les ménages enquêtés utilisent des lampes à pétrole (lampes tempête), des pots à pétrole, des fagots de bois et quelques rares fois des lampes torches.

Les pots à pétrole qui sont du reste les plus utilisés, sont faits à partir de boîtes de conserve vides récupérées qu'il faut remplir avec du pétrole et y plonger l'extrémité d'une mèche tandis que l'autre extrémité est allumée.

## **2.3. Modalités de l'approvisionnement et coût**

Dans les villages du delta enquêtés, le bois de feu, le charbon de bois ainsi que le pétrole lampant sont achetés. Tandis qu'à Dialambéré, n'est généralement utilisé que le bois consommé et ramassé en brousse.

Ainsi, trois modalités d'approvisionnement ont été observés : l'achat, le ramassage et le don.

Au niveau des villages de Kassak nord et Ndombo, le bois est acheté en gros du fait de l'éloignement des lieux de collecte. L'unité de vente est constituée par la charge d'une charrette asine d'environ 100 kg vendue entre 3 000 et 3 500 F CFA suivant la période de l'année. Quant au charbon, il est vendu soit par sac de 50 kg au prix de 1 250 F CFA le sac soit par kilo au prix de 30 à 40 F CFA.

Au niveau de Dialambéré, le bois utilisé pour la cuisine est ramassé par les femmes en brousse, dans les bois de village ou au niveau des parcelles familiales en friche. Le bois ramassé est d'abord stocké sur place en meule.

Ensuite, au bout de 3 semaines, la femme part en brousse pour s'en approvisionner tous les matins ou tous les soirs. Cette pratique est appelée « *Beteenoyate* » en poular.

Les dons concernent uniquement des installations de biogaz qui sont SANIGAZ dans les villages du delta. Toutefois, la production de gaz requiert un temps de préparation des digesteurs, leur alimentation en substrat et en eau. Ce temps de préparation a un coût monétaire.

#### **2.4. Estimation des besoins en bois et en biogaz**

Les besoins en bois et en biogaz ont été évalués chez une famille avec une taille de 15 équivalents adultes qui a constitué la famille standard utilisée dans cette étude. Le choix a été porté sur les besoins en énergie pour la cuisson et l'éclairage.

##### **2.4.1. Besoins pour la cuisson**

Les consommations de bois et de biogaz ont été mesurées chez 10 familles de taille différente au niveau du delta. Les résultats sont donnés dans le tableau 10.

A partir des résultats obtenus, il a été possible de tracer les courbes de consommation de bois et de biogaz en fonction de la taille de la famille (fig. 13).

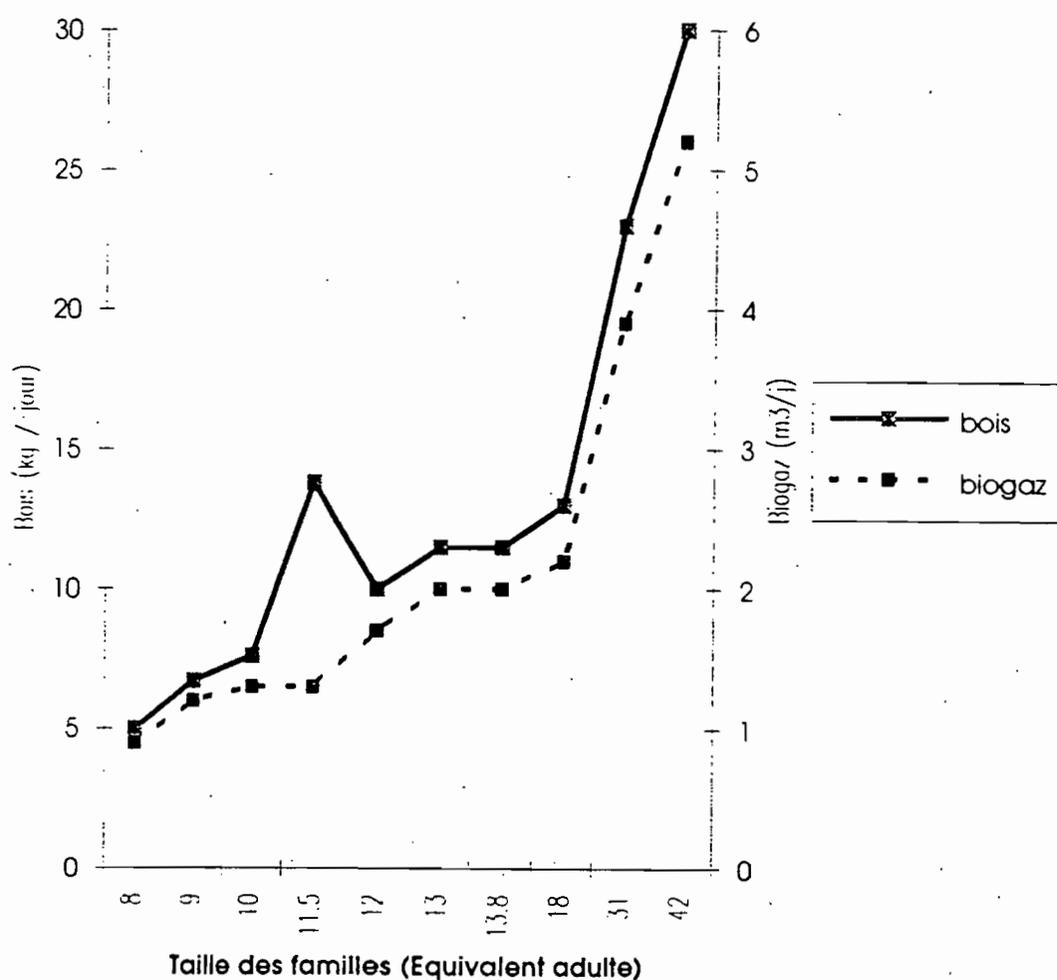
Le tracé des courbes a été fait à partir de la détermination de leurs équations de régression. Ces équations sont de la forme

$y = ax + b$ ,  $y$  correspondant à la variable consommation et  $x$  à la variable taille de la famille.

Pour le bois de feu, l'équation a été de  $y = 0,68x + 1,8$  et pour le biogaz de  $y = 0,12x + 0,15$ .

Tableau 10 : Besoins en bois et en biogaz en fonction de la taille des familles

Famille	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Taille en équivalent adulte	8	9	10	11,5	12	13	13,8	18	31	42
Bois kg/j	5	6,7	7,6	13,8	10	11,5	11,5	13	23	30
Biogaz m <sup>3</sup> /j	0,9	1,2	1,3	1,3	1,7	2	2	2,2	3,9	5,2

Figure 13 : Evolution de la consommation de bois et de biogaz en fonction de la taille des familles

Le calcul des besoins pour la famille standard de 15 équivalents adultes a donné :

- pour le bois 12 kg par jour soit 0,8 kg / équivalent adulte / j
- pour le biogaz 1,95 m<sup>3</sup> équivalent adulte / j.

Ces besoins peuvent être retenus pour dimensionner les fermenteurs.

Il faut souligner que la première phase d'évaluation du projet SANIGAZ dans le delta entreprise par la SAED l'a conduite à estimer les besoins en biogaz d'une famille standard de 15 équivalents adultes à 1,8 m<sup>3</sup> / j (FARINET et SOW, 1993).

Il y a donc une différence entre la valeur trouvée par la SAED qui a été de 1,8 m<sup>3</sup> / j et celle qui a été obtenue au cours de cette étude qui a été de 1,95 voire 2 m<sup>3</sup> / j. Cette différence traduit simplement les différences de précision des mesures. D'où l'intérêt qu'il y a dans le surdimensionnement des digesteurs pour faire face aux besoins énergétiques des familles trop souvent élastiques.

#### 2.4.2. Besoins pour l'éclairage

Les besoins en biogaz pour l'éclairage ont été extrapolés du fait de l'absence dans les sites de lampes à gaz. A partir de la consommation de pétrole chez 7 familles encadrées (tableau 11), les besoins en pétrole et en biogaz ont été estimés pour la famille standard. L'estimation des besoins en biogaz s'est faite par le biais du système de conversion fixé par ENDA, selon lequel 1 m<sup>3</sup> de biogaz équivaut à 0,62 l de pétrole lampant (ENDA-GRET, 1981).

Tableau 11 : Estimation des besoins en pétrole des 7 familles

Famille	1	2	3	4	5	6	7
Taille équiv. adulte	8	9	10	12	13	13,5	31
Pétrole l/j	0,96	2,70	0,40	1,80	3,25	1,66	3,72

Comme pour l'estimation des besoins pour la cuisson, la courbe d'évolution de la consommation de pétrole a été tracée (fig. 14) après détermination de son équation de régression qui a été de  $y = 0,1 x + 0,7$ ,  $y$  mesurant la consommation de pétrole et  $x$  la taille de la famille en question.

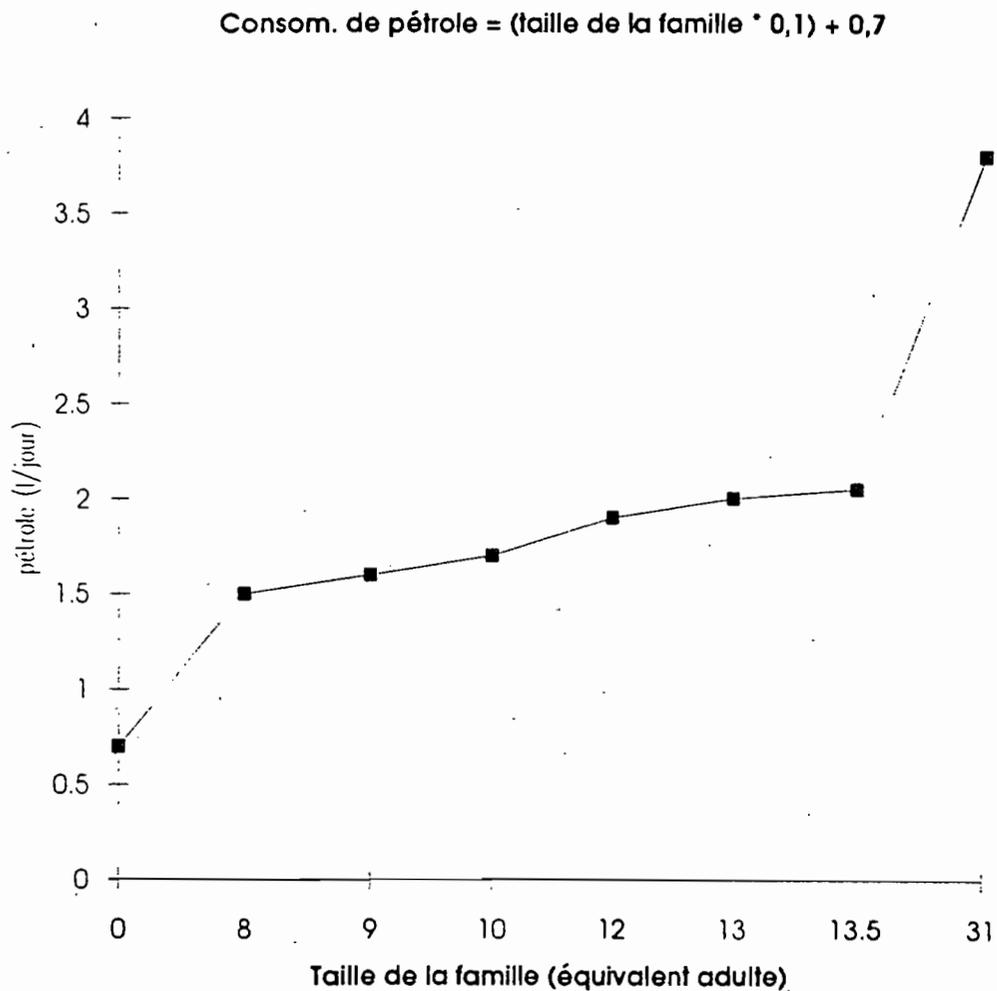


Figure 14 : Evolution de la consommation de pétrole en fonction de la taille des familles

Le calcul des besoins de la famille standard de 15 équivalents adultes a donné :

- pour le pétrole 2,2 l / j soit en moyenne 0,15 l / équivalent adulte / j
- pour le biogaz 3,5 m<sup>3</sup> / j soit 0,2 m<sup>3</sup> / équivalent adulte / j en moyenne.

### Bref calcul de rentabilité de l'installation de biogaz sur un an

☛ 1 m<sup>3</sup> de biogaz représente 0,62 l de pétrole lampant. Dans les calculs 0,62 l est arrondi à 0,79 l.

☛ Une famille de 15 équivalents adultes consomme 2,2 l de pétrole par jour. Pour un village qui compte une vingtaine de concessions de même nombre d'équivalents adultes, la consommation pétrolière est approximativement de 44 l par jour. Pour un mois, elle sera de 44 X 30 soit 1 320 l.

Pour un an, cette consommation sera de 1 320 l X 12 soit 15 840 l.

15 840 l de pétrole lampant à raison de 300 F CFA dans la ville la plus proche:

30 F X 15 840 .....	4 752 000 F
Transport jusqu'au village : 200 F par baril de 200 l .....	15 840 F
Transport de l'homme qui va l'acheter .....	1 000 F
Salaire de l'homme .....	2 000 F
Repas de l'homme qui l'achète en ville .....	1 000 F

**Total apport de l'énergie tirée de l'installation ..... 4 771 840 F**

Au bout d'un an l'installation de biogaz destiné à l'éclairage rapportera 4 771 840 F CFA au village. Mais ce bref petit calcul est discutable dans la mesure où il n'inclut pas la plus value tirée du compost, le coût du traitement de la pollution et le coût de la maintenance et de l'entretien de l'installation.

### 2.5. Mesure de la production de biogaz

Le système de Dialambéré a été choisi pour mesurer la production de biogaz et ainsi évaluer les performances réelles de l'installation par rapport à ce qui était prévu.

Comme précédemment expliqué dans le chapitre consacré à la méthodologie, seules deux cuves ont été utilisées pour mesurer les quantités de biogaz produites au cours d'un cycle de fermentation. Chaque cuve ayant été remplie de paille constituée de tiges de mil et de fumier d'étable en couches successives, le tout pesait 505,8 kg. Cette masse a été ensuite diluée dans de

l'eau. Au total 17 barils d'eau d'une capacité de 200 l chacun ont été utilisés soit un volume total de 3 400 l par cuve.

Après 8 semaines de fermentation, les résultats ci-après ont été obtenus (tableau 12).

Tableau 12 : Production obtenue de biogaz : site unité de Dialambéré

Semaine	Production totale m <sup>3</sup>	Production moyenne journalière m <sup>3</sup> /j
1re	4,17	0,06
2e	16,33	2,33
3e	25,85	3,69
4e	35,05	5,01
5e	31,77	4,54
6e	29,51	4,22
7e	22,26	3,18
8e	13,44	1,92

Production de biogaz en m<sup>3</sup>

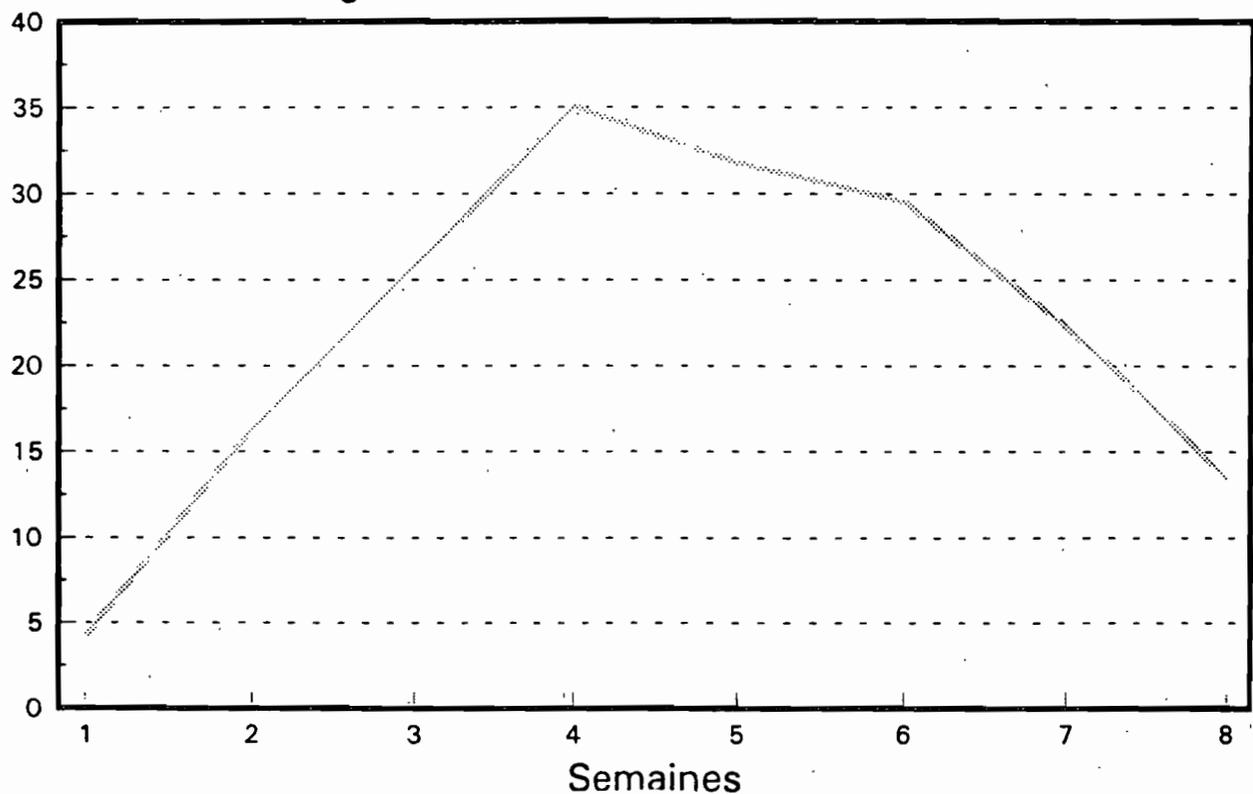


Figure 15 : Evolution de la production de biogaz sur l'unité de Dialambéré

Le tracé de la courbe de production de gaz (fig. 15) montre un pic à la 4e semaine avec une moyenne de production journalière de  $5 \text{ m}^3$ .

La température ambiante du site a été dans l'ensemble assez élevée, variant entre  $38$  et  $40^\circ\text{C}$ . Un maximum de  $42^\circ\text{C}$  a été même enregistré dans le courant du mois d'avril. Cependant les écarts de température entre le jour et la nuit ont été très importants avec en moyenne  $5$  à  $6^\circ\text{C}$ .

Avec le biogaz produit, il a été possible d'alimenter le groupe électrogène du village et ainsi d'obtenir de l'électricité pour éclairer le village de la 3e à la 7e semaine à raison d'une durée allant de 1 h à 1h30 par nuit.

Compte tenu de la capacité utile des deux digesteurs qui est de  $12,5 \text{ m}^3$  au total, la production de biogaz obtenue a été jugée insuffisante. Le pic théorique s'est situé à  $10 \text{ m}^3$  par jour.

Avec la production obtenue, il aurait été impossible de faire fonctionner au cours de la journée à la fois la motopompe et le moulin à mil et d'avoir la nuit assez de gaz pour éclairer le village. Mais compte tenu du fait que la motopompe et le moulin étaient en panne, il fut possible d'obtenir de la lumière au niveau du village tous les 2 jours.

### **3. SITUATION DES INSTALLATIONS DE BIOGAZ VISITEES**

Au niveau des villages ciblés, les enquêtes ont permis de voir l'état de fonctionnement des installations, le niveau d'acceptabilité de la filière par les populations et enfin la participation des femmes dans la gestion des unités.

#### **3.1. Etat technique**

Sur les 10 unités SANIGAZ recensées au niveau des villages Kassak nord, Ndombo et Mbane du delta, 8 seulement étaient en bon état de fonctionnement, les 2 autres unités, celle de Ndombo et une des 6 unités de Kassak nord n'étaient pas fonctionnelles.

L'installation de Dialambéré en Haute Casamance était également en panne du fait de la détérioration du ballon de stockage du gaz. Il a fallu ainsi, avec l'aide de techniciens spécialisés, procéder d'abord à la réparation de toutes les unités avant de mesurer les productions de gaz et de compost.

Les performances de production de gaz obtenues ont été médiocres : 1,5 m<sup>3</sup> en moyenne par jour dans le delta et 3,19 m<sup>3</sup> en moyenne par jour à Dialambéré. Ces productions ne couvraient pas totalement les besoins journaliers en énergie des utilisateurs.

### **3.2. Niveau d'acceptabilité de la filière**

Le biogaz a été perçu comme une annexe du système d'exploitation familiale. Il a été bien accueilli par les populations vu le nombre de réponses positives enregistré au cours des enquêtes (tableau 13). Sur 54 cas, 85,2 % des enquêtés ont pensé que le biogaz est utile.

Tableau 13 : Utilité de la filière : estimation en % des réponses

Rubrique	Nombre	%
Utile	46	85,2
Inutile	3	3,6
Indifférence	5	9,3
<b>TOTAL</b>	<b>54</b>	<b>100</b>

L'intégration du biogaz au sein des ménages a été d'autant plus facilitée qu'il existait un besoin réel d'amélioration de l'approvisionnement énergétique en milieu rural.

En outre, la technologie du biogaz est simple, ce qui fait que dans les sites visités, ce sont les populations elles-mêmes qui ont été chargées d'exécuter les travaux d'installation des unités. Quant aux femmes, elles se sont très vite adaptées aux nouveaux foyers à biogaz, au moulin et à la pompe à eau qui leur étaient destinés.

### **3.3. Niveau de participation des femmes dans la gestion des installations**

Les résultats des enquêtes ont montré que sur 54 femmes, 30 participent à la gestion de l'installation de biogaz soit un taux de 42,6 % (fig.16). Parmi les principales tâches, seul le puisage d'eau est pris en charge par les femmes. La

collecte de substrats, le chargement et le déchargement des fermenteurs qui nécessitent beaucoup d'effort physique sont laissés aux hommes et aux enfants.

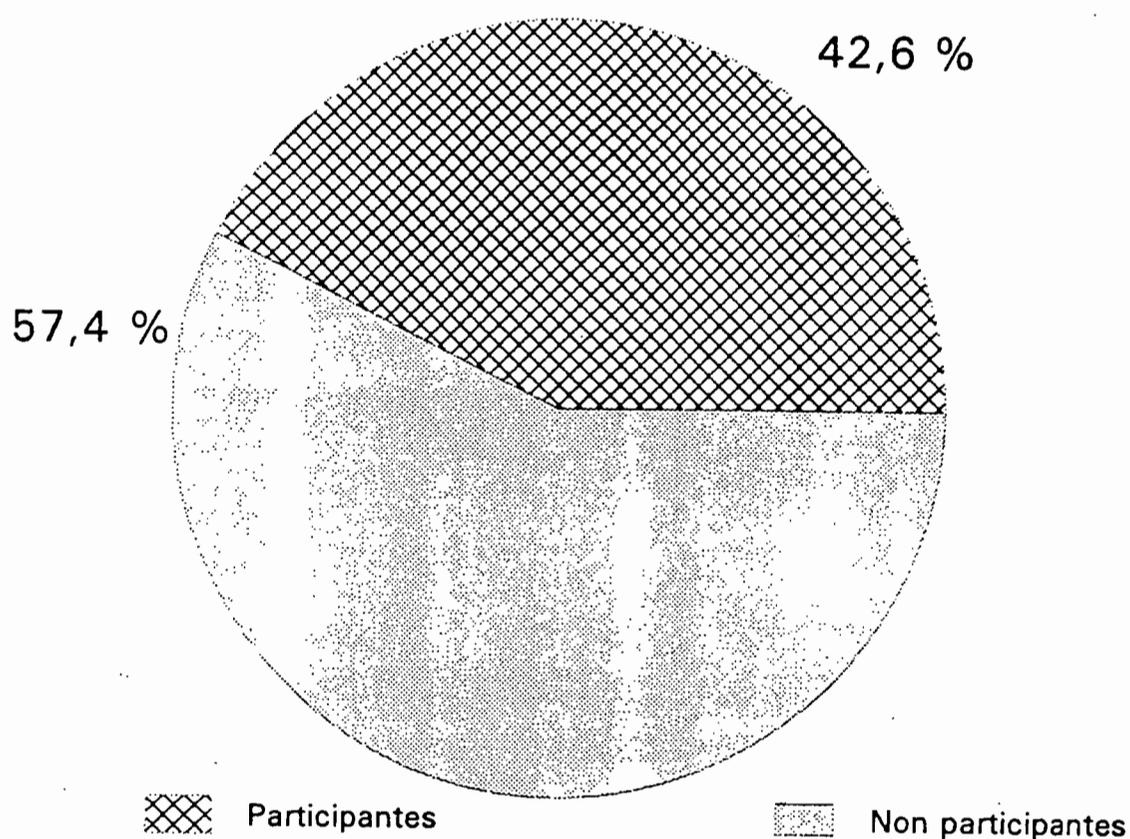


Figure 16 : Participation des femmes enquêtées à la gestion de l'installation de biogaz :

Il y a toutefois lieu de noter que même si les femmes ont manifesté un enchantement pour la filière, la plupart d'entre elles n'ont pas manqué de soulever un certain nombre de difficultés dans la gestion.

Les observations faites sur le terrain ont montré que l'intégration de la filière biogaz/compost dans les ménages et les exploitations familiales se heurte à un conflit d'intérêts surtout en ce qui concerne l'utilisation finale des produits. Le biogaz est un enjeu. En effet, 38 % des femmes enquêtées veulent l'utiliser pour la cuisson, alors que 65 % des femmes enquêtées préfèrent l'utiliser pour la mouture. A l'opposé, les hommes désirent l'utiliser pour l'éclairage et ainsi économiser le pétrole pour les lampes. En l'absence de compromis, le biogaz est uniquement destiné à la cuisine et les installations sont ainsi abandonnées aux femmes. Or, celles-ci n'ont pas été initiées à la gestion, à l'entretien et à la réparation des petites pannes des installations. En outre, les opérations de collecte de substrats, de chargement et de déchargement sont difficilement supportées par les femmes. Cette situation a favorisé l'abandon de la plupart des installations.

### **3.4. Niveau d'intégration du biogaz dans l'exploitation agricole**

Les observations faites sur le terrain ont fait état d'une nette séparation entre les installations de biogaz et les autres activités agricoles. En effet, au cours des investigations, l'opportunité a été offerte d'évaluer les rapports entre les petits élevages entretenus par les femmes et le degré de participation de celles-ci dans la gestion des unités de biogaz. Les résultats obtenus ont montré qu'au niveau du delta d'une part, et, d'autre part, en Haute Casamance, la gestion de l'installation est indépendante de celle de l'unité d'exploitation. Dans les villages de Kassak nord, Mbane et Ndombo, sur 10 femmes, seules les 3 % ont intégré l'installation de biogaz à leurs petits élevages. A Dialambéré, sur les 44 femmes enquêtées, seules les 15 % associaient la gestion de l'installation de biogaz à celle de leurs activités agricoles dominées par le maraîchage et l'élevage des petits ruminants.

Ces résultats sont d'autant plus parlants qu'ils traduisent toute la complexité de la diffusion de la filière en milieu rural. En fait, les populations qui sont souvent prises par le temps préfèrent plutôt vaquer à leurs activités agricoles plus lucratives que de s'occuper de l'installation de biogaz qui du reste, ne procure pas de gain monétaire apparent.

C'est ainsi qu'il a été nécessaire de poursuivre les investigations afin d'évaluer la valeur économique du biogaz et du compost et de les comparer aux autres sources d'énergie classique et d'engrais

## **4. VALEUR ECONOMIQUE DU BIOGAZ ET DU COMPOST**

Au cours de l'étude, il a été tenté l'estimation du coût du mètre cube de biogaz et celui de la tonne de compost dans les conditions des sites où les enquêtes ont été menées.

### **4.1. Coûts du mètre cube de biogaz**

Les coûts étudiés ici ont concerné les coûts théoriques compte tenu des performances attendues et les coûts réels c'est à dire ceux obtenus sur le terrain. Ces coûts ont été étudiés dans le delta et en Haute Casamance.

#### **4.1.1. Coûts théoriques et réels du mètre cube de biogaz**

##### **4.4.1.1. Cas de l'unité SANIGAZ : 3,5 m<sup>3</sup> dans le delta**

L'investissement total dans une unité SANIGAZ s'élevait en 1990 à 1 824 000 F CFA (FARINET et SOW, 1993). Avec une production théorique de 3 m<sup>3</sup>/j et une durée d'amortissement de 12 ans, le coût théorique du m<sup>3</sup> de biogaz était estimé à 139 F CFA.

Après la dévaluation du franc CFA, il a été prévu une augmentation de 30 % sur l'investissement compte tenu du fait que certains équipements sont importés comme la pompe hydraulique, le gazomètre, le compteur à gaz, le brûleur et le matériel de raccordement. Ainsi l'investissement revenait à 2 371 200 F CFA soit 197 600 F par an (l'amortissement étant de 12 ans).

Avec une production prévue de 1 095 m<sup>3</sup> de gaz, le coût théorique actuel du m<sup>3</sup> de biogaz avec les appareils SANIGAZ est donc de 181 F CFA. Cependant, il y a eu une différence entre la production théorique de biogaz et la production obtenue sur le terrain. En effet, sur les 6 unités du village de Kassak nord, la production moyenne était de 1,5 m<sup>3</sup>/j. Les écarts étaient de 0,8 m<sup>3</sup> et 2 m<sup>3</sup>. Ainsi, la production annuelle moyenne a été de 547,5 m<sup>3</sup> au lieu de 1 095 m<sup>3</sup>, ce qui donne un coût réel estimé de 361 F CFA/m<sup>3</sup>.

##### **4.1.1.2. Cas du type Saria 25 m<sup>3</sup> de Dialambéré**

L'investissement de départ était estimé à Dialambéré à 4 500 000 F CFA en 1989. Aujourd'hui, du fait de l'inflation induite par la baisse de parité du franc

CFA, le coût de l'unité de production de biogaz de Dialambéré a relativement augmenté. Si le taux d'inflation est estimé à 50 %, le montant de l'investissement sera de 6 750 000 F CFA.

Avec une production prévue de  $10 \text{ m}^3 / \text{j}$  pour les deux cuves, soit  $3\,650 \text{ m}^3 / \text{an}$ , le coût théorique du  $\text{m}^3$  de gaz revient à 231 F CFA ; la durée d'amortissement étant de 8 ans. Or, la production journalière obtenue a été de  $3,19 \text{ m}^3$ . De plus, l'unité ne fonctionnait que pendant 7 mois par an : pendant l'hivernage, la production de gaz était suspendue. Ainsi la production annuelle de biogaz a été estimée en moyenne à 670 F CFA, ce qui donne un coût réel de  $\text{m}^3$  égal à 1 260 F CFA. Le tableau 14 est une synthèse des coûts estimés.

Tableau 14 : Récapitulation des coûts théoriques et réels du  $\text{m}^3$  de biogaz

Coûts Modèle	Coût théorique F CFA/ $\text{m}^3$	Coût réel F CFA/ $\text{m}^3$	Différence en %
SANIGAZ $8,5 \text{ m}^3$	181	361	50
SARIA/CIEH $25 \text{ m}^3$	231	1 260	82

Dans le cas de SANIGAZ, il y a une différence nette entre le coût théorique et le coût réel du  $\text{m}^3$  de biogaz. Le coût réel qui est de 361 F CFA fait le double du coût théorique qui est lui de 181 F CFA.

Quant au système de Dialambéré, la différence entre les deux coûts est encore plus importante. Le coût réel du  $\text{m}^3$  de biogaz qui est de 1 260 F CFA est de 5 fois plus important que le coût théorique qui est de 231 F CFA.

Il ressort de ces calculs qu'il y a une sous-exploitation des installations de biogaz d'une part, et, d'autre part, le  $\text{m}^3$  du biogaz est trop cher par rapport aux coûts qui étaient prévus. Cette situation risque de compromettre fortement l'adaptabilité et la rentabilité de cette filière énergétique.

Mais si de prime abord le coût du biogaz de ces installations est trop élevé, il est toutefois indispensable de remarquer qu'il s'agit là de prototypes et que

jamais dans l'histoire de la technologie, le coût d'un prototype n'a servi de prix de référence à un marché potentiel (VIAUD, 1984).

Puisqu'il est courant d'apprécier la valeur d'une innovation avec les outils économiques habituels, il serait intéressant d'estimer la rentabilité des installations.

Aujourd'hui, la question qui se pose est de savoir si l'usage du biogaz est économiquement plus rentable que celui des autres combustibles classiques comme le bois de feu et le charbon de bois qui constituent les sources d'énergie essentielles en milieu rural.

#### 4.2. Comparaison économique de différentes modalités d'approvisionnement en énergie

Ce sous-chapitre présente une étude comparative des coûts de la préparation des repas chez trois familles types de 15 équivalents adultes chacune et qui utilisent du bois de feu, du charbon de bois ou du biogaz. Ces coûts étudiés concernent le coût d'acquisition du combustible en question, et le coût du temps de cuisson avec ce même combustible. Le coût du temps d'acquisition du combustible et le coût du temps de préparation des repas ont été évalués en coûts d'opportunité rapportés au coût de la main-d'oeuvre agricole dans la zone ; car la plus grande partie du bois consommé ne passe pas par une économie de marché et seules comptent les heures et la peine des femmes qui vont ramasser le bois de 1 à plusieurs km du foyer.

Les consommations moyennes journalières de bois et de biogaz ont été estimées plus haut à 12 kg pour le bois et 1,95 m<sup>3</sup> pour le biogaz. Quant aux besoins en charbon, ils ont été déduits de la consommation de bois qui est le double du fait des pertes énergétiques liées à la carbonisation (SOW, 1990). Ainsi, la consommation moyenne journalière de charbon de bois d'une famille de 15 équivalents adultes a été estimée à 6 kg/j.

Concernant les modes d'acquisition des combustibles, il a été convenu que le bois de feu est livré à domicile par charrette d'une charge d'environ 100 kg à raison de 3 500 F CFA, tandis que le charbon est acheté au marché hebdomadaire. Quant au biogaz, il est produit après préparation des fermenteurs. Cette préparation consiste en l'alimentation du fermenteur en eau, en substrat et au déchargement des effluents.

Les résultats ont été obtenus après plusieurs mesures chez des familles choisies au hasard (tableaux 15, 16, 17).

Tableau 15 : Estimation du coût de la préparation des repas avec le bois de feu

Quantité de combustible .....	12 kg/j
Coût du combustible .....	420 F CFA
Temps de cuisson .....	3h 10 mn
Coût du temps de cuisson .....	950 F CFA
<b>Coût total de la préparation.....</b>	<b>1 370 F CFA</b>

Tableau 16 : Estimation du coût de la préparation des repas avec le charbon de bois

Quantité de combustible .....	6 kg
Coût du combustible .....	240 F CFA
Temps d'acquisition du combustible ...	1 h
Coût du temps d'acquisition .....	300 F CFA
Temps de cuisson .....	2 h 10 mn
Coût du temps de cuisson .....	650 F CFA
<b>Coût total de la préparation.....</b>	<b>1 190 F CFA</b>

Tableau 17 : Estimation du coût de la préparation des repas avec le biogaz

Quantité de combustible .....	1,95 m <sup>3</sup>
Coût du combustible .....	704 F CFA
Temps d'acquisition du combustible ...	45 mn / j
Coût du temps d'acquisition .....	225 F CFA
Temps de cuisson .....	2 h 25 mn
Coût du temps de cuisson .....	725 F CFA
<b>Coût total de la préparation.....</b>	<b>1 654 F CFA</b>

Il ressort des calculs que le coût de la préparation avec le charbon de bois qui est de 1 190 F CFA, est moins cher que celui du bois de feu estimé à 1 370 F CFA, qui lui même est moins cher que celui du biogaz qui est de 1 654 F CFA.

Ainsi, le bénéfice tiré de l'usage du biogaz par rapport au bois a été de - 284 F CFA ou  $-x \% = 50 \%$  et - 464 F CFA ou  $-y \% = 82 \%$  par rapport au charbon de bois. Ces marges bénéficiaires sont d'autant plus élevées que le biogaz apparaît finalement comme un combustible coûteux, plus coûteux que le bois et le charbon de bois. Ceci a été imputé au coût du  $m^3$  de biogaz estimé à 361 F CFA, lui même lié au coût du fermenteur et de sa capacité réelle de production journalière.

Cependant, en tenant compte la consommation journalière de bois évaluée à 12 kg par famille de 15 équivalents adultes, la substitution du bois et du charbon de bois par le biogaz permettrait des économies substantielles de bois et donc de forêts. Ces économies ont des valeurs sociales très importantes car elles contribuent à la sauvegarde de l'environnement. **VIAUD (1984)** a eu à comparer le prix de revient du biogaz à celui des reboisements entrepris au Sahel à partir de l'équivalence de 2,5 kg de bois sec pour 1 kg de méthane. En admettant que l'investissement par hectare à reboiser se situe aujourd'hui entre 700 000 et 1 000 000 F CFA et que la production est de 3 tonnes de bois par hectare et par an, 7 ans après la plantation, l'auteur a obtenu, en actualisant avec un taux d'inflation de 30%, un équivalent bois-méthane de 80 à 110 F CFA le kilo de méthane.

Cependant cette estimation ne tenait pas compte de l'obligation d'attendre 7 ou 8 ans avant de pouvoir disposer du bois sec de la première coupe qui suivra le reboisement. De plus, il faut signaler que les nombreux effets récurrents de la filière biogaz en zone rurale ne sont pas comptabilisés, à savoir :

- l'acquisition d'une certaine autonomie énergétique essentielle en zone isolée ;
- la réduction de la peine et du temps passé au ramassage du bois ;
- les effets écologiques dûs à la réduction des contraintes pesant sur la biomasse arborée et enfin,
- la mise à disposition d'un compost de haute valeur fertilisante permettant indirectement un accroissement de la productivité agricole.

Car, une unité de biogaz ne produit pas que du gaz. Il y a aussi les effluents de la fermentation qui, après maturation, servent de fertilisants organiques aux sols. Du point de vue économique, les effluents présentent une plus-value significative en plus de la valeur économique du gaz produit et de l'estimation du coût du traitement de la pollution et de la protection de l'environnement.

### **4.3. Le compost issu des digesteurs**

Des études ont été menées sur le compost issu du système de biogaz de Dialambéré. Elles ont porté sur la détermination de la composition chimique du compost, de celle du substrat ayant servi à alimenter les digesteurs et sur l'évaluation de la valeur marchande du compost ainsi produit.

#### **4.3.1. Composition chimique du compost**

Il est important de rappeler que les effluents fraîchement sortis des fermenteurs ne peuvent pas être épandus directement sur les cultures en raison de leur teneur en gaz toxiques comme le méthane ( $\text{CH}_4$ ) et, éventuellement, l'hydrogène sulfuré ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ou l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ). Ces effluents sont d'abord étalés dans une fosse peu profonde, et ainsi, laissés à l'air libre pendant deux à trois mois avant d'être utilisés. Les analyses chimiques effectuées sur le substrat d'une part, puis, sur le compost fini de l'autre, ont eu pour objet de comparer ces deux produits et de montrer aux paysans et agro-pasteurs que la fermentation méthanique du fumier n'altère pas systématiquement la valeur fertilisante de celui-ci (MUSTIN, 1987 ; FARINET et SARR, 1989) et que le compost, en plus des avantages qu'offrent la production et les utilisations du biogaz, permet d'améliorer la qualité des sols (NIANE, 1993).

Les analyses chimiques ont été effectuées au niveau du Laboratoire National d'Elevage et de Recherches Vétérinaires de Hann -ISRA et ont porté sur un échantillon de substrat et de compost prélevé au niveau de l'unité de biogaz de Dialambéré en Haute Casamance.

Les résultats obtenus ont montré une différence, du point de vue de la composition, entre le substrat constitué de fumier mélangé avec de la paille et le compost (tableau 18)

Tableau 18 : Résultats de l'analyse chimique du substrat utilisé et du compost obtenu

Rubrique.	Humidité %	pH	Matière organique g/kg	N %	P %	K %
Substrat	27,80	8,66	481	1,64	0,20	1,69
Compost 3 mois	40,50	8,06	436	1,83	0,40	0,68
Différence	12,7	0,60	45	-0,19	-0,20	1,01

Il y a une diminution du taux de matière organique dans le compost. Ce taux est passé de 481 g / kg à 436 g / kg, soit une baisse de 9 %. Cette diminution de la matière organique consécutive à la fermentation méthanique, démontre qu'au cours de la méthanisation, une partie de la matière organique du substrat est utilisée par les micro-organismes responsables pour produire du gaz (AUBART, 1982).

Les teneurs en azote (N) et en phosphore (P) du compost ont par contre augmenté. Car ces taux sont passés de 1,64 % à 1,83 % pour l'azote et de 0,20 % à 0,40 % pour le phosphore.

L'augmentation de la teneur en N dans le compost pourrait s'expliquer par le fait qu'au cours de la fermentation, les micro-organismes synthétisent des protéines. Par ailleurs, il y a une transformation de l'azote organique en azote ammoniacal plus facilement assimilé par la plante (LO, 1991). Quant au phosphore, son augmentation dans le compost est relative à la minéralisation qui s'opère avec la perte d'une partie de la matière organique lors de la méthanisation.

L'élément potassium (K) a, par contre, diminué ; il est passé de 1,69 % dans le substrat à 0,68 % dans le compost. Cette diminution s'explique par le fait que cet élément est beaucoup utilisé par les micro-organismes (MARCHAIM, 1994).

Dans l'ensemble, la production de biogaz s'accompagne de la dégradation d'une partie de la matière organique du substrat, d'une diminution de la concentration en certains éléments comme le K et d'un enrichissement en d'autres comme le N et le P.

La comparaison des résultats de l'analyse chimique du compost produit à Dialambéré avec ceux du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Bambey obtenus à partir des effluents issus d'un fermenteur de type Transpaille (tableau 19) a montré une similitude au niveau des valeurs trouvées et confirme ainsi la thèse selon laquelle la méthanisation des résidus agricoles (fumier, paille ...) se solde par une perte d'une partie de la matière organique et d'un enrichissement apparent du résidu en éléments fertilisants comme l'azote et le phosphore.

Tableau 19 : Résultats de l'analyse chimique de fumier d'étable et de compost

Rubrique	N %	P %	K %
Fumier d'étable	0,96	0,16	1,30
Compost 3 à 4 mois	1,88	0,37	0,60
<b>Différence</b>	<b>-0,92</b>	<b>-0,21</b>	<b>0,7</b>

Source : NIANE (36) CNRA Bambey

Considéré comme un engrais organique, le compost obtenu après maturation des effluents pourrait faire l'objet d'un échange marchand dans une station de biogaz. L'enjeu de la production d'engrais organique et devenu aujourd'hui important compte tenu du coût des engrais chimiques.

#### **4.3.2. Plus-value tirée du compost**

L'estimation de la valeur monétaire du compost a été effectuée sur la base de l'hypothèse CRZ de Kolda, selon laquelle, la valeur économique du compost peut être estimée à partir de l'équivalent en azote, phosphore et potassium (NPK) en engrais chimique (FALL et FAYE, 1992).

Après conversion des taux de N, P et K (tableau 25), exprimés plus haut en pour cent (%), en gramme par kilogramme (g/kg), les valeurs obtenues ont été de 18,32 g/kg pour l'azote, 3,8 g/kg pour le phosphore et 6,8 g/kg pour le potassium. Ainsi l'équivalent en NPK a été de 19,4 par tonne. Au niveau du système de biogaz de Dialambéré, avec quatre cycles de production de huit semaines chacun par an, la production totale de compost a été évaluée à 3,5 tonnes par an. Ainsi, l'équivalent d'azote produit a été de 68 kg par an.

En se basant sur les résultats de **DLAW (1994)** qui fixent la valeur économique de 82 kg d'azote à 14 104 F CFA, le gain additionnel tiré de la production de compost serait de 11 696 F CFA par an;

Cette valeur n'est certes pas significative, mais elle pourrait intervenir dans le bilan d'une station de biogaz et amoindrir ainsi le coût du mètre cube de biogaz, tout comme la levée d'un certain nombre de contraintes observées sur le terrain.

## **5. CONTRAINTES A LA DIFFUSION DU BIOGAZ**

Au cours des visites, cinq contraintes majeures ont été relevées.

↳ La première grande contrainte soulevée est le coût des unités de biogaz. Il a été montré, calculs à l'appui, que le coût de la préparation des repas à partir du biogaz est de loin plus élevé que le coût de la préparation de ces mêmes repas à partir du bois et mieux à partir du charbon de bois. Le coût du mètre cube de biogaz qui varie toutefois d'un type de fermenteur à l'autre, a été jugé très élevé par rapport à la capacité financière des paysans. Pour preuve, la totalité des installations étudiées a été entièrement financée avec des capitaux étrangers.

Aujourd'hui, beaucoup de personnes sont intéressées par la filière, mais ne peuvent malheureusement pas supporter les frais d'installation. A cette contrainte économique s'ajoutent des difficultés techniques liées à la non disponibilité sur le marché d'équipements destinés à la production et à l'utilisation de biogaz.

Les problèmes d'épuration et de conservation du biogaz demeurent entiers. Le gazomètre en plastique coûte excessivement cher (300 000 F CFA pour celui de Dialambéré) et se détériore souvent très vite sous l'effet du soleil et de l'humidité du gaz (du fait de la non épuration). Beaucoup d'installations sont restées en panne.

En outre, les appareils destinés à l'éclairage, à la réfrigération, à l'exhaure, entre autres, qui doivent fonctionner avec du biogaz ne sont pas disponibles

sur le marché. Le plus souvent ce sont des appareils modifiés et adaptés au nouvel combustible qui ont été utilisés dans les projets de démonstration.

↳ La deuxième grande contrainte relevée est relative à la non intégration de l'unité de biogaz au sein de l'exploitation agricole.

Dans la quasi totalité des ménages enquêtés, le biogaz qui, du reste, est une technique agricole, est conçu comme un élément à part dont la gestion est indépendante des activités agricoles et pastorales. Le plus souvent, la gestion de l'installation de biogaz est délaissée au profit des travaux agricoles. Ainsi petit à petit s'est installé un délabrement, voire un abandon des unités. Partout où le biogaz a bien fonctionné c'est parce qu'il y a eu un suivi par ENDA dans le cadre d'un projet. Ceci découle de la manière dont le biogaz a été introduit au Sénégal. Souvent, ce sont de petites unités pilotes ou de démonstration entièrement financées par des capitaux étrangers qui ont été présentées aux populations. Conséquence, le biogaz n'a pas été bien intégré dans la vie des populations. Celles-ci n'ont pas été réellement sensibilisées sur les avantages socio-économiques de l'adoption du biogaz en milieu rural et sur les graves risques de dégradation de l'environnement suite à l'exploitation démesurée du bois. Ces risques sont générales dans la zone centre du Sénégal où se pose aujourd'hui un problème crucial d'approvisionnement en bois de feu à tel point que les femmes utilisent la bouse de vache sèche qui devrait être restituée au sol pour faire la cuisine.

↳ La troisième contrainte est relative à la précédente et est en rapport avec la non implication des femmes dans la gestion des unités de biogaz dont elles sont les principales utilisatrices.

↳ La quatrième contrainte qui n'est pas la moins importante est liée à la faible capacité de production de biogaz des installations rurales. En effet, la substitution par le biogaz des sources d'énergie traditionnelles (bois de feu, charbon de bois) s'est très mal faite. Les productions journalières de gaz sont insuffisantes pour permettre la cuisson des trois repas du jour dans le delta ; l'éclairage, la mouture et l'exhaure de l'eau simultanément dans le village de Dialambéré.

↳ La dernière contrainte observée est l'absence de structures d'organisation ou d'institutions pour le développement de la technologie du biogaz au Sénégal et qui seraient en contact étroit avec les groupes cibles. En effet, le manque de structures de base efficaces, durables et soutenues par les pouvoirs publics constitue un handicap pour la diffusion du biogaz au Sénégal.

La levée de toutes ces contraintes permettrait de tirer parti des profits attendus de la filière biogaz/compost. Pour cela, un certain nombre de recommandations ont été proposées.

## **CHAPITRE III**

### **RECOMMANDATIONS**

L'option stratégique pour le développement durable des campagnes est de doter les paysans y compris les agro-pasteurs de sources d'énergie adaptées à leurs conditions environnementales. Dans cette optique, la filière biogaz compost qui constitue une technologie alternative doit aussi être un élément central dans le fonctionnement de l'exploitation agricole. Car l'intérêt de l'utilisation du biogaz en milieu rural peut aller de paire avec l'intensification des productions animales et la rationalisation de l'exploitation des ressources naturelles. Ainsi, les recommandations suivantes s'appuient sur les interrelations nécessaires entre les systèmes de biogaz et l'élevage.

Ces recommandations s'adressent aux structures de recherche et de vulgarisation du biogaz, aux pouvoirs publics, aux promoteurs économiques comme les ONG, les bailleurs de fonds et aux utilisateurs et principalement les femmes.

#### **1. RECOMMANDATIONS AUX STRUCTURES DE RECHERCHE ET DE VULGARISATION DU BIOGAZ**

Les structures de recherche et de vulgarisation doivent coordonner leurs interventions pour la promotion de systèmes intégrés, étables fumières - unités de biogaz/compost et éventuellement activités maraîchères.

En effet, l'une des contraintes majeures au développement de la filière, a été et demeure les coûts des investissements trop élevés par rapport au pouvoir d'achat des paysans. Jusque-là, les bénéfices tirés des installations de biogaz sont nuls voire négatifs. Les pertes estimées lors des enquêtes au niveau des villages de Kassak nord, de Mbane et de Ndombo ont été de - 284 F CFA par rapport au bois de feu et de - 464 F CFA par rapport au charbon de bois. L'utilisation du bois de chauffe et du charbon de bois paraît alors plus économique que celle du biogaz. A partir de la comparaison des coûts des différentes sources d'énergie disponibles en milieu rural, il ressort clairement que l'unité de production de biogaz, quand elle est prise comme une entité

autonome et isolée des autres composantes de l'exploitation agricole est trop coûteuse pour le paysan.

Cependant, quand la production de biogaz est intégrée au fonctionnement global du système d'exploitation, ses coûts peuvent être pondérés. Il apparaît aussi que les pays qui ont le mieux réussi dans la diffusion de la technologie du biogaz, ont été ceux qui ont intégré le biogaz au sein des systèmes d'exploitation traditionnels comme l'étable et la petite exploitation agricole.

Dès lors que les acheteurs potentiels d'unités de biogaz sont pour la plupart des éleveurs ou des agro-pasteurs et, aussi que la technologie du biogaz a le caractère d'une technique agricole, il se conçoit mal que l'unité de biogaz soit dissociée de l'exploitation agricole. Dans des pays comme la Chine, l'Inde et le Népal qui comptaient en 1991 2 000 à plus de 1 000 000 d'installations de biogaz (GUTTERA et SASSE, 1992), les conditions de la diffusion du biogaz se sont améliorées, entre autres mesures, avec le rattachement des installations aux systèmes d'élevage centrés sur les étables. En Thaïlande, jusqu'en 1992, environ 150 fermenteurs étaient en service, dont quelques grandes installations pour des élevages de porcs. En Tanzanie, un système de composants modulés fut mis au point sous le nom de « biogaz unit » comprenant non seulement l'installation de l'unité de biogaz mais aussi son intégration dans la conception et le fonctionnement de l'exploitation agricole (GUTTERA et SASSE, 1992).

Il apparaît donc que l'intégration de la technologie du biogaz dans la logique et le fonctionnement de l'exploitation agricole reste une condition essentielle de la réussite d'un programme de diffusion et de vulgarisation du biogaz en milieu rural.

Au Sénégal, la possession d'animaux fait partie des attributs caractéristiques de la petite exploitation familiale. Comme dans la plupart des villages, les paysans disposent de bétail. Il serait opportun d'envisager des modèles de systèmes intégrés combinant les unités de biogaz aux étables fumières où une partie des troupeaux seraient en stabulation. Le biogaz produit dans un tel système coûterait moins cher car le coût du mètre cube de gaz ne serait plus fonction seulement du coût de l'investissement total requis pour un système intégré. Il s'ensuit ainsi une réduction du coût de production de gaz grâce à la diversification des productions au niveau de l'exploitation et à la plus-value générée par les différentes productions. En outre, la cuve de fermentation ainsi intégrée à l'étable serait plus acceptée par les populations.

Il est capital qu'une synergie soit entretenue entre la filière biogaz/compost et l'étable fumière comme l'indique la figure 14.

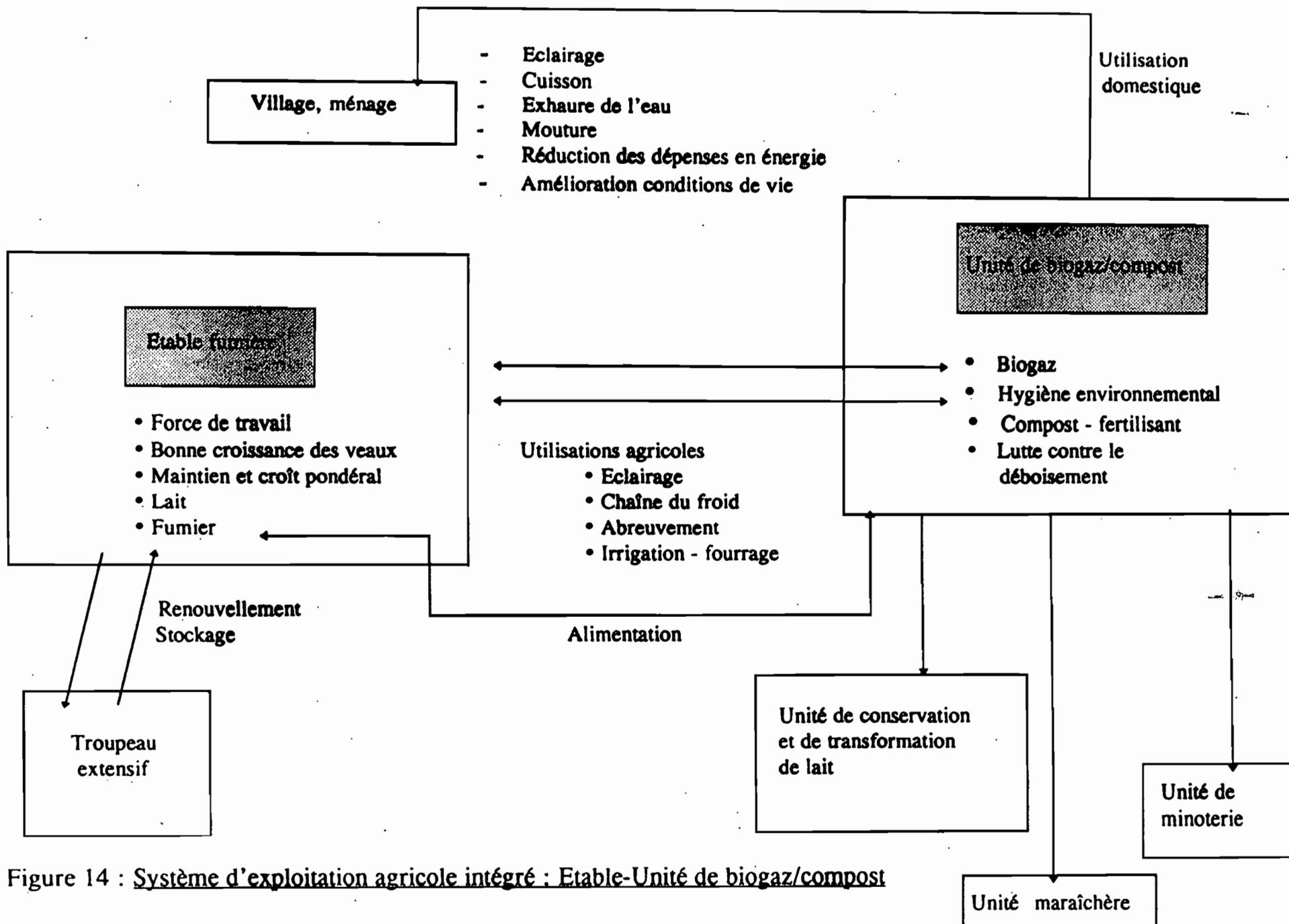


Figure 14 : Système d'exploitation agricole intégré : Etable-Unité de biogaz/compost

## **1.1. ROLE DE L'ETABLE DANS LE DEVELOPPEMENT DU BIOGAZ**

Les perspectives d'amélioration de la production animale par le biais des étables fumières sont propices au développement d'une filière de valorisation énergétique du fumier issu de ces étables. En outre, l'intégration de l'unité de production de biogaz à l'étable permettrait de contourner les disparités observées dans la gestion des unités de biogaz.

En effet, une des principales difficultés dans le fonctionnement régulier des installations de biogaz est lié au manque de temps disponible pour les paysans.

En associant élevage, agriculture et unité de biogaz au sein d'une même entité, il serait possible de planifier et d'organiser les travaux au sein de cette même entité sans risque de favoriser une activité au détriment d'une autre.

## **1.2. Impact de l'installation de biogaz dans l'élevage**

Le biogaz, en rappel, est une source d'énergie convertible en électricité et en énergie mécanique. Ces énergies ainsi obtenues peuvent en plus de leurs utilisations domestiques (cuisson, éclairage, réfrigération, exhaure de l'eau) être orientées au profit de l'élevage pour la production de froid sanitaire, la production d'eau chaude, la minoterie, le pompage de l'eau et l'éclairage.

Grâce au biogaz, il serait désormais possible de conserver aussi longtemps que nécessaire divers produits d'élevage destinés à l'autoconsommation ou à la commercialisation comme le lait et le beurre qui sont des denrées très périssables. Une telle opportunité concerne également les vaccins, sérums et tout autre médicament vétérinaire fragile. Il serait également possible d'améliorer l'alimentation des animaux en stabulation grâce aux opportunités offertes par le biogaz pour le pompage de l'eau à des fins d'abreuvement et d'irrigation de cultures fourragères.

Enfin le biogaz produit au sein de l'exploitation pourrait être utilisé pour faire fonctionner un atelier de minoterie à but lucratif. Les sous-produits tirés de cet atelier tels que les sons et les brisures de céréales pourraient ainsi être utilisés pour la supplémentation et la complémentation de la ration des animaux de l'étable.

Tous ces avantages indirects induits par l'intégration du biogaz dans l'exploitation agricole concourent à améliorer la productivité de l'exploitation et donc à augmenter les gains. Il en découlera une baisse du coût du mètre

cube de biogaz produit au niveau de cette exploitation et une meilleure rentabilisation des investissements.

Par ailleurs, du point de vue social, l'unité de biogaz, présentée comme un élément du système d'exploitation, serait mieux acceptée et mieux intégrée par les populations rurales.

Cependant, les mesures tendant à intégrer le biogaz au sein de l'exploitation, bien qu'elles soient aujourd'hui les plus recommandées, restent à elles seules insuffisantes pour amoindrir les coûts de production de biogaz. Ces mesures devraient être accompagnées par d'autres comme la subvention des installations de biogaz, la formation et l'encadrement des bénéficiaires et particulièrement les femmes.

## **2. RECOMMANDATIONS AUX POUVOIRS PUBLICS**

Ces recommandations portent sur la subvention des installations de biogaz et sur l'élaboration d'un programme national de biogaz au Sénégal.

Dans le contexte actuel de crise économique aggravée par la flambée des prix des produits industriels consécutive à la dévaluation du franc CFA, la subvention des installations de biogaz est devenue une mesure incontournable pour promouvoir la diffusion du biogaz au Sénégal, en l'occurrence en milieu rural. En effet, au niveau des pouvoirs publics, la complexité de la diffusion du biogaz et les besoins en organisation et en moyens financiers sont souvent sous-estimés. Alors que le biogaz devrait être subventionné au même titre que la butane.

En plus de la subvention, il faudrait un soutien politique susceptible de convaincre le système bancaire à considérer l'acquisition par les paysans d'unités de biogaz comme un investissement porteur et générateur de revenus.

Dans les pays avancés en matière de biogaz, les années de lancement du biogaz ont correspondu à des phases d'incitations financières directes qui ont beaucoup contribué aux installations et aux fortes concentrations d'unités dans ces pays (SASSE, 1992).

Toutefois, il convient de noter que la diffusion du biogaz est complexe et qu'elle ne se limite pas à la subvention et à l'allocation de crédits de construction de digesteurs, mais qu'elle nécessite aussi l'élaboration d'un programme national spécifique avec une prise en charge effective par des

structures d'exécution et des mesures d'incitation financière comme la subvention et le crédit.

Les entrepreneurs privés, les banques, la recherche technique et agricole, les ONG et les utilisateurs devront être associés à ce programme.

### **3. RECOMMANDATIONS AUX STRUCTURES D'ENCADREMENT ET ONG**

Ces recommandations vont vers la prise en compte du rôle des femmes dans la gestion des installations de biogaz pour aboutir à une meilleure productivité des installations.

Aujourd'hui, la maîtrise de la technologie du biogaz ne pose plus un véritable problème au Sénégal et les sites propices au biogaz sont clairement identifiés. Cependant, la mise en place de structures d'encadrement à la fois efficaces et durables constitue la contrainte majeure. En effet, la plupart des installations visitées étaient en panne ou abandonnées. Or, le succès d'un programme de diffusion ne réside pas uniquement dans le nombre d'installations mises en place, mais plutôt dans le nombre d'installations opérationnelles et dans l'appropriation durable de la technologie par des exploitants bien convaincus et bien formés. Les structures d'encadrement et les ONG ont de ce fait, un rôle important pour une formation continue, un encadrement durable des exploitants et un suivi efficace des installations.

Il convient aussi d'accorder une attention particulière à la répartition entre les sexes des travaux au niveau des unités de biogaz, c'est à dire au rôle joué par les femmes. Avec, par exemple, dans les sites d'enquête un taux de participation de 42,6 % des femmes dont 44 % se chargeaient elles-mêmes d'alimenter les fermenteurs en eau, il serait inapproprié de ne pas associer les femmes dans les projets intégrés de biogaz d'autant plus qu'elles constituent une composante incontournable de l'exploitation agricole.

Leur rôle est également particulièrement capital dans le fonctionnement des étables fumières car les femmes sont généralement au centre des systèmes de production laitière (LY, 1993). Premières concernées dans l'exploitation domestique du biogaz, les femmes sont également particulièrement intéressées par les opportunités offertes par la filière biogaz/compost comme la conservation du lait, la minoterie, la chaîne de froid. A ce titre, les femmes doivent être réhabilitées dans les stratégies de diffusion et de vulgarisation du biogaz afin qu'elles en soient les premières cibles puisqu'elles en sont fondamentalement les principales utilisatrices et bénéficiaires directes. Une telle approche pourrait garantir la pérennité des installations et améliorer l'efficacité de la production de biogaz en milieu rural.

## CONCLUSION

Le Sénégal, à l'instar des autres pays du Sahel, lutte pour la préservation de son environnement menacé par la surexploitation des ressources ligneuses à des fins énergétiques.

Dans ce cadre la politique de butanisation, le contrôle de la coupe de bois, le reboisement, entre autres politiques, ont été mis en oeuvre pour lutter contre la déforestation.

Mais, face à la demande de plus en plus importante en combustibles tant au niveau des villes que des campagnes, ces politiques se sont révélées très tôt insuffisantes. Ainsi d'autres stratégies complémentaires doivent être élaborées, en l'occurrence l'exploitation des énergies renouvelables pour couvrir les besoins des populations, en particulier les ruraux qui sont les plus défavorisés.

Parmi les sources d'énergie dite nouvelle et renouvelable, figurent les procédés de fermentation anaérobie des déchets d'élevage et de résidus agricoles conduisant à la production de gaz méthane appelé biogaz et d'un engrais organique dénommé compost. Par ce double avantage, la filière biogaz/compost constitue un enjeu dans les régions où l'élevage, fortement producteur de déchets, est intégré à l'agriculture qui valorise les matières fertilisantes. La filière contribue en outre à la résolution des conflits bétail-culture et permet un excellent compromis.

La filière biogaz/compost revêt par ailleurs un cachet social inestimable. En effet, la préservation de l'environnement, l'amélioration de l'hygiène du milieu, la réduction des corvées de collecte de bois auxquelles les femmes rurales sont assujetties, l'électrification rurale et le développement de petites unités agricoles motorisées peuvent permettre le développement d'une économie rurale florissante basée sur la satisfaction des besoins internes et la commercialisation des surplus.

Cependant, la filière du biogaz, présentée depuis longtemps comme particulièrement adaptée en milieu rural, est restée insignifiante dans le bilan énergétique du Sénégal. La quasi totalité des installations, qui de surcroît, sont en nombre très limité : 10 dans le delta du fleuve Sénégal, 1 en Haute Casamance et un peu plus d'une vingtaine pour l'ensemble du pays, ont été des unités de démonstration entièrement financées avec des capitaux étrangers.

L'une des principales contraintes demeure le coût des installations. La mise en place d'une unité de biogaz nécessite un investissement important, de l'ordre de 2 371 200 F CFA pour le SANIGAZ ( $3,5 \text{ m}^3$ ) et 6 750 000 F CFA pour le type SARIA ( $25 \text{ m}^3$ ). Avec une production journalière estimée à  $1,5 \text{ m}^3/\text{j}$ , la production annuelle est de  $547 \text{ m}^3$  pour le SANIGAZ, ce qui donne un coût réel de 361 F CFA pour  $1 \text{ m}^3$  de biogaz. Quant au SARIA ( $12,5 \text{ m}^3$ ), sa production moyenne journalière a été de  $3,2 \text{ m}^3$  et  $670 \text{ m}^3$  pour une période de fonctionnement de 7 mois soit un coût réel de 1 260 F CFA /  $\text{m}^3$ .

Il ressort des investigations que le biogaz est trop cher et que les unités sont sous-utilisées. Cette situation compromet la rentabilité et donc la viabilité de la filière.

Mais, si de prime abord, le coût des installations de biogaz est trop élevé, il est important de remarquer qu'il s'agit de prototypes et que dans l'histoire d'une technologie, le coût d'un prototype ne peut vraiment servir de référence. Une unité de biogaz fabriquée en série et subventionnée reviendrait moins cher pour les paysans. Pour mieux apprécier la valeur de l'innovation avec les outils économiques, il a été aussi tenté d'évaluer la rentabilité du biogaz par rapport aux autres combustibles domestiques comme le bois de feu et le charbon de bois.

Les résultats de cette comparaison ont montré que le biogaz était de 50 % plus cher que le bois de feu et de 80 % plus cher que le charbon de bois. Cette situation était liée à la faible productivité des unités par rapport à l'investissement initial. Les performances théoriques étant de  $5 \text{ m}^3$  pour le SANIGAZ ( $3,5 \text{ m}^3$ ) et  $10 \text{ m}^3$  pour le SARIA ( $12,5 \text{ m}^3$ ).

De plus, ces coûts élevés du biogaz ne tenaient pas compte des effets récurrents comme le gain additionnel de 11 696 F CFA/an tiré de la production de compost de même que le traitement de la pollution et la lutte contre la déforestation qui sont difficilement chiffrables.

Par ailleurs, il a été démontré que l'unité de biogaz, lorsqu'elle est conçue et gérée en marge de l'exploitation agricole, revenait beaucoup plus cher que lorsqu'elle y était intégrée. Ceci est d'autant plus avantageux qu'au Sénégal, la possession d'animaux fait partie des attributs caractéristiques de la petite exploitation familiale rurale.

Dans les villages de Kassak nord, Mbane et Ndombo du delta du fleuve Sénégal et Dialambéré de la Haute Casamance, 75 % des femmes enquêtées, principales utilisatrices du biogaz, disposaient de petits élevages dans leurs carrés.

Pour mieux diffuser la filière biogaz/compost, il est enfin proposé un modèle de système intégré comprenant une unité de biogaz, un atelier de mouture et un atelier d'élevage semi-intensif basé sur les étables fumières. Une telle option permet une réduction du coût du biogaz grâce à la diversification de la production au niveau de l'exploitation. Ce type d'association permettrait, en outre, de supprimer les disparités observées dans la gestion des installations de biogaz et de contribuer au développement de l'agriculture et de l'élevage grâce aux nombreux avantages qu'offre le biogaz.

Toutefois ces mesures qui tendent à intégrer la filière biogaz/compost dans l'unité d'élevage, bien qu'elles soient les plus recommandées, restent à elles seules insuffisantes. Elles pourraient être accompagnées par d'autres mesures d'accompagnement comme la subvention des installations, le crédit, la formation et l'encadrement des bénéficiaires.

Le développement de la filière biogaz/compost est tout à fait possible au Sénégal mais il doit être encouragé par une politique de promotion soutenue par un programme national.

## BIBLIOGRAPHIE

1. **AGGARWAL, G.C. ; SINGH, N.T.**  
Energy and economic returns from cattle dung as manure and fuel  
*Energy*, 1984, 9(1) : 87-90 pp.
2. **ALLARD, J.L. ; BERTHEAU, Y. ; DREVON, J.J. ; GANRY, F. ; SEZE, O.**  
Ressources en résidus de récolte et potentialités pour le biogaz au Sénégal.  
*Agronomie tropicale*, 1988, 38(3) : 213-221.
3. **ANDRIANASOLO, J.L.A.**  
Essai de vulgarisation d'un type de digesteur familiale en milieu rural.  
*Mémoire : Ing. Agron. Spécialisation agriculture : Ecole Sup. des Sci. Agronomiques Univ. d'Antananarivo*, 1990 : 92 p.
4. **AUBART, C.**  
Digestion anaérobie des déchets d'élevage : Etude biotechnologique et recherche sur quelques mécanismes microbiologiques.  
*Thèse : Doct. Ing. Agron. : Inst. Nat. Polyt. de Lorraine*, 1982 : 120 p.
5. **BA, C.**  
Les peuls du Sénégal : Etude géographique  
*DAKAR : NEA : 1986*
6. **BOURNAS, L. et COILLARDS, L**  
Généralités sur le traitement des déjections animales par voie anaérobie en vue de la production de biogaz.  
*Bull. Inf. du CNEEMA*, 1980 : 49-58
7. **DIOP, L.**  
Utilisation et maintenance d'une unité de production de biogaz.  
*DAKAR : CRAT*, 1991 : 40-66
8. **CILSS-CLUB DU SAHEL**  
Energie dans la stratégie de développement du Sahel : Situation. Perspectives. Recommandations. 1978.

9. **DIAO, B.**  
Caractéristiques du système agropastoral de Haute Casamance : L'exemple de la zone de Kolda  
*These : Méd. Vét. : Dakar, 1991 : 90 p.*
  
10. **DIAW, A.**  
Impact des étables fumières dans la mise en place d'une ceinture laitière péri-urbaine : l'exemple de Tambacounda (Sénégal).  
*Thèse : Méd. Vét. : Dakar, 1994 : 130 p.*
  
11. **DIENE, B. et SALL, B**  
L'observatoire des combustibles domestiques  
*Dakar : Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat - Direction de l'Energie, des Mines et de la Géologie, 1994 (2)*
  
12. **DUHAMEL, B**  
Développement énergétique et décentralisation du développement.  
In : Rapport sur le Colloque International sur le problème énergétique et le développement en Afrique.  
*Cotonou : INFOSEC, 1986 : 6 p.*
  
13. **ENVIRONNEMENT AFRICAIN**  
Utilisation du gaz méthane en Afrique.  
*Dakar : ENDA, 1978 : 26 p.*
  
14. **ENVIRONNEMENT AFRICAIN - GROUPE DE RECHERCHE SUR LES TECHNIQUES RURALES**  
Manuel de biogaz chinois.  
*Paris : GRET, Dakar : ENDA, 1981 : 125 p*
  
15. **FALL, A. ; FAYE, A.**  
Etables fumières en zone d'élevage trypanotolérant au sud du Sénégal.  
Rapport de recherche.  
*Kolda : CRZ - Projet RAF/88/100 FAO, 1992.*
  
16. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION (FAO)**  
China : recycling of organic wastes in agriculture.  
Report on an FAO/UNDP study to the people's republic of China 28 april-24 may.  
*Rome : FAO, 1977 : 107 p.*

17. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION (FAO)**  
Biogaz energy recovery from animal wastes.  
*World Animal Review, 1980, (55) : 2-12.*
18. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION (FAO)**  
Qu'est-ce que le biogaz ?  
Comment le fabriquer ?  
Comment l'utiliser ?  
Rome : FAO, 1984 : 45 p.
19. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION (FAO)**  
Le biogaz 2.  
Comment construire une unité plus perfectionnée de production de biogaz.  
*Rome : FAO, 1987 : 52 p.*
20. **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION (FAO)**  
Rapport de la consultation du réseau coopératif européen de recherche sur l'utilisation des déchets animaux tenue à Bologne 25-28.  
*Rome : FAO, 1991 : 8 p.*
21. **FARINET, J.L.**  
Diagnostic et identification d'implantation d'unités biogaz/compost dans le delta du fleuve Sénégal.  
*Saint-Louis : SAED, Rapport de mission, 1988.*
22. **FARINET, J.L.**  
Appui technique au programme valorisation des ressources naturelles par l'agriculture : Opération Transpaille - Biogaz/compost.  
*Bambey : CNRA, 1989.*
23. **FARINET, J.L. ; SOW, O.**  
Programme irrigation IV Volet « Energie, matière organique ».  
Rapport final préliminaire.  
*Saint-Louis : SAED, 1993.*

**24. FRANCE - MINISTERE DES RELATIONS EXTERIEURES - COOPERATION ET DEVELOPPEMENT**

Les dossiers du biogaz :

Dossier B : Le choix d'un système : 109 p

Dossier C : Utilisation et maintenance d'une unité de fermentation méthanique : 85 p

*Marseille : GFERES, Paris : GRET, 1983.*

ECOLE INTER-ETATS  
DES SCIENCES ET MÉDECINE  
VÉTÉRINAIRE DE DAKAR  
BIBLIOTHÈQUE

**25. GUEYE, L.**

L'intégration agriculture-élevage dans la moyenne vallée du Sénégal.

*Thèse : Méd. Vét. : Dakar, 1989 : 169 p.*

**26. GUTTERER, B. ; SASSE, L.**

Analyses transversales de programmes de diffusion de la technologie de bigaz.

*Bremen : GTZ, 1993 : 64 p.*

**27. GUTTERER, B. ; SASSE, L.**

Critères pour la diffusion d'installation de biogaz pour les systèmes d'exploitations agricoles et ménagers.

*Bremen : GTZ, 1993 : 31 p.*

**28. KESRAOUI ; R. M'LAOUMI, A. ; GABINI, M. ; SAIDANI, A.**

Performance d'une unité expérimentale de production de biogaz en système discontinu.

*Aniana (Tunisie) : INRAT, 1990, vol. 33 : 17 p.*

**29. LO, I ; MEGERSA, B. ; TANG, Y.H.**

Manuel biogaz, technique de construction et comparaison de 4 types de biodigesteurs.

*Dakar : CRAT, 1989 : 63 p.*

**30. LO, I**

Dimensionnement du digesteur type chinois.

Rapport du Séminaire-atelier sur la construction du dôme du digesteur type chinois à Salsal (Sénégal).

*Dakar : CRAT, 1991 : 24-49 p.*

**31. LY, C.**

Etable fumièrre voie d'intensification de l'élevage.

*Projet régional FAO RAF/88/100 Banjul, 1993 : 11 p.*

32. **MARAMBA, F.D.**  
Biogas and waste recycling, the philippine experience.  
*Manille : Maya Farm Division, 1978 : 230 p.*
33. **MARCHAIM, U.**  
Les procédés de production de biogaz pour le développement de technologies durables.  
*Rome : FAO, 1994 : 221 p.*
34. **MBODJ, M.**  
La filière biogaz-compost examinée par les chercheurs.  
*Dakar : Le Soleil, 1984 (4148).*
35. **MUSTIN, M.**  
Le Compost : gestion de la matière organique  
*Paris : Edition François Dubusc, 1987 : 95 p.*
36. **NIANE, A. ; RUIZ, L.**  
Gestion des ressources naturelles.  
*Bambey : CNRA, 1993 : Rapport annuel.*
37. **OUEDRAOGO T. ; PEULTIER, P.**  
Une expérience de biogaz villageois en Casamance (Sénégal).  
*Dakar : ENDA, 1984 : 18 p.*
38. **RABEZANDRINA, R.**  
Pour le développement de la valorisation énergétique de la biomasse en Afrique.  
*Dakar : CRAT, 1982 : 112 p.*
39. **SOCIETE D'AMENAGEMENT ET D'EXPLOITATION DES TERRES DU DELTA ET DE LA FALEME ET DE LA VALLEE DU FLEUVE (SAED)**  
La vallée du fleuve Sénégal : les enjeux de l'après-barrage.  
*Saint-Louis : SAED, Rapport annuel, 1987 (2).*
40. **SOCIETE D'AMENAGEMENT ET D'EXPLOITATION DES TERRES DU DELTA ET DE LA FALEME ET DE LA VALLEE DU FLEUVE (SAED)**  
Evaluation interne du programme Irrigation IV.  
*Saint-Louis : SAED : Rapport annuel, 1994.*

41. **SARR, P.L. ; CLAUDE, B.**  
Histoire du Transpaille.  
*Bambey - CNRA : Rapport annuel, 1989.*
42. **SASSE, L.**  
L'installation de biogaz.  
DT. Sentrum für Entwick Lungs Technologien-Gate Dentshe Gesellschaft  
für technische Zusammen arbeit.  
*Viewey : GTZ, 1986 : 89 p.*
43. **SASSON, A.**  
Production d'énergie par les micro-organismes à partir de la biomase :  
bioénergie (229-253).  
In : Les Biotechnologies : défis et promesses.  
*Paris : UNESCO, 1985 : 336 p.*
44. **SEMA**  
Evaluation des énergies renouvelables pour les pays en développement.  
2e éd.  
*Dakar : SEMA, 1980.*
45. **SENEGAL**  
Atlas National du Sénégal.  
*Paris : IGN, 1977 : 147 p.*
46. **SENEGAL**  
Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Industrie.  
*Dakar : Direction de l'Énergie, 1994 :*
47. **SENEGAL**  
L'observatoire des combustibles domestiques n°2.  
*Dakar : Ministère de l'Environnement, 1993 : 12 p.*
48. **SERENE, M.**  
Programme Biogaz-compost (119-128).  
In : Le recyclage des résidus agricoles organiques en Afrique.  
Acte du séminaire tenu à Lomé du 24 au 28 novembre 1980.  
*Rome : FAO - Bulletin pédologique, 1982, (47) : 262 p.*

49. **SOCIETE DE DEVELOPPEMENT DES FIBRES TEXTILES (SODEFITEX)**  
 Projet de développement rural au Sénégal Oriental et en Haute Casamance.  
 In : Développement de la production agricole. Vol. 1  
*Dakar : SODEFITEX, 1980.*
50. **SOKONA, Y.**  
 L'énergie dans les zones rurales en Afrique pour l'environnement, contre la pauvreté.  
 In : Liaison Energie-Francophone n°16.  
*Paris : ACCT, 1992.*
51. **SOW, H.**  
 Le bois - énergie au Sahel. Environnement et Développement.  
*Paris : ACCT ; Karthala ; Wagenongen : CTA, 1900 (Collection Economie et Développement).*
52. **SOW, O.**  
 Production de biogaz par procédé Transpaille.  
*Saint-Louis : SAED, Rapport de stage, 1991.*
53. **STONEHOUSE, D.P. ; STAN, W. ; COMBS, J.H. ; CLARK ; MOWAT, D.N.**  
 Manual biogaz and protein recovery system for beef cattle (477-497).  
*Guelph : School of Agricultural Economics and Extension Education, 1984 (32).*
54. **TANG, Y.H. ; MEGERSA, B**  
 Assessment of selected ARCI sponsored biogaz projets and assistance provided to theme.  
*Dakar : CRAT, 1984 : 29 p.*
55. **THERY, D ; NACRO, M. et al. ; LAGANDRE, E.**  
 Pratique du biogaz dans le tiers monde : Chine, Inde, Haute-Volta, Sénégal.  
*Dakar : ENDA, 1981, 17 p.*
56. **TOINGAR, R.**  
 Systèmes de production et de commercialisation du lait dans le delta du fleuve Sénégal et possibilité d'amélioration.  
*Mémoire de fin d'étude : ENCR Bambey, 1994.*

**57. TOURRAND, J.F.**

L'élevage dans les systèmes de production du delta du fleuve Sénégal.  
Bilan des connaissances . Document de travail.

*Saint-Louis : ISRA - Développement systèmes et transfert, 1985 : 77 p.*

**58. VIAUD, P.**

Energie et Biomasse au Sahel (84-92).

*Dakar : ENSUT ; DAKAR : CRDI, 1984 : 102 p.*

**ANNEXES**

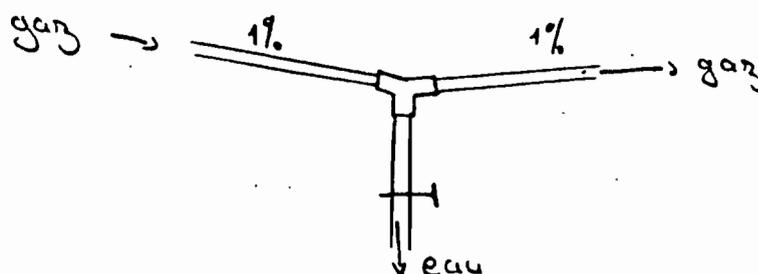
## Annexe I

Les pièges à eaux (GERES et GRET, 1983)

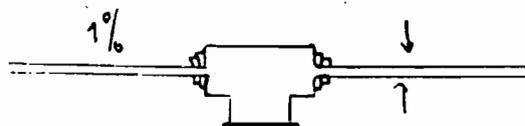
Le gaz qui sort du digesteur est chargé de vapeur d'eau. Les différences de température entre le jour et la nuit, par exemple, provoquent la condensation de l'eau dans les canalisations. L'accumulation de celle-ci mène à l'obturation des canalisations.

Plusieurs types de trappes à eau sont utilisés pour y remédier :

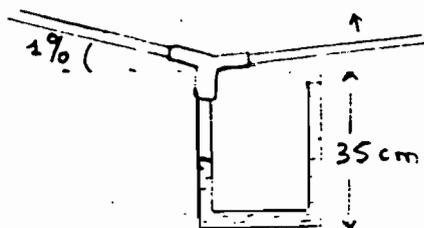
- le modèle en T avec un petit bout de tuyau ou uniquement un robinet ;



- le modèle en PVC de 2" ½ avec bouchon amovible. Cet. peut permettre d'inclure un filtre ou un anti-retour de flamme ;

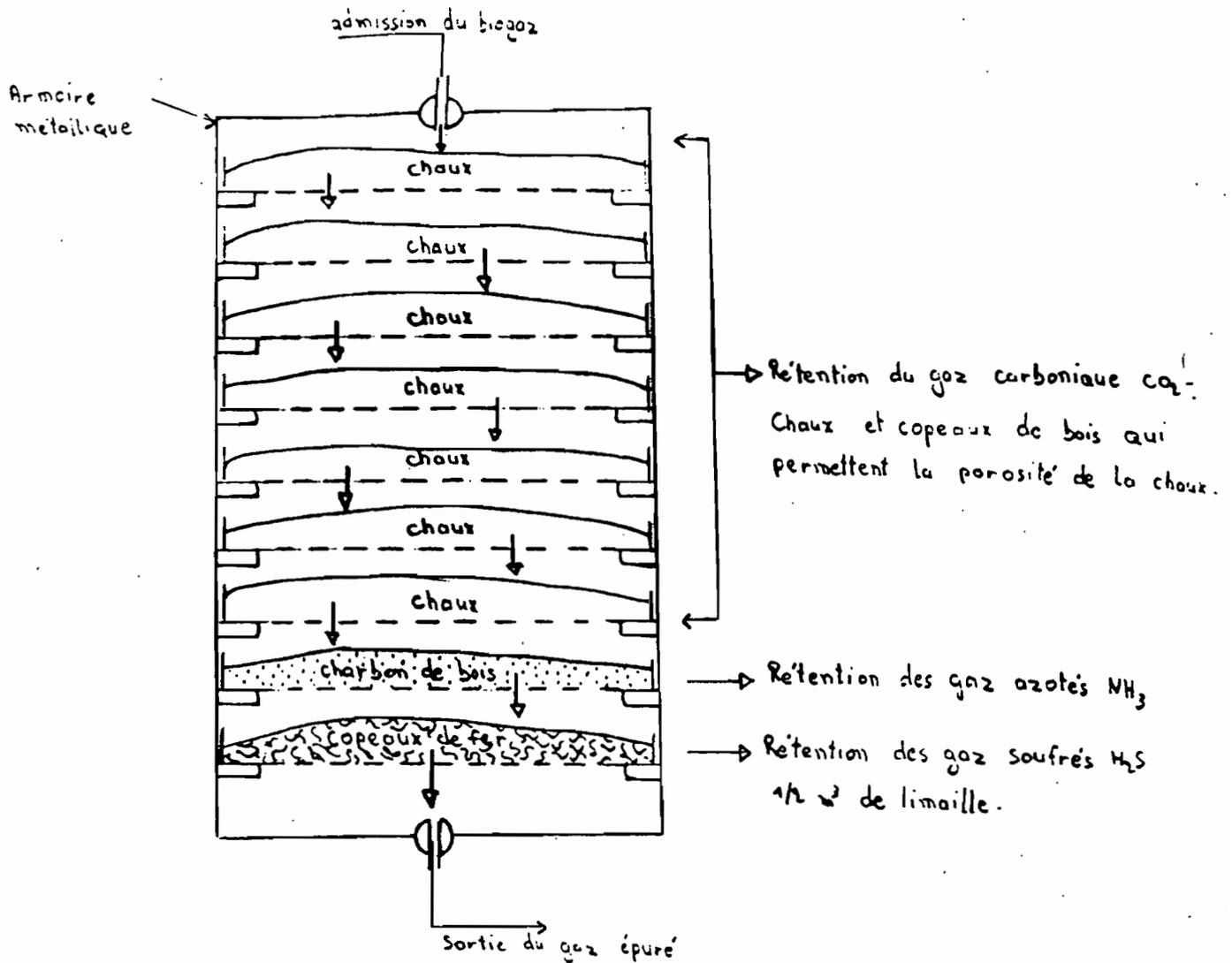


- le tube u U rempli d'eau. La hauteur du U détermine, par ailleurs, la pression maximum de l'installation. Un minimum de 35 cm est à respecter lorsque cette pression n'est pas limitante pour l'installation.



La partie ouverte du tube par où s'écoule l'eau automatiquement, ne doit pas être plus haut que la canalisation.

Il existe d'autres modèles plus élaborés mais qui répondent au même principe de fonctionnement que ceux déjà cités.



Production de gaz : 40 m<sup>3</sup>/jour

Changement des tiroirs tous les 3 ou 4 mois.

Figure : Filtre de l'installation des Amis de l'Homme dans le Lot-et-Garonne  
(France)

Ces systèmes d'épuration ne sont pas efficaces à 100 %. Leur efficacité dépend du renouvellement des matières filtrantes souvent négligé et, en outre, le gaz emprunte des chemins préférentiels qui réduisent l'efficacité.

Il faut savoir que l'épuration du gaz avec des systèmes encore sophistiqués devient rapidement coûteuse et même consommatrice d'énergie. L'épuration doit être justifiée par des impératifs de stockage ou d'utilisation dans des moteurs.

### Les équipements d'épuration

La méthane du biogaz est pratiquement le seul composant du mélange à être intéressant. En effet, le gaz carbonique limite le pouvoir de combustion et prend de la place lors du stockage ; l'hydrogène sulfureux et l'ammoniac sont toxiques, corrosifs et malodorants. Si, souvent, on ne choisit pas d'enlever le  $\text{CO}_2$ , il est toujours prudent d'enlever  $\text{H}_2\text{S}$  et  $\text{NH}_3$ .

#### - Elimination du $\text{H}_2\text{S}$

Elle se fait par passage du gaz sur de la limaille de fer qui noircit de plus en plus et qui peut être régénérée à l'air. Théoriquement, il faut  $0,0352 \text{ m}^3$  de limaille de fer pour traiter  $70 \text{ m}^3$  de biogaz.

#### - Elimination de l'ammoniac

Elle se fait sur du charbon de bois.

#### - Elimination du $\text{CO}_2$

Elle se fait soit par barbotage du mélange dans l'eau (nécessite un volume d'eau important, renouvelé fréquemment) soit par passage du gaz sur de la chaux qui n'est pas régénérée facilement. La consommation théorique est de l'ordre de  $2,5 \text{ kg}$  de chaux vive par mètre cube de  $\text{CO}_2$  (ce qui est important).

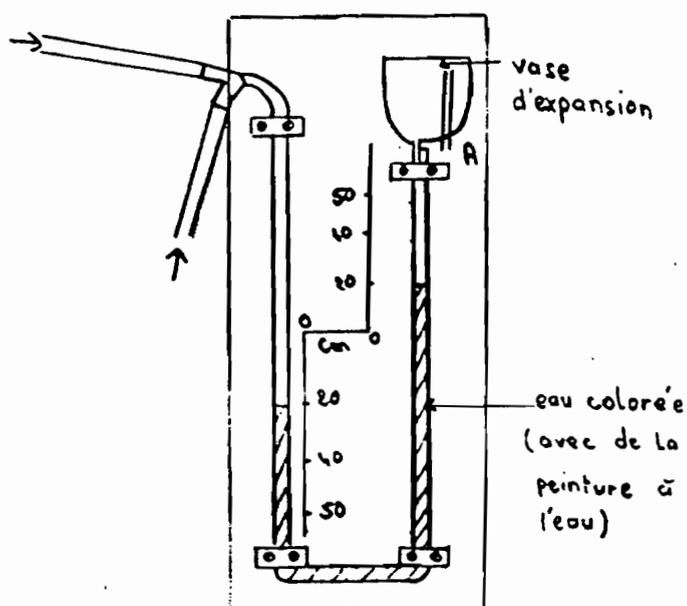
Souvent on utilise un système où les trois filtres sont associés (figure qui suit).

## - Le manomètre (GERES et GRET, 1983)

C'est un système qui est installé en général sur les digesteurs ne comportant pas de système régulateur de pression (un gazomètre par exemple). Il est utile pour connaître la pression du gaz au moment de l'utilisation.

Quand la pression diminue trop, par exemple les brûleurs ne vont pas fonctionner. Le manomètre permet aussi d'apprécier la quantité de gaz disponible.

## Schéma de principe



Ce manomètre peut être réalisé avec un tuyau d'arrosage transparent de  $1 \text{ cm}^2$  de section ou, éventuellement, des tubes de verre. La planche support est marquée d'une échelle graduée en centimètres (ici  $p=20 + 20 = 40 \text{ cm}$ ). Ce vase d'expansion est très important. En effet, lorsque la pression monte, l'eau est stockée dans le vase. Le gaz, si la pression augmente encore plus, pourra s'échapper par A. L'eau étant toujours présente, redescendra pour bloquer l'échappement du gaz lorsque la pression sera redevenue normale.

C'est un point important dans la construction du manomètre. Le vase d'expansion peut être fabriqué à partir de récipients à col large (boîte de café soluble) dans le couvercle desquels on soudera les tuyaux.

## AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE DIFFERENTS TYPES DE FERMENTEURS

## SYSTEME CONTINU : IDIEN ET CHINOIS

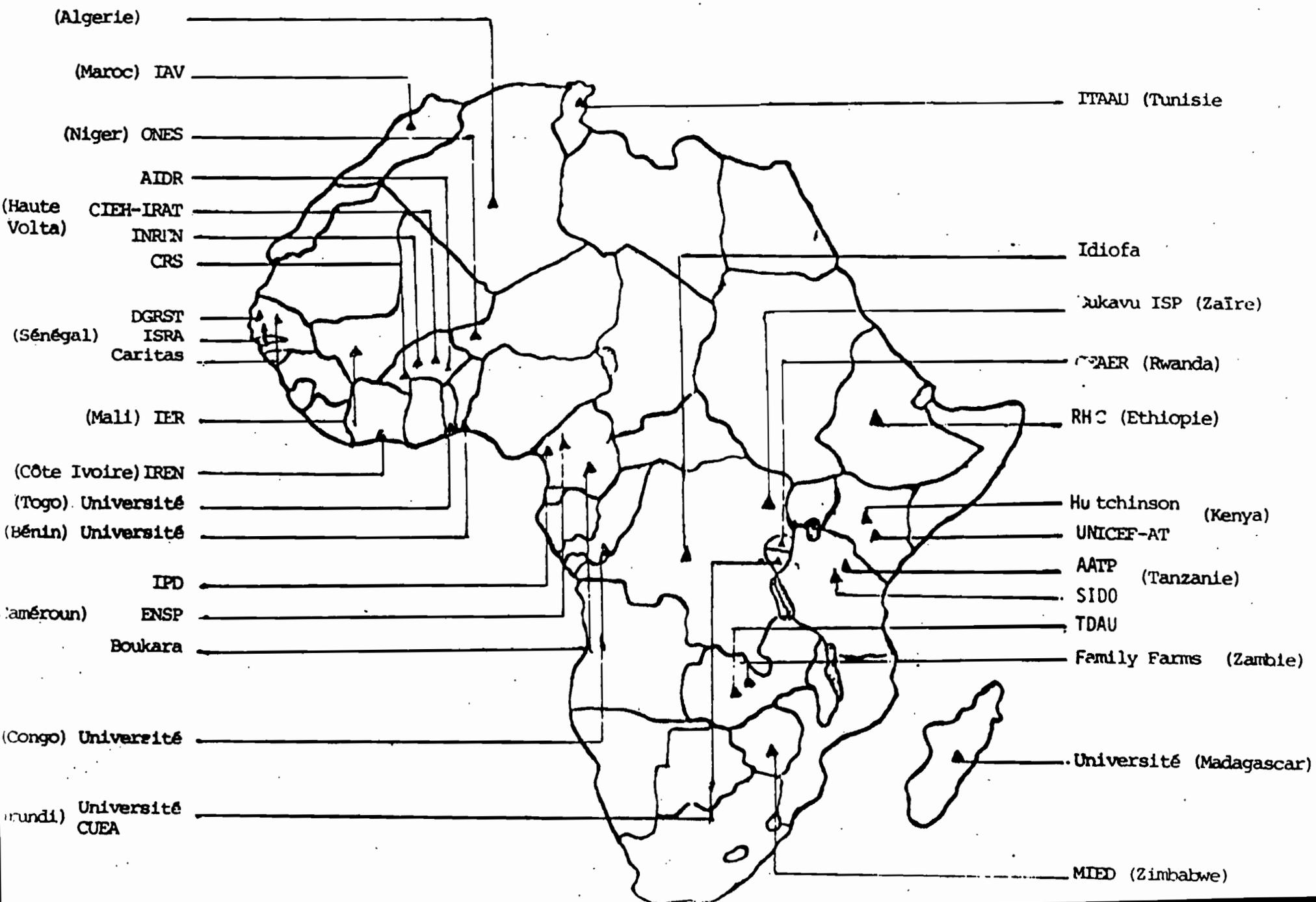
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bien adapté au traitement des effluents d'élevage</li> <li>- Peu de manipulation, et n'exigeant ni beaucoup de main-d'œuvre ni de matériels mécanisés ou modernisés</li> <li>- Coût d'investissement moins élevé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fonctionnement plus délicat nécessitant une surveillance due :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- au phénomène de bouchage des tuyaux d'alimentation et d'évacuation</li> <li>- à l'acidification fréquentes</li> <li>- à la formation de mousse qui gêne l'évacuation de biogaz</li> <li>- à la formation de sédiments dans le fond des digesteurs</li> <li>- consommation élevée d'eau</li> <li>- faible rendement</li> <li>- possibilités de fuite de gaz difficile à localiser</li> <li>- alimentation régulière</li> </ul> </li> </ul>

## SYSTEME DISCONTINU : SARIA - CIEH

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accepte toutes les matières celluloses quel que soit leur texture : fumier à 75% de MS, paille, ordures ménagères</li> <li>- Rusticité facilitant ses sa diffusion</li> <li>- Faible consommation d'eau</li> <li>- Déchargement et chargement une seule fois pendant la durée de la digestion</li> <li>- Relative simplicité de fonctionnement ne nécessitant que très peu de surveillance :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- risque d'acidification à ne pas craindre</li> <li>- substrat plus ou moins solide, plus facilement disponible</li> </ul> </li> <li>- Fermentation complète : élimination des germes pathogènes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessité d'avoir plusieurs cuves si l'on souhaite voir une production régulière</li> <li>- Importance des manipulations exigeant beaucoup de main-d'œuvre lors des opérations de vidange et de chargement</li> <li>- Prétraitement des déchets solides avant la fermentation en cuve</li> <li>- Laisser échapper du gaz au niveau de la fonction couvercle - cuve</li> </ul>

## SYSTEME CONTINU : TRANSPAILLE

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Productions régulière, stable et continu de gaz</li> <li>- Bien adapté au traitement des déchets celluloses, résidus agricole, ordures ménagères</li> <li>- Faible consommation d'eau</li> <li>- Relative simplicité de fonctionnement : mécanisation</li> <li>- Pas de main d'œuvre</li> <li>- Rendement élevé en gaz</li> <li>- Possibilité d'y incorporer un système de chauffage automatique ce qui permet de maintenir un fonctionnement normal même en période de froid</li> <li>- Unités de taille variable : allant de petites installations familiales de 3 m<sup>3</sup> au gros réacteur pour les agro-industries</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessite un bon entretien : la pompe hydraulique est très sensible</li> <li>- Possibilité de formation de sédiment et de croûte qui empêche le déplacement de l'arbre central</li> <li>- Existe des possibilités de fuite de gaz au niveau de la trémie et de la fosse de réception</li> <li>- Coût d'investissement relativement plus élevé.</li> </ul>



## Annexe 6

## SYSTEMES RECENCES AU SENEGAL

Régions et Départements	Site	Date de mise en service	Système	Fonction	Partenaires
Delta du fleuve Sénégal	Tbiagar Mbane	1991 1993	Transpaille Transpaille 3,5m <sup>3</sup>	Cuisson Cuisson	SAED- AGRIFORCE -CIRAD
	Kassack nord Ndombo	1993 1993	- -	Cuisson Cuisson	
Bakel	Bakel	1994	Transpaille ...m <sup>3</sup>	-	-
Bembey	CNRA (ISRA)	1983	Transpaille 20 m <sup>3</sup>	Intégré moteur dual fuel irrigation compost	ISRA AFME
Capt-Vert (Niayes)	Thieudème 20 ha	1989	Transpaille 12 m <sup>3</sup>	Eclairage Réfrigération Compost	ISRA SOSEDRAA
Thies	SERAS	1988	Transpaille 40 m <sup>3</sup>	Réfrigération Compost (plan motte)	ISRA CIRAD AFME FAC
Louga	Centre agro-pastoral SASAL	1990	Chinois (continu) 30m <sup>3</sup>	Electrification Cuisson Compost	CRAT CERER
Cap-Vert	Niacoulrab	-	-	Electrification Compost	-
Mbour	Ndiouk - Fissel	1978	Indien (continu)	Cuisson Eclairage	CARITAS
Tambacounda	Bina	1989	Gazogène en bois 3 à 45 kw	Pompe pour irrigation	ITALIE DAST
Mbour	Centre de formation Nianing	1984	Indien (32 m <sup>3</sup> )	Cuisson	CARITAS
Mbour	Centre de formation Nianing	1985	Zaïrois (modifié)	Eclairage Chauffage du poulailler	CARITAS ENDA
Kolda	Dialambéré	1990	Chinois (discontinu) 4 cuves de 4,25 m <sup>3</sup> d'écume	Eclairage Pompe pour irrigation Mouture	ENDA - AFD

Oussouye	Thionk Essyl	1989	Chinois (discontinu) 6,3 m <sup>3</sup>	Moto pompe	ENDA
Ziguinchor	Badiatte	1986	Chinois (discontinu) cuve de 6,3 m <sup>3</sup>	Moto pompe	ENDA
Ziguinchor	Diobour	1985	Modèle familiale continu 7 m <sup>3</sup>	Eclairage	ENDA
Ziguinchor	Maternité et Dispensaire Badiana	1983	Chinois (discontinu) 2 cuves de 4,5 m <sup>3</sup>	Eclairage Stérilisation Réfrigération	ENDA CARITAS

## MOYENNE, PAR ESPECE, D'ANIMAUX ELEVES PAR LES FEMMES

	Espèces	Moyenne	Maximum	Minimum	Ecart-type	Nbr de cas
Cas du Delta	Bovins	0,00	0	0	0,00	9
	Ovins	1,11	7	0	2,42	9
	Caprins	2,22	20	0	6,67	9
	Volaille	50,33	89	0	51,37	10
	Chevaux	0,00	0	0	0,00	10
	Anes	0,00	0	0	0,00	10
Cas de la Haute Casamence	Bovins	1,18	8	0	1,93	44
	Ovins	2,39	14	0	3,74	44
	Caprins	1,24	25	0	4,57	44
	Volaille	1,32	13	0	3,07	44
	Chevaux	0,07	1	0	0,25	44
	Anes	0,07	1	0	0,25	44
Cas général	Bovins	0,98	8	0	1,81	53
	Ovins	2,17	14	0	3,72	53
	Caprins	1,91	25	0	4,92	53
	Volaille	10,39	99	0	28,72	54
	Chevaux	0,06	1	0	0,23	54
	Anes	0,06	1	0	0,23	54

## ENQÊTE EXPLOITATION QUESTIONNAIRE

Identification

DATE

Village

Nom de la répondante

Besoins en énergie

Nature

Quantité

Activité agriculture-élevage

. Potentiel fourrager

type

qualité récolté

mode de stockage

couverture des besoins du troupeau

. Résidus de récolte

nature

utilisation dans l'alimentation du bétail

. Jachère

la pratique-t-on ?

oui

non

conduite des animaux sur les parcelles

## Elevage-énergie

- . Valorisation de la fumure organique
- . Y a-t-il concurrence avec la nouvelle technologie ?  
(système biogaz/compost)
- . Biogaz

**avantage**

**inconvenient**

**propositions d'amélioration**

## GUIDE D'ENTRETIEN VILLAGE

Identification du village

Ressources humaines

Sources d'énergie traditionnelles et approvisionnement

NATURE

MODALITE D'APPROVISIONNEMENT

Rôle des femmes dans la fourniture en énergie

niveau de participation

temps d'acquisition

contraintes (exposé des problèmes rencontrés)

Effets des prélèvements sur l'environnement

immédiat

futur

Perspectives, technologie et conservation des ressources naturelles : unité biogaz/compost

Biogaz

. Points de vue sur le biogaz (interprétation du programme)

- . Etat de fonctionnement et l'approvisionnement (en énergie - gaz)
- . L'utilisation
- . Niveau de participation des femmes dans la gestion de l'unité

## SUBSTRATS

## DIGESTEUR

## PRODUITS

- . La cuve de fermentation peut-elle être considérée comme un outil de la ménagère ?
- . Est-ce un outil qui améliore le confort de son travail ?
- . Niveau de couverture des besoins en énergie par rapport aux objectifs de départ
- . Qu'est-ce qu'elles souhaiteraient avoir ?
- . Exposé des problèmes les plus urgents.

Quelles sont les conditions d'intégration socio-économiques de cette nouvelle source d'énergie ?

## Compost :

. Comment est-il accueilli par rapport aux méthodes d'amendement traditionnelles et de l'engrais minéral ?

. Y a-t-il une disponibilité en eau suffisante pour fabriquer le compost ?

. Quelles sont les utilisateurs ?

. Résultats agronomiques : exemple concrets de valorisation du compost.

. Problèmes liés à la répartition entre les exploitants et sur les terres ?

Effets sur l'environnement de cette nouvelle technologie : biogaz/compost

. Changements observés

. Conduite des troupeaux

. L'approvisionnement du digesteur est-il susceptible d'introduire une concurrence dans la valorisation du substrat disponible ?

. Est-ce qu'on n'a pas tendance à multiplier les difficultés à résoudre et à en tirer peu d'avantage ?

\* si oui pourquoi ?

\* si non pourquoi ?

La construction et le fonctionnement d'un digesteur ne risquent pas d'apporter un travail supplémentaire ou un transfert de charge de l'homme vers la femme ?

Finances :

Quelles sont les sources de financement ?

. Nationales

. Internationales

Qu'est-ce qui a été pris en charge par la population ?

**Evaluation des gains espérés de l'unité sur le plan économique et social**

## SERMENT DES VETERINAIRES DIPLOMES DE DAKAR



«Fidèlement attaché aux directives de Claude BOURGELAT, fondateur de l'Enseignement vétérinaire dans le monde, je promets et je jure devant mes Maîtres et mes Aînés :

- D'avoir en tous moments et en tous lieux le souci de la dignité et de l'honneur de la profession vétérinaire ;
- D'observer en toutes circonstances les principes de correction et de droiture fixés par le code de déontologie de mon pays ;
- De prouver par ma conduite, ma conviction, que la fortune consiste moins dans le bien que l'on a, que dans celui que l'on peut faire ;
- De ne point mettre à trop haut prix le savoir que je dois à la générosité de ma patrie et à la sollicitude de tous ceux qui m'ont permis de réaliser ma vocation.

**QUE TOUTE CONFIANCE ME SOIT RETIRÉE  
S'IL ADVIENT QUE JE ME PARJURE.»**

## RESUME :

11 Installations de biogaz dont 10 au niveau du delta du fleuve Sénégal et 1 en Haute Casamance ont été étudiées.

Parallèlement, 54 femmes utilisatrices du biogaz ont été enquêtées.

Dans les sites, les investigations ont porté sur l'évaluation des disponibilités en substrats fermentescibles et sur l'étude des enjeux et des contraintes liés à la filière biogaz/compost.

Des résultats, il ressortait qu'il existe un bon potentiel en substrats constitués des résidus de culture abandonnés ou brûlés et du fumier issu des petits élevages entretenus par les femmes.

Toutefois, les unités de biogaz étaient sous-utilisées. Sur 54 femmes seules 42,6 % assuraient la gestion correcte des installations qui leur étaient destinées. Conséquence, les productions journalières de gaz obtenues ont été médiocres et réduites à 50% par rapport aux performances théoriques. Cette situation a entraîné la hausse du coût réel du m<sup>3</sup> du biogaz. De même le coût de la préparation des repas avec ce combustible revenait plus cher qu'avec le bois de feu et le charbon de bois. Ces coûts ont été de 1 654 F CFA pour le biogaz, 1 370 F CFA pour le bois de feu et 1 190 F CFA pour le charbon de bois.

**Mots clé :** Biogaz - compost - substrat - analyse économique - étable fumière - utilisations domestiques - Sénégal

**ADRESSE :** Mlle Mame FABALLA NDIAYE  
Rues 24 X 29 Médina  
Immeuble Mbaye DIOP (2e étage à gauche)  
**DAKAR**

ECOLE INTER-ETATS  
DES SCIENCES ET MEDICINE  
VETERINAIRE  
BIBLIOTHEQUE