



REPUBLIQUE DU SENEGAL

MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE ET DE L'ASSAINISSEMENT

OFFICE NATIONAL DE L'ASSAINISSEMENT DU SENEGAL



Programme de Structuration du Marché des Boues de Vidange en faveur des ménages démunis de
Pikine et Guédiawaye (PSMBV)

BILL & MELINDA
GATES *foundation*

ETUDE D'ETABLISSEMENT D'UNE BASE DE REFERENCE POUR LE PROJET
BIOGAZ

RAPPORT FINAL

Novembre 2013



Services
de l'énergie en
milieu sahélien

Espace Résidence, Immeuble 14 – N°21, Han Mariste • BP 652 Dakar RP, Sénégal
tél. : (221) 33 832 73 97 • Fax : (221) 33 832 61 89 • Email : b.sadasy@semis.sn
SARL au capital de 5 000 000 Francs CFA • RC SN STL 87 B 69 • NINEA : 24298942k2

SOMMAIRE

RESUME EXECUTIF	9
<u>1 INTRODUCTION.....</u>	<u>14</u>
1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE ET JUSTIFICATIONS	14
1.1.1 CONTEXTE	14
1.1.2 JUSTIFICATION	14
1.2 OBJECTIF SPECIFIQUE DE L'ETUDE.....	15
<u>2 DEMARCHE METHODOLOGIQUE.....</u>	<u>16</u>
2.1 REVUE DOCUMENTAIRE	16
2.2 ÉLABORATION DES OUTILS DE COLLECTE.....	17
2.3 ENTRETIENS.....	17
2.4 VISITE DE TERRAIN.....	17
<u>3 ETAT DES LIEUX DE LA PRODUCTION DE BIOGAZ AU SENEGAL</u>	<u>18</u>
3.1 AU NIVEAU DU CADRE POLITIQUE, INSTITUTIONNEL ET REGLEMENTAIRE DU SECTEUR DE L'ENERGIE	18
3.1.1 LE CADRE POLITIQUE DU SECTEUR DE L'ENERGIE	18
3.1.2 LE CADRE INSTITUTIONNEL DU SOUS-SECTEUR DE L'ELECTRICITE.....	20
3.1.3 LE CADRE REGLEMENTAIRE DU SECTEUR DE L'ENERGIE	22
3.1.4 ANALYSE DU CADRE POLITIQUE, INSTITUTIONNEL ET REGLEMENTAIRE REGISSANT LE SECTEUR DES ENERGIES RENOUVELABLES.....	23
3.2 LES INTERVENANTS DU SOUS-SECTEUR DU BIOGAZ	23
3.2.1 LES INTERVENANTS INSTITUTIONNELS	24
3.2.2 LES AGENCES:	24
3.2.3 LES PROJETS ET LES PROGRAMMES	25
3.2.3.1 Le Programme National Biogaz du Sénégal (PNB-SN) :.....	25
3.2.3.2 Instituts de recherche.....	26
3.2.4 LES ONG ET ORGANISATIONS PAYSANNES :	27
3.2.4.1 Le secteur privé	28
3.3 AU NIVEAU DES TECHNOLOGIES DE PRODUCTION DU BIOGAZ UTILISEES AU SENEGAL : ASPECTS TECHNIQUES ET FINANCIERS.....	29
3.3.1 ASPECTS TECHNIQUES.....	29
3.3.1.1 Inventaire des technologies de production de biogaz et des substrats utilisés au Sénégal	30
3.3.1.1.1 Digesteur en bache (SOGAS Dakar).....	31
3.3.1.1.2 Technologie PNB-SN : Biodigesteur à dôme fixe GGC.....	36
3.3.1.1.3 Station d'épuration STEP Cambéréne.....	37
3.3.1.2 Analyse descriptive des modes de valorisation du biogaz et du digestat	38
3.3.1.3 Évaluation des rendements des unités de biogaz et l'accessibilité des substrats.....	39
3.3.1.3.1 Rendement de l'unité de production de biogaz de la STEP de Cambéréne	39
3.3.1.3.2 Rendements de l'unité de production de biogaz du PNB-SN	40
3.3.1.3.3 Rendements de l'unité de production de biogaz des abattoirs de Saint-Louis et Dakar.....	40
3.3.2 ASPECTS FINANCIERS : COUTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION DES UNITES DE BIOGAZ.....	41

3.3.2.1	Évolution des investissements publics dans le secteur du Biogaz au Sénégal	41
3.3.2.2	Coûts actuels d'investissement et d'exploitation des unités de biogaz selon les substrats et les modes de valorisation	43
3.3.2.2.1	Cas des biodigesteurs domestiques	43
3.3.2.2.2	Cas des biodigesteurs industriels.....	43
3.3.2.2.2.1	Biodigesteur en bache (SOGAS Dakar)	43
3.3.2.2.2.2	Unité de production de biogaz de la STEP de Cambérène	44
3.3.2.2.2.3	Production collective de biogaz de l'Abattoir de Saint Louis	44
3.3.2.3	Évaluation des coûts annuels d'exploitation	45
3.3.2.3.1	Cas d'une unité de production domestique de biogaz	45
3.3.2.3.2	Coûts d'exploitation pour les unités industrielles.....	46
3.3.2.3.2.1	Unité de production de biogaz à la SOGAS de Dakar :	46
3.3.2.3.2.2	Unité de biogaz type STEP de CAMBERENE :	46
3.3.2.3.2.3	Unité de biogaz (SOGAS St-Louis)	47
3.3.3	AU NIVEAU DU POTENTIEL DES MATIERES PREMIERES (SUBSTRATS).....	47
3.3.3.1.1	La biomasse sèche	48
3.3.3.1.1.1	Biomasse d'origine agricole.....	48
3.3.3.1.1.2	Le secteur de l'élevage	50
3.3.3.1.1.3	La biomasse aquatique : le typha.....	52
3.3.3.1.1.4	Les déchets solides municipaux	54
3.3.3.1.2	La biomasse humide.....	57
3.3.3.1.2.1	Les effluents des abattoirs	57
3.3.3.1.2.2	Les effluents industriels.....	58
3.3.3.1.2.3	Les eaux usées domestiques	58
3.3.3.2	La synthèse sur les substrats disponibles.....	60
3.4	NIVEAU D'UTILISATION ET MODES DE VALORISATION DU BIOGAZ AU SENEGAL	62
3.4.1	UTILISATION DOMESTIQUE DU BIOGAZ	62
3.4.1.1	Cuisson	62
3.4.1.2	L'éclairage.....	63
3.4.1.3	Le compost	63
3.4.2	UTILISATION INDUSTRIELLE POUR LA PRODUCTION D'ELECTRICITE.....	63
3.4.2.1	Valorisation du Biogaz à SOGAS DAKAR.....	64
3.4.2.1.1	Utilisation du compost.....	64
3.4.2.2	Station d'épuration (STEP) de Cambérène	64
3.4.2.2.1	Utilisation du Compost.....	65
3.5	EFFETS ET IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DES UNITES DE BIOGAZ.....	65
3.5.1	EVALUATION DES IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES	65
3.5.2	ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES UNITES DE BIOGAZ	66
3.5.2.1	Impacts Environnementaux majeurs des unités de production de biogaz	66
3.5.2.2	Impacts Positifs réels et prévisibles.....	66
3.5.2.3	Impacts sanitaires	67
3.5.2.4	Impacts biophysiques	67
3.5.2.5	Impacts sur la qualité de l'air intérieur des habitations	68
3.5.2.6	Impacts négatifs réels et potentiels.....	70
3.5.2.7	Problématique des odeurs dans l'exploitation des technologies de biogaz	70
3.5.2.8	Risques sanitaires de la biométhanisation	70
3.5.2.9	Risques d'explosion du gaz.....	70
3.5.3	DIAGNOSTIC TECHNIQUE ET FINANCIER DES EXPERIENCES DE BIOGAZ AU SENEGAL	71
3.5.3.1	Performances Techniques et Financières des expériences fonctionnelles au Sénégal	71

3.5.3.2	Insuffisances Techniques et Financières des expériences non fonctionnelles au Sénégal	71
3.5.4	EXPERIENCES TIREES DE LA SOUS-REGION.....	71
3.5.4.1	Cas de la Gambie.....	71
3.5.4.2	Cas du Ghana.....	73
3.5.4.3	Cas du Burkina Faso.....	74
4	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	75
5	RECOMMANDATIONS.....	80
6	BIBLIOGRAPHIE	81
7	ANNEXES.....	82
7.1	ANNEXE1 : LISTE DES PERSONNES RENCONTREES.....	82
7.2	ANNEXE2 : TABLEAU DE SYNTHESE DES EXPERIENCES DU BIOGAZ AU SENEGAL.....	84

Liste des figures

Figure 1:	Schéma institutionnel du secteur de l'électricité au Sénégal	20
Figure 2:	Cartographie des lieux actuels de diffusion du biogaz au Sénégal	30
Figure 3:	Schéma de principe du biodigesteur (SOGAS Dakar) vue de profil et vue de dessus.....	32
Figure 4:	Fosse du digesteur	32
Figure 5:	Système d'échangeur de chaleur	33
Figure 6:	Désulfurisateur	33
Figure 7:	Mixeur submersible de 13 kW.....	33
Figure 8:	Digesteur à bâche de SOGAS Dakar	33
Figure 9:	Installation de l'entreprise BIOECO (St-Louis).....	34
Figure 10:	Schéma de principe de méthanisation.....	34
Figure 11:	Cheminement de la matière première et principe du procédé.....	35
Figure 12:	PNB-SN: Présentation du biodigesteur GGC-2047	36
Figure 13:	Biodigesteur PNB-SN.....	36
Figure 14:	Digesteurs et gazomètre de la STEP.....	38
Figure 15:	Schéma des modes de valorisation du biogaz et du digestat.....	39
Figure 16:	Production journalière de biogaz en m3 en fonction de la taille du biodigesteur	40
Figure 17:	Production journalière de biogaz en fonction de la quantité de bouse de vache.....	40
Figure 18:	Biodigesteurs de la STEP de Cambérène	41
Figure 19:	Schéma et la photo du biodigesteur de la SERAS de Thiès.....	42
Figure 20:	Potentiel de typha localisé à Saint Louis	53
Figure 21:	Schéma de principe d'un CET.....	59
Figure 22:	Niveau d'utilisation par type de biodigesteurs dans la zone de diffusion.....	62
Figure 23:	Lampe à gaz utilisé par des villageois	63
Figure 24:	Abri du PCCE /Tableau commande/ intérieur du PCCE	64
Figure 25:	Biodigesteur du modèle discontinu.....	74
Figure 26:	Taux d'accès au biogaz domestique par région (%).....	79

Liste des tableaux

Tableau 1:	Chargement quotidien de substrat à la SOGAS DE Dakar.....	31
Tableau 2:	Liste équipements de biogaz (SOGAS St-Louis).....	35
Tableau 3:	Teneur en méthane	39
Tableau 4:	Quantité de biogaz des abattoirs.....	41
Tableau 5 :	Évaluation des coûts d'investissement en fonction de la taille du digesteur.....	43
Tableau 6:	Composition des coûts d'investissement du bio digesteur de la SOGAS (Dakar).....	43

Tableau 7: Coût d'investissement de la STEP de Cambérène.....	44
Tableau 8: Coûts d'investissement de l'unité de biogaz de SOGAS (Saint-Louis).....	45
Tableau 9: Evaluation des coûts d'exploitation pour les différentes unités du PNB-SN	45
Tableau 10: Détermination du m3 de biogaz pour les unités domestiques (PNB-SN).....	46
Tableau 11: Coût annuel d'exploitation de l'unité de production de biogaz (SOGAS Dakar).....	46
Tableau 12: Evaluation du coût d'exploitation annuel de l'unité de production de biogaz de la STEP de Cambérène	47
Tableau 13: Coûts annuel d'exploitation (Unité biogaz de SOGAS St-Louis).....	47
Tableau 14 : les différents types de substrats disponibles pour la production de biogaz	47
Tableau 15: Evolution de la production céréalière du Sénégal (2002 -2012)	49
Tableau 16: Répartition de la production céréalière de 2011/2012.....	49
Tableau 17: Evolution des effectifs de l'élevage au Sénégal	50
Tableau 18: caractéristiques des principaux résidus agricoles	51
Tableau 19: Productions annuelles en résidus des principales céréales du Sénégal.....	51
Tableau 20: Production de fumier par le bétail	51
Tableau 21: Potentiel de biogaz du cheptel au Sénégal	52
Tableau 22: Evaluation des superficies infestées de typha en juin 2009.....	53
Tableau 23: Caractéristiques des ordures ménagères de la région de Dakar.....	55
Tableau 24: Caractéristiques des ordures ménagères de la région de Dakar.....	55
Tableau 25: Potentiel total de biogaz des déchets solides municipaux	57
Tableau 26: Potentiel d'énergie	57
Tableau 27: Evaluation du potentiel énergétique des effluents de Dakar	58
Tableau 28: Potentiel en biogaz et électricité des eaux usées urbaines	58
Tableau 29: Caractéristique des lixiviats	59
Tableau 30: Potentiel énergétique du lixiviat.....	60
Tableau 31: La répartition du potentiel théorique de biogaz suivant le type de substrat.....	61
Tableau 32: Valeurs comparatives des propriétés du bio-fertilisant par rapport au purin et au compost	67
Tableau 33: Quantité de polluants selon le type de combustibles utilisé	69
Tableau 34 : Synthèse de la situation de référence du Biogaz au Sénégal.....	77
Tableau 35: Contribution du biogaz industriel dans le mix énergétique	78
Tableau 36: Contribution du biogaz domestique dans le mix énergie domestique	78
Tableau 37: Niveau de pénétration du biogaz domestique dans la comptabilité énergétique domestique du Sénégal.....	79
Tableau 38: Répartition du nombre du biodigesteurs domestiques par région	79

Liste des acronymes et abréviations

ABS	African Building services
ANER	Agence Nationale des Énergies Renouvelables
ANEV	Agence Nationale des Eco-villages
ASER	Agence Nationale d'Électrification Rurale
BOO	Build Operate Own
BOT	Build Operate Transfert
CERER	Centre d'Étude et de Recherche sur les Énergies Renouvelables
CIRAD	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CRAT	Le Centre Régional Africain de Technologie
CREPA	Centre Régionale pour l'Eau Potable et l'Assainissement
DBO	Demande Biochimique en Oxygène
EDE	Eau Déchet Environnement
ENDA TM	Environnement et Développement du Thiers Monde
EnR	Energie Renouvelable
GGC	Gobar Gas Company
ISRA	Institut Sénégalais de Recherche Agricole
kWh	kiloWatt Heure = 8,25 e-5 TEP
LPDSE	Lettre de Politique de Développement du Secteur de l'Energie
LPSE	Lettre de Politique du Secteur de l'Energie
ONAS	Office Nationale d'Assainissement du Sénégal
PNB-SN	Programme National Biogaz Sénégal
PROGEDE	Programme de Gestion Durable et Participative des Énergies Traditionnelles et de Substitution
SENELEC	Société Nationale d'Électricité
SOGAS	Société de gestion des Abattoirs du Sénégal
Tr/mn	Tour par minute
UGPM	Union des Groupements de Paysans et Maraîchers
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DUE	Direction de l'Urbanisme et de l'Environnement
DEEC	Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés
ICPE	Installation Classée pou la Protection de l'Environnement
STEP	Station d'Épuration
STEPBV	Station d'Épuration(ou de Traitement) des Boues de Vidange
DPES	Document de Politique Economique et Sociale
CNUCC	Convention des Nations Unies sur les Changements Climatiques
ONG	Organisation Non Gouvernementale
FAO	Food and Agriculture Organization
CADAK/CAR	Communauté des Agglomérations de Dakar/ de Rufisque
SEMIS	Service de l'Energie en Milieu Sahélien
LAMNET	Latin America Thematic Network on Bioenergy
N.m3	Mètre cube normal de gaz (soit 0.00058 TEP pour le biogaz à 60% de méthane)
TEP	Tonne Equivalent Pétrole
SOCOCIM	Société de Commercialisation du Ciment
ICS	Industries Chimiques du Sénégal
IPP	Institutions Privées Partenaires
SES	Situation Economique et Sociale du Sénégal
IPA	Innovation for Poverty
PSMBV	Programme de Structuration du Marché des Boues de Vidange
SERAS	Société d'Exploitation des Ressources Animales du Sénégal

Concepts et terminologies

Plusieurs mots clés sont employés quand il s'agit de biogaz. Leur compréhension peut différer selon le contexte. Aussi, afin d'avoir la même compréhension des termes et concepts qui seront utilisés dans ce document, il importe de définir, d'emblée, le sens généralement accepté pour chacun d'eux.

Le biogaz est un gaz issu du processus de dégradation biologique de matières organiques en l'absence d'oxygène, il contient, majoritairement, du méthane et du dioxyde de carbone. Il est produit dans les installations de stockage des déchets ou encore dans les méthaniseurs ou biodigesteurs. Combustible, il peut être valorisé énergétiquement. Il doit, sinon, être détruit par combustion (torchère) car, il peut être à l'origine d'importantes nuisances notamment olfactives et peut constituer un puissant gaz à effet de serre.

Synonymes : bio-méthane ; biogaz de décharge ; gaz d'enfouissement, gaz des marées

La biométhanisation est le processus de digestion anaérobie de la fraction organique des substrats riches en carbone, processus à partir duquel, est produit le biogaz riche en méthane. Cette dégradation de la matière se réalise généralement dans un digesteur, ou réacteur, qui a pour but de contrôler la méthanisation (digestion anaérobie) et de stocker le biogaz, de façon temporaire, avant qu'il ne soit valorisé sous ses différentes formes d'énergie potentielles. Lors de la méthanisation, la matière organique qui compose le flux d'entrée (alimentation ou influent) est transformée en deux sous produits (biogaz et compost). Quant au flux sortant, il est généralement appelé « digestat » et se compose de substrats partiellement ou totalement digérés.

Biomasse sèche : elle est caractérisée par sa forme solide et est constituée par les déchets agricoles, les ordures ménagères (déchets solides municipaux), la biomasse solide d'origine aquatique (typha, algues marines, jacinthe d'eau, laitue d'eau, etc.).

Substrat : matière organique utilisée pour la production de biogaz.

Déchets agricoles : au sens large du terme, ils comprennent les résidus de récoltes, les fumiers des animaux d'élevage et la biomasse d'origine forestière.

MF (masse fraîche) = MB (masse brute) : Masse d'un substrat ou d'une matière dans son état original (y compris sa teneur en eau)

ST (solides totaux) ou TS (total solids) = MS (matière sèche) ou DM (dry matter) : Masse d'un substrat dépourvu de son contenu en eau (généralement mesurée après évaporation de l'eau à 105°C et retour à température ambiante)

MVS (matière volatile sèche) ou VS (volatil solids) est la matière d'un substrat qui se volatilise entre 105 et 550°C

MOS / oMS (matière organique sèche) ou oDM (organic dry matter) = oTS (organic total solids) est la matière organique d'un substrat (généralement mesurée par MVS ou VS)

TR (temps de rétention) ou RT (retention time) = TS : temps moyen passé par un substrat dans un système fermé

TRH (temps de rétention hydraulique) ou HRT (hydraulic retention time) = TSH (temps de séjour hydraulique) ou HST (hydraulic residence time) : temps moyen pendant lequel le substrat reste dans le digesteur (rapport entre le volume utile de la cuve et le volume de matière fraîche alimenté quotidiennement)

Potentiel méthanogène : rendement maximum en biogaz ou en méthane que le réacteur peut atteindre pour un substrat donné

Rbiogaz (rendement en biogaz) : Rendement en biogaz ou en méthane atteint en pratique, selon le temps de séjour et la température fixée (< potentiel méthanogène)

Ordures ménagères : Selon le décret n°74-338 du 10 avril 1974 réglementant l'évacuation et le dépôt des ordures ménagères (article deux), elles comprennent :

- Les détritiques de toute nature comprenant notamment : déchets domestiques, cendres, débris de verre ou de vaisselle, papiers, balayures et résidus de toute sorte déposés dans des récipients individuels ou collectifs ;
- Les déchets provenant des établissements industriels et commerciaux, bureaux, administrations, cours et jardins privés ou publics déposés dans des récipients individuels ou collectifs ;
- Les crottins, fumiers, feuilles mortes, boues et, d'une façon générale, tous les produits provenant du nettoyage des voies et places publiques, voies privées, jardins publics, parcs, cimetières et leurs dépendances, rassemblés en vue de leur évacuation ;
- Les produits du nettoyage et détritiques des halles, foires, marchés, lieux de fête publiques, lieux d'attache des bêtes de somme ou de trait, rassemblés en vue de leur évacuation ;
- Les résidus en provenance des écoles, casernes, hôpitaux, prisons ou tous bâtiments publics groupés sur des emplacements déterminés dans des récipients réglementaires (à l'exclusion des produits souillés et des issues d'abattoirs)

- Le cas échéant, tous objets abandonnés sur la voie publique ainsi que les cadavres de petits animaux.

Synonyme : déchets solides municipaux

Bio-déchets : déchets biodégradables solides, pouvant provenir des ménages, d'industries agro-alimentaires, de professionnels des espaces verts publics et privés, d'horticulteurs, de commerçants et supermarchés, de cantines scolaires et restaurants, etc. Les bio-déchets des ménages comportent les déchets alimentaires, les déchets verts ou déchets de jardin, les papiers et cartons.

Biomasse humide : elle comprend les eaux usées domestiques, les effluents industriels, les lixiviats, les boues (boues résiduaires des stations d'épuration, les boues de vidange). Contrairement à la biomasse sèche, la charge organique de la biomasse humide est exprimée en DCO (Demande chimique en oxygène), en DBO (demande biologique en oxygène) en teneur de matières en suspension MES. Les grandeurs ainsi mesurées et exprimées en mg/l, traduisent la charge polluante des effluents.

Effluent industriel: toutes les eaux résiduaires issues d'un procédé industriel.

Eaux usées domestiques : toutes les eaux usées issues des ménages.

Charge polluante : matières en suspension + matières oxydables

Matières en suspension (MES) : masse de matières insolubles ou colloïdales retenues par filtration quantitative ou séparées par centrifugation, elles s'expriment en mg/l.

Matières oxydables (M.O) : charge organique de l'activité biochimique. Elles sont définies par la relation $M.O. = (DCO + 2 DBO_5)/3$, qui s'expriment en kg/jour.

Résidus de récolte : ils proviennent des produits nobles qui constituent l'objet même de la culture. Dans le lot des résidus de récoltes, les espèces cultivées dont les déchets font l'objet d'utilisation concurrente¹ ou leurs utilisations requièrent un prétraitement² ne seront pas prises en compte dans les estimations. L'évaluation du potentiel de résidu de récolte se restreint aux espèces céréalières en l'occurrence le riz, le maïs, le mil, et sorgho.

Fumier : matières fécales animales. Parfois la définition est élargie au lisier et purin

Synonyme : déjections animales

¹ La paille d'arachide pour l'alimentation du bétail, la coque d'arachide et la bagasse brûlée dans les chaudières des unités agro-industrielles.

² Rafle de maïs, la balle de riz et le manque d'expérience pratique à son sujet

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Selon l'Office National de l'Assainissement du Sénégal (ONAS) le taux d'accès à l'assainissement à Dakar est de 82%, soit 2.250.000 habitants; parmi cette population, 31% a accès au réseau collectif, 3,5% au réseau semi-collectif et 47,5% à l'assainissement autonome. Ceci représente un potentiel en matière organique pouvant être valorisé à différentes fins, notamment pour la production de biogaz. D'où l'importance de l'intégration de la production du biogaz dans le Programme de Structuration du Marché des Boues de Vidange (PSMBV) dont la finalité est l'amélioration de l'accès des populations démunies à la vidange mécanisée que l'ONAS a initié avec l'appui de la Fondation Bill et Melinda GATES.

La mise en œuvre de ce programme implique plusieurs acteurs ayant chacun un rôle bien défini :

- l'Office National de l'Assainissement du Sénégal (ONAS), établissement public à caractère industriel et commercial qui assure la maîtrise d'ouvrage du programme ;
- le Cabinet Eau Déchets et Environnement (EDE) bureau d'études spécialisé dans les domaines de l'Eau et de l'assainissement et qui intervient comme assistant à la maîtrise d'ouvrage appuyant ainsi l'ONAS dans son travail de coordination ;
- l'organisation non gouvernementale Eau et Assainissement en Afrique (EAA) qui, en collaboration avec Innovation for Poverty Action, est responsable de la composante recherche.

La présente étude trouve sa justification dans l'amélioration du cadre de vie des populations par la mise en œuvre de stratégies et mécanismes basés sur les principes du développement durable et conformément à la politique environnementale du Gouvernement du Sénégal. Aussi, il s'avère nécessaire de mieux structurer le marché des boues de vidange et rendre la vidange mécanisée accessible aux populations démunies.

L'objectif spécifique de la présente étude est la définition des données de base dite de référence sur le biogaz au Sénégal (production, acteurs et textes institutionnels, défis et enjeux). L'atteinte de cet objectif passe par la réalisation des tâches suivantes :

- Etat des lieux de la production de biogaz au Sénégal : place du biogaz dans la politique énergétique du pays, identification les différents acteurs intervenant dans le domaine du biogaz et comparaison avec d'autres pays;
- Etat des lieux de la production et de l'utilisation du biogaz (installations existantes et substrats utilisés, types et conditions d'utilisation du biogaz) ; marché potentiel ;
- Etude de la disponibilité et des caractéristiques des co-substrats potentiels pour la production de biogaz au niveau national et des possibilités de leur transformation en biogaz

Afin d'arriver aux résultats poursuivis, une démarche méthodologique comprenant quatre parties, a été adoptée.

- La première partie a consisté à faire une recherche documentaire sur le biogaz au niveau du Sénégal et de la sous-région.
- La deuxième partie a consisté à élaborer des outils de collecte des données.
- La troisième partie a consisté à organiser des entretiens avec les responsables des Directions Nationales et des structures intervenant dans le sous secteur de l'énergie et du biogaz plus particulièrement;
- La quatrième partie a consisté en une visite de terrain pour s'informer sur les intervenants, les technologie et substrats ainsi que les effets et impacts du biogaz en milieu rural..
- Enfin la quatrième partie a consisté à exploiter et à analyser les informations obtenues.

Suite à l'exploitation et l'analyse des données de terrain, un état des lieux a été fait dans cinq chapitres.

Le premier chapitre porte sur le cadre politique, institutionnel et réglementaire du secteur de l'énergie.

L'analyse de ce cadre fait ressortir que l'accès des populations aux différentes formes d'énergies commerciales est faible de même que le niveau de consommation d'énergie finale (0,206 TEP par personne et par an). Par contre la dépendance énergétique vis-à-vis de l'extérieur est élevée et constitue un fardeau pour les pouvoirs publics.

Aussi, la nouvelle politique énergétique du pays, telle que déclinée dans la LPDSE adoptée en 2012, pour la période 2012 – 2017, met-elle l'accent sur un secteur énergétique caractérisé par une parfaite disponibilité de l'énergie et garantit un accès universel aux services énergétiques modernes dans le respect des principes d'acceptabilité sociale et environnementale. A cela s'ajoute la volonté du Sénégal à faire accéder au moins la moitié de la population rurale et péri urbaine aux services énergétiques modernes à l'horizon 2015 (année de l'évaluation de l'atteinte des OMD, en signant le Livre Blanc de la CEDEAO.

A travers la LPDSE (2012-2017), la nouvelle politique énergétique que le Gouvernement entend mettre en œuvre une stratégie se rapportant au sous-secteur et dont les principaux axes sont les suivants :

- Garantir la sécurité énergétique et accroître l'accès à l'énergie pour tous, afin d'impulser une croissance économique et un développement social équitable ;
- Développer un mix énergétique comme base de sortie de crise associant le charbon, le gaz naturel, l'hydroélectricité, les interconnexions et les énergies renouvelables
- Poursuivre et accélérer la libéralisation du secteur ;
- Améliorer la compétitivité afin, d'une part, de rendre l'énergie accessible, en termes de prix, au plus grand nombre de consommateurs, tout en préservant la rentabilité des fournisseurs de services énergétiques et, d'autre part, d'aboutir à un dépérissement progressif du soutien financier de l'Etat ;
- Accélérer la réforme des cadres réglementaires et de gouvernance ;
- Apporter des innovations en vue d'accroître les flux financiers dans le secteur à travers leur mobilisation stratégique auprès de sources publiques et privées, ainsi que sur les marchés nationaux et extérieurs.
- Comme on le constate l'Etat cherche aussi par cette loi à inviter les sources de financement dont le secteur privé à investir le sous secteur afin de le pour remplacer et prendre en main le secteur.

En ce qui concerne le cadre politique, il est également marqué par :

- la définition et la mise en œuvre du Plan de Restructuration et de Relance du Secteur de l'énergie (PRRSE) qui devrait permettre de mettre un terme aux perturbations relevées dans la production et aussi la distribution de l'électricité avec la location de groupes électrogènes d'appoint ;
- la validation, en 2011, par le Gouvernement du Sénégal du Document de Stratégie Nationale des Energies Renouvelables qui met l'accent sur le développement et la vulgarisation des EnRs et dont les objectifs portent sur:
 - l'accroissement de la contribution des énergies renouvelables dans la satisfaction des besoins énergétiques nationaux ;
 - le renforcement de l'accès aux services énergétiques modernes, abordables et durables d'origine renouvelable ;
 - la mise en place d'un dispositif d'accompagnement de la stratégie qui est assurée par le Ministère de l'Energie.
- l'étude et la finalisation par l'Agence Nationale des Energies Renouvelables (ANER) de projets dont :
 - o La mise en place d'un programme d'électrification de 1000 villages hors « Concession ASER » : ce programme, réparti en 20 villages par département, inclut les écoles, les postes et cases de santé, le pompage en milieu rural et la gestion du stockage laitier avec des tanks à lait par systèmes solaires.
 - o La mise en place d'un programme de 125.000 systèmes familiaux (solaires) que l'ANER projette d'installer au niveau des PME, PMI, Universités, Hôpitaux, Building administratif et Présidence pour soulager la SENELEC

Concernant les grands projets de biogaz en cours, on a :

- Le projet Missirah avec la coopération Brésilienne ;
- Le projet de production de gaz à partir du Bambou ;
- Le projet Italien de 100 MW de biogaz.

L'objectif de l'État est de faire passer le taux de pénétration des énergies renouvelables dans le mix électrique, de 0,4% en 2013 à 20% en 2017 en délivrant des agréments (72) à des promoteurs désirant revendre de l'électricité d'origine renouvelable à la SENELEC qui devra conduire une étude de stabilité de son réseau électrique pour l'intégration du renouvelable dans son parc de production. Comme on le constate, l'introduction du renouvelable dans le réseau de la SENELEC est une autre opportunité d'affaire pour le secteur privé si cela comme mention ne crée pas de désagréments au niveau du réseau.

Le PNB-SN est la première tentative d'introduction du biogaz en milieu rural, abstraction faite des expérimentations qui ont eu lieu par le passé ; cependant son bilan est très positif sur le terrain ; par contre ce résultat pouvait l'être davantage n'eût été les problèmes d'ancrage institutionnel notés au démarrage, la non implication du Ministère de l'Élevage qui dispose en son sein d'un fonds d'appui à l'élevage logé à la Caisse Nationale du Crédit Agricole du Sénégal (CNCAS).

Pour ce qui est du cadre réglementaire du sous-secteur des énergies renouvelables, il est marqué par les éléments suivants :

- La loi n°2010-21, portant loi d'orientation sur les énergies renouvelables qui met l'accent sur le développement des biocarburants, des combustibles domestiques et de façon générale sur les énergies renouvelables en tant que levier de réduction de la dépendance vis à vis des produits pétroliers. Pour ce faire, elle met l'accent sur :
 - l'instauration d'un cadre incitatif à l'achat d'énergies et à la commercialisation des énergies renouvelables ;
 - la libéralisation des secteurs d'utilisation;
 - la diffusion des moyens de production d'énergies renouvelables ainsi que le régime fiscal où la loi précise clairement la baisse de taxes liées à ces équipements ;
 - la protection environnementale notamment la fixation des termes relatifs au recyclage des déchets en rapport avec les matériels des EnRs et la création d'un cadre attractif au profit du développement par l'appui du marché carbone.
- La loi n° 83-05 portant Code de l'Environnement dont le dernier réaménagement date de 2001 et qui introduit les études d'impact comme éléments du processus des décisions environnementales. En outre, le Code insiste sur la participation des populations dans ce processus de décision. Cette participation passe par l'information, la consultation et l'audience publique.
- Le projet de loi sur les énergies renouvelables au Sénégal adopté en décembre 2010 et le projet de loi dit d'orientation n°08/2010 sur les énergies renouvelables ont tous deux pour objectif d'augmenter la part des EnRs dans la production d'électricité et aussi dans le bilan énergétique national ;
- Le Projet de décret d'application de la loi sur les énergies renouvelables : Adopté le 21 Décembre 2011, ce projet de décret d'application est venu renforcer la loi d'orientation de 2010 en apportant plus de précision sur la commercialisation des énergies renouvelables sous forme d'énergie électrique. En outre, elle autorise et régit l'injection du renouvelable dans le réseau de la SENELEC.

Le deuxième chapitre traite des intervenants et acteurs du sous-secteur du biogaz au Sénégal ainsi les activités qu'ils mènent dans ce domaine ainsi que les technologies qu'ils utilisent.

Parmi ces acteurs, on a :

- les intervenants institutionnels comme la Direction de l'Energie, la Direction des Hydrocarbures, la Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés, l'Office National de l'Assainissement du Sénégal (ONAS),
- les Agences dont l'ANEV et l'ANER,
- les projets et programmes dont le PNB-SN ;
- les institutions de recherche (ISRA, CERER),
- les ONG (HEIFER, ENDA, LE PARTENARIAT
- le secteur privé (SOGAS, BIOECO, African Building Service)

Le troisième chapitre met l'accent sur les technologies utilisées dans le domaine du biogaz au Sénégal ainsi que les coûts d'investissement et d'exploitation s'y rapportant.

Ces technologies utilisées au Sénégal sont : le digesteur à dôme flottante (CERER, CRAT, ENDA, CARITAS), le digesteur à dôme fixe avec le prototype GGC et les autres variantes (PNB-SN, BIOECO), le système ballon ou bache (SOGAS Dakar avec THÉCOGAZ), le digesteur Transpaille (expérimenté par la SERAS de Thiès, AGRIFORCE et CIRAD) et le digesteur à boue activée de première génération (STEP de Cambérène).

Concernant les coûts d'investissement des unités industrielles de biogaz, ils sont estimés pour la STEP de Cambérène à **437 millions de FCFA** ; à **386 millions de FCFA** pour le biodigesteur à bache de la SOGAS de Dakar. Pour les unités domestiques produites dans le PNB-SN, ils varient de **185.930 FCFA pour les 4m3 à 587.373 FCFA pour les 18m3**.

Pour ce qui est des coûts d'exploitation, ils sont estimés annuellement pour les unités industrielles à **81 millions de FCFA** pour la SOGAS Dakar ; à **298 millions de FCFA** pour la STEP de Cambérène et à **4 millions de FCFA** pour la SOGAS Saint Louis.

Pour les unités domestiques, ils varient de **14.797 FCFA** pour les 4 m3 à **32.551 FCFA** pour les 10 m3 qui sont les plus utilisés (60% des cas). Ces montants sont faibles parce que certains coûts comme la main d'œuvre familiale et l'eau obtenue du puits ne sont pas facturées en milieu rural.

Concernant les différents substrats utilisés pour produire du biogaz au Sénégal et dans la sous-région ainsi que le rendement en méthane des biodigesteurs, ce chapitre fait ressortir que les différents types de substrats valorisés au Sénégal et dans la sous-région, comprennent : les déchets agricoles (résidus de récolte, déjections d'animaux), les ordures ménagères et les effluents d'abattoir. Aussi, il ressort de chapitre que si l'on utilisait 5% du potentiel valorisable en biogaz au Sénégal, **le taux de pénétration des EnRs passerait de 0.4% à 7%.**

Pour ce qui est de leur teneur en méthane, elle va de 60% pour le biogaz domestique à environ 75% pour le biogaz industriel.

Le quatrième chapitre traite des différentes formes de valorisation du biogaz qui vont de la cuisson à l'éclairage pour les unités domestiques à la production d'électricité et de chaleur sous forme d'eau chaude pour les unités industrielles.

Dans le dernier chapitre portant sur les effets et impacts socioéconomiques et environnementaux, on note que les effets et les impacts sur le monde rural sont nombreux et vont de l'amélioration des conditions de vie des femmes à la réduction des maladies pulmonaires dont la source est la fumée provenant du bois et du charbon de bois en passant par la réduction de combustibles ligneux et aussi de gaz butane. Il a été aussi relevé que le biogaz par ses dérivés (le compost) avait un effet bénéfique sur l'agriculture et sur les sols (amélioration des rendements, restauration de la fertilité des sols, etc.). A cela, s'ajoute la création d'activités génératrices de revenus dans les domaines de la maçonnerie, de l'artisanat (menuiserie métallique) de l'élevage et du commerce.

En guise de conclusion, le rapport insiste sur les efforts faits par l'Etat du Sénégal pour promouvoir le sous-secteur des énergies renouvelables grâce à la mise en place d'une politique de subvention des composantes solaires (panneaux photovoltaïques) et des biodigesteurs. En outre, il met l'accent sur le fait que le biogaz peut s'avérer une alternative intéressante aux combustibles ligneux traditionnels que sont le bois de chauffe et le charbon de bois ; à la limite même, se substituer à eux si des mesures idoines comme l'augmentation du niveau de la subvention aux biodigesteurs et la création d'un fonds d'appui à la protection de l'environnement sont mises en place l'étude a montré aussi que le biogaz est entrain de promouvoir un autre modèle de développement du monde rural qui est basé sur la création de synergies entre l'agriculture, l'élevage, le développement socioéconomique et l'énergie.

Pour mieux amener les investisseurs à s'intéresser au secteur de l'énergie et surtout au sous-secteur des énergies renouvelables, la loi 2010/21 met l'accent sur l'ouverture de ce sous secteur à la concurrence et aussi au respect de la transparence en insistant sur les procédures qui seront mises en place (appels d'offres). En outre, le projet de décret apporte des précisions supplémentaires, en ce qui concerne la capacité des acteurs qui peuvent commercialiser les énergies renouvelables ainsi que sur les peines et sanctions que peuvent encourir les fraudeurs potentiels.

En conclusion , la présente étude sur l'établissement de la situation de référence sur le biogaz au Sénégal a montré que le sous-secteur des énergies renouvelables (EnRs) est actuellement fortement appuyé par l'Etat du Sénégal qui se rend compte, de plus en plus, que les EnRs peuvent contribuer à l'amélioration des conditions de vie des populations en leur facilitant l'accès à des services énergétiques de base qui vont de l'éclairage à la cuisson. Le biogaz à l'instar du gaz butane peut s'avérer une alternative importante aux combustibles ligneux traditionnels que sont le bois de chauffe et le charbon de bois ; à la limite même, se substituer à eux si des mesures idoines comme l'augmentation du niveau de la subvention aux biodigesteurs et la création d'un fonds d'appui à la protection de l'environnement sont mises en place.

Elle a montré aussi qu'il est temps que les autorités se rendent compte que le biogaz peut devenir une alternative au gaz butane dont les effets sur les finances publiques et celles des ménages sont difficilement supportables à long terme. Les ménages qui disposent d'un bio digesteur savent qu'ils ont fait un bon investissement qui leur permet d'économiser sur le temps consacré à la collecte du bois mort mais aussi sur l'acquisition du gaz butane auquel, une part importante du budget familial est affectée.

Elle a aussi montré que, depuis l'adoption de la loi n°2010-21, le biogaz industriel devient attractif pour des investisseurs ; en ce sens que la loi instaure un cadre incitatif à la production, à la commercialisation des énergies renouvelables. En outre, la loi protège les investisseurs contre les fraudeurs potentiels non détenteurs de titre en insistant sur les sanctions pénales qu'ils encourent.

Les investisseurs du biogaz industriel ont la possibilité, avec le décret d'application de cette loi, de vendre une quantité importante d'électricité dont la puissance minimale est de 150 kW ; ceci peut offrir une opportunité à la STEP Cambérène dont la puissance du groupe à biogaz est de 311 kVA.

Au terme de l'étude sur le biogaz, les recommandations suivantes ont été formulées :

1°) Mener des actions de plaidoyer sur le biogaz en direction des autorités afin qu'elles appréhendent le rôle que peut jouer le biogaz dans l'approvisionnement énergétique des ménages ruraux.

2°) Etudier la possibilité de loger le Programme National Biogaz (PNB-SN) à la primature pour mieux prendre en compte le caractère multi dimensionnel du biogaz

3°) Renforcer l'information sur le biogaz surtout en direction des populations rurales afin de leur permettre de mieux appréhender les avantages qu'elles peuvent en tirer dans le domaine énergétique mais aussi de l'agriculture, de la création de revenus et de la santé.

4°) Revoir à la hausse le montant de la subvention accordée par l'Etat (160 000FCFA) aux biodigesteurs diffusés dans le cadre du PNB-SN ;

5°) Examiner avec la SENELEC les modalités d'ouverture de son réseau à l'électricité provenant du biogaz étant donné la construction prochaine d'une station de traitement des boues de vidange à KEUR MASSAR.

6°) Envisager pour la STBV destinée à KEUR MASSAR, de souscrire une puissance minimale de 150 kW avec une ligne moyenne tension, au cas où la commercialisation d'électricité est retenue, conformément aux dispositions de la loi 2010-21 et son décret d'application.

7°) Essayer autant que possible de se rapprocher du point d'injection étant donné qu'en vertu de cette loi, les charges liées au raccordement, incombent à l'autoproduiteur.

8°) Évaluer avec les structures de recherche, la possibilité de valoriser en qualité de co-substrats, certaines plantes aquatiques en l'occurrence le typha et la jacinthe d'eau.

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte de l'étude et justifications

1.1.1 Contexte

D'après l'étude « Hydraulique et Assainissement urbains au Sénégal, Etat des lieux et évolutions institutionnelles » menée en 2008 par Frédéric Fortune expert à la Délégation d'Union Européenne (DUE), le taux d'accès à l'assainissement urbain est de l'ordre de **63,4%** pour l'ensemble des centres urbains du Sénégal alors qu'il est **79,6%** pour la ville de Dakar. En 2010, le taux d'accès à l'assainissement à Dakar a atteint **82%**, selon les données de l'ONAS lors du Forum Mondial de l'Eau organisé à Marseille dans la même année. Ce taux d'accès correspondant à une population de 2.250.000 habitants, se décompose ainsi : **31%** avaient accès au réseau collectif, **3,5%** avaient accès au réseau semi-collectif et **47,4%** avaient accès à l'assainissement autonome.

Il s'agit donc d'une potentialité, en termes de rejet, non négligeable susceptible d'être valorisée à différentes fins. D'où l'importance du présent programme initié par la Fondation Bill & Melinda Gates dans le but de mieux structurer le marché des boues de vidange et rendre la vidange mécanisée accessible aux populations démunies.

Les différentes composantes de ce programme réunissent plusieurs acteurs ayant chacun un rôle bien défini :

- ✓ l'Office National de l'Assainissement du Sénégal (ONAS), établissement public à caractère industriel et commercial, qui assure la maîtrise d'ouvrage du programme ;
- ✓ le Cabinet (Eau Déchets et Environnement (EDE), bureau d'études spécialisé dans les domaines de l'eau et de l'assainissement et qui intervient comme assistant à la maîtrise d'ouvrage appuyant ainsi l'ONAS dans son travail de coordination ;
- ✓ l'EAA (ex CREPA), organisation non gouvernementale à caractère non lucratif, en collaboration avec IPA (Innovation for Poverty Action est responsable de toute la composante recherche.
 - Dans le cadre de ce programme, il est prévu de développer un modèle de production de biogaz à partir des boues de vidange, qui est une composante à part entière du PSMBV. Le projet biogaz prévoit en outre la construction d'une unité pilote de biogaz à KEUR MASSAR au travers duquel les différentes actions ci-après seront menées : (i) des études techniques et environnementales, (ii) des études socio-économiques, économiques et financières, (iii) des études institutionnelles et réglementaires, (iv) l'Information, la Communication et le Plaidoyer,

Ainsi dans le cadre de la mise en œuvre du biogaz, l'ONAS a initié quatre autres études :

- Etude sur l'établissement d'une base de référence pour le projet biogaz pour la mesure du rendement dans le cadre de sa mise en œuvre,
- Etude de la rentabilité du marché de biogaz,
- Elaboration d'un Plan d'affaires pour les 5 premières années d'exploitation de l'usine de biogaz du Sénégal,
- Etude sur l'environnement des affaires dans le secteur de l'énergie au Sénégal.

1.1.2 Justification

L'étude se justifie par la nécessité de procéder à l'amélioration du cadre de vie des populations à travers des stratégies programmatiques et des mécanismes opérationnels fondés sur les principes du développement durable (viable, vivable et équitable) qui constitue la charpente de la politique environnementale du Gouvernement du Sénégal. Ainsi, il s'avère nécessaire de

mieux structurer le marché des boues de vidange et rendre la vidange mécanisée accessible aux populations démunies.

La structuration du marché des boues de vidange constitue, du reste, un des objectifs principaux du programme de structuration du secteur des boues de vidange initié par l'Office National de l'Assainissement du Sénégal (ONAS) et appuyé par la Fondation Bill and Melinda Gates. Ce programme, entre autres objectifs, vise, à :

- favoriser une meilleure répartition des sites de dépotage et de traitement des boues de vidange dans la région de Dakar,
- améliorer leurs performances techniques et leurs capacités économiques et financières à travers notamment l'installation d'unités de production de Biogaz ;
- favoriser un meilleur accès des populations à la vidange mécanique à moindre coût en apportant des réponses appropriées aux insuffisances actuelles du secteur qui ont principalement trait :
 - o au recours fréquent des populations à la vidange manuelle,
 - o à l'insuffisance et la faible capacité des stations de traitement des boues de vidange (STBV) existantes à Dakar,
 - o au manque d'organisation, de formation et d'équipement des acteurs de la vidange,
 - o aux coûts élevés de la vidange mécanique pour des populations souvent démunies.

Autant le programme, dans ses composantes « Recherche, Marketing et Coordination », favorise une organisation efficiente des acteurs de la vidange mécanique, autant il développe des stratégies opérationnelles de mise à niveau technique des Stations de Traitement des Boues de Vidange (STBV) à travers la réhabilitation et la construction d'une nouvelle STBV et d'attribution, à terme, d'une fonction productrice de biogaz à ces différentes infrastructures. A travers l'installation d'une unité pilote de production de Biogaz dans la future station de traitement de KEUR MASSAR, l'ONAS entend démontrer que les boues de vidange ne peuvent pas et ne doivent pas être considérées seulement comme de « simples résidus » mais plutôt comme « une Ressource » au profit des acteurs de la vidange et des populations.

1.2 Objectif spécifique de l'étude

L'objectif spécifique de la présente étude est la définition d'une base de référence sur le biogaz au Sénégal (production, acteurs et textes institutionnels, défis et enjeux). L'atteinte de cet objectif passe par la réalisation des tâches suivantes :

- Etat des lieux de la production de biogaz au Sénégal : place du biogaz dans la politique énergétique du pays ; identification des différents acteurs intervenant dans le domaine du biogaz et comparaison avec d'autres pays;
- Etat des lieux de la production et de l'utilisation du biogaz (installations existantes et substrats utilisés, types et conditions d'utilisation du biogaz), marché potentiel ;
- Etude de la disponibilité et des caractéristiques des co-substrats potentiels pour la production de biogaz au niveau national et des possibilités de leur transformation en biogaz.

2 DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

La démarche méthodologique s'articule autour des cinq étapes suivantes :

- Etape 1 : recherche documentaire sur le biogaz au niveau du Sénégal et de la sous-région;
- Etape 2 : élaboration des outils de collecte des données ;
- Etape 3 : organisation d'entretiens avec les responsables des Directions Nationales et des structures intervenant dans le sous secteur de l'énergie et du biogaz plus particulièrement;
- Etape 4: visite de terrain
- Etape 5 : exploitation et l'analyse des informations obtenues.

2.1 Revue documentaire

La revue documentaire a permis de passer en revue toute la documentation mise à notre disposition par les différents partenaires du programme et les différentes structures du secteur de l'énergie (Directions de l'énergie, Agences nationales, projets et programmes). Il s'agit notamment des documents ci-après :

Documents de politique nationale :

- La Lettre de Politique de Développement du Secteur de l'Energie (LPDSE)
- Le Document de Politique Economique et Sociale (DPES 2011-2015) : publié en 2011
- La Deuxième Communication Nationale du Sénégal : publiée dans le cadre de la mise en œuvre de la Convention des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CNUCC) par la Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés (DEEC) du Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature

Documents de formulation de projet et programme :

- Etude de faisabilité PNB-SN, manuels de références du programme

Rapports, publications, communications scientifiques et articles sur le thème du biogaz :

- SYFIA le 1 juin 1990 et intitulé : Sénégal ; le biogaz : énergie écologique et économique.
- « Le biogaz, une des solutions du gouvernement du Sénégal au problème d'accès à l'énergie domestique en milieu rural » par Monsieur Matar SYLLA,

Au cours de la revue de littérature générale sur le sujet, plusieurs articles et publication ont été passés en revue, il s'agit notamment :

- L'article paru dans la revue SYFIA, qui traite des activités génératrices de revenus (AGR) que les populations peuvent initier à partir du biogaz et aussi les possibilités de valorisation des effluents dont le compost dans la lutte contre la pauvreté des sols.
- Un deuxième article consulté est : « Le biogaz, une des solutions du gouvernement du Sénégal au problème d'accès à l'énergie domestique en milieu rural » par Monsieur Matar SYLLA, responsable technique du Programme National Biogaz Domestique du Sénégal (PNB-SN). Il y est souligné que le recours au biogaz comme source d'énergie alternative a été testé depuis 1977 au Sénégal avec la construction de deux biodigesteurs de modèle indien (à fût flottant) par la CARITAS à NDIOUCK FISSEL. Aussi, on y souligne que 42 installations ont été construites au Sénégal avant le PNB-SN.
- Un troisième article intitulé : « Le biogaz au Sénégal, situation et perspectives » traite de la production de bouses de vache au Sénégal, et de l'estimation des quantités produites par tête adulte et par jour.

- Un article intéressant est : « La Lettre de Politique de Développement du Secteur de l’Energie (LPDSE) » dans lequel le draft publié le 1^{er} Septembre 2012 a identifié les contraintes auxquelles est confronté le secteur de l’énergie au Sénégal.
- Un quatrième article nommé : « Le Document de Politique Economique et Sociale (DPES 2011-2015) » publié en novembre 2011, relève l’importance du sous secteur de l’énergie dans la mise en œuvre des politiques publiques. En effet, il souligne non seulement le rôle transversal des politiques publiques, mais aussi une distribution géographique plus équitable de l’accès aux services énergétiques modernes et la couverture des besoins d’électrification rurale et urbaine.
- Un cinquième article est : « La Deuxième Communication Nationale du Sénégal » donne une place non négligeable aux déchets solides dans les décharges ainsi qu’aux eaux usées traitées dans l’atténuation des gaz à effet de serre. Il a été publié dans le cadre de la Convention des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CNUCC) par la Direction de l’Environnement et des Etablissements Classés (DEEC).
- Pour finir, le rapport sur l’Etude de faisabilité d’un Programme National de Biogaz domestique au Sénégal produit en septembre 2009 par Felix Ter HEEGDE, Lamine DIOP et Rob UKKERMAN pour le compte de l’Agence Sénégalaise d’Electrification Rurale (ASER) et la SNV Netherlands Development Organisation –West et Central Africa (SNV-WCA). Il y est souligné l’importance des services fournis par les installations de biogaz afin de répondre à la demande en combustibles domestiques qui ne cesse d’augmenter.

2.2 Élaboration des outils de collecte

Une dizaine de guides d’entretien ont été élaborés à l’intention de chacune des structures devant être rencontrée dans le cadre de l’étude. Ces guides d’entretien devaient permettre d’orienter les interviews et servir de support à la collecte des données. Parmi les thèmes abordés, on peut mentionner :

- L’évolution du biogaz au Sénégal ;
- Les types de biodigesteurs diffusés au Sénégal ;
- Les stratégies mises en œuvre,
- Les lois et règlements relatifs aux Energies Renouvelables (EnRs) ;
- Les politiques gouvernementales relatives aux EnRs et au biogaz ;
- Les informations sur les aspects techniques et financiers dans le secteur des EnRs ;
- Les effets et les impacts socioéconomiques et environnementaux du biogaz ;
- La liste des guides d’entretien est jointe en annexe.

2.3 Entretiens

Les entretiens ont été organisés avec les responsables des différentes structures étatiques et non étatiques en charge de la politique énergétique (Direction Générale de l’Énergie), de la promotion des énergies renouvelables (Agence Nationale des Energies Renouvelables), de la protection de l’environnement (Direction de l’Environnement), de la Recherche (ISRA, CERER). La mission a aussi rencontré les responsables du Programme National BIOGAZ Domestique, des projets intervenant dans le domaine de la promotion des énergies domestiques (PROGEDE), des ONG intervenant dans le domaine du biogaz (ENDA) et aussi d’agences. Des entretiens ont aussi été organisés avec les responsables de l’Agence Nationale des Eco villages.

2.4 Visite de terrain

L’équipe s’est rendue sur le terrain et s’est entretenue avec des responsables d’ONG comme HEIFER à Thiès, Le PARTENARIAT à Saint Louis, des organisations paysannes (Union des

Groupements Paysans de Mékhé), des PME et PMI intervenant dans le domaine du biogaz (BIOECO, THECOGAZ), des responsables de la Société de Gestion des Abattoirs du Sénégal (SOGAS) et ceux de la Station d'Épuration et de Traitement de Cambérène, des agences participant à la promotion de biogaz (Agence Nationale des Eco villages).

L'équipe s'est aussi entretenue avec la Cellule technique du Projet National Biogaz Domestique à Kaolack, avec des paysans bénéficiaires de biodigesteurs, des femmes utilisatrices du biogaz.

La mission a visité différentes réalisations liées à l'utilisation du biogaz (Abattoir de Saint Louis), le Centre de Formation Horticole de St Louis où une expérience de valorisation de ses sous-produits dont le compost à des fins agricoles est actuellement en cours.

3 ETAT DES LIEUX DE LA PRODUCTION DE BIOGAZ AU SENEGAL

Le dépouillement et l'analyse des données collectées au cours des entretiens et visites de terrain ont permis de dresser la situation du biogaz au Sénégal. Ce diagnostic qui permet d'établir la situation de référence, est réalisé aux différents niveaux ci-après : (i) Au niveau du cadre politique, institutionnel et réglementaire, (ii) au niveau des intervenants, (iii) au niveau des technologies utilisées au Sénégal, (iv) au niveau du potentiel de matières premières (substrats), (v) au niveau des utilisations du biogaz, (vi) au niveau des impacts environnementaux.

3.1 Au niveau du Cadre politique, institutionnel et réglementaire du secteur de l'Energie

Le bilan énergétique du Sénégal laisse apparaître une situation de l'approvisionnement énergétique caractérisé par :

- un faible accès des populations aux différentes formes d'énergies commerciales ;
- un niveau de consommation d'énergie finale per capita encore faible (0,206 TEP) en 2010 ;
- un niveau de dépendance énergétique vis-à-vis de l'extérieur assez élevé et constituant un fardeau pour les finances publiques.

Sur cette base, la vision sectorielle qui soutend la politique énergétique du pays, telle que déclinée dans la LPDSE adoptée en 2012 pour la période 2012 – 2017, **cible un secteur énergétique caractérisé par une parfaite disponibilité de l'énergie et garantissant un accès universel aux services énergétiques modernes dans le respect des principes d'acceptabilité sociale et environnementale.**

En signant le Livre Blanc Régional de la CEDEAO adopté suivant la décision des Chefs d'Etat de la CEDEAO (Décision A/DEC.24/01/06 du 12/01/2006), le Sénégal a souscrit à l'objectif global de la CEDEAO de faire accéder au moins la moitié de la population rurale et péri urbaine aux services énergétiques modernes, à l'horizon 2015, en vue d'atteindre les OMD. De manière spécifique, en matière d'énergie électrique, 100% des populations périurbaines et urbaines et 36 % des populations rurales auront accès au service électrique individuel à l'horizon 2015. Pour ce qui est des combustibles domestiques, 100 % de la population du pays aura accès à un service de cuisson moderne à l'horizon 2015. Au moins 60% des personnes résidant en milieu rural vivront dans des localités disposant de force motrice pour accroître la productivité du travail des actifs, et auront accès à des services communautaires modernes.

3.1.1 Le cadre politique du secteur de l'énergie

La nouvelle politique énergétique qui procède de l'analyse du contexte national et international et de la vision sectorielle, poursuit les objectifs stratégiques suivants :

- assurer l'approvisionnement en énergie du pays en quantité suffisante, dans les meilleures conditions de qualité et de durabilité et au moindre coût ;

- élargir l'accès des populations aux services modernes de l'énergie en veillant à une répartition plus équitable des efforts en privilégiant les régions défavorisées et les couches vulnérables ;
- promouvoir la maîtrise de l'énergie et l'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables ;
- opérer la diversification énergétique afin de réduire la vulnérabilité du pays aux aléas exogènes notamment ceux du marché mondial du pétrole.

A travers la LPDSE (2012-2017), la nouvelle politique énergétique que le Gouvernement entend mettre en œuvre s'appuie sur une stratégie qui se décline sous-secteur par sous-secteur et dont les principaux axes sont les suivants :

- Garantir la sécurité énergétique et accroître l'accès à l'énergie pour tous afin d'impulser une croissance économique et un développement social équitable ;
- Développer un mix énergétique comme base de sortie de crise associant le charbon, le gaz naturel, l'hydroélectricité, les interconnexions et les énergies renouvelables
- Poursuivre et accélérer la libéralisation du secteur ;
- Améliorer la compétitivité afin, d'une part, de rendre l'énergie accessible, en termes de prix, au plus grand nombre de consommateurs, tout en préservant la rentabilité des fournisseurs de services énergétiques et, d'autre part, d'aboutir à un dépérissement progressif du soutien financier de l'Etat ;
- Accélérer la réforme des cadres réglementaires et de gouvernance ;
- Apporter des innovations en vue d'accroître les flux financiers dans le secteur à travers leur mobilisation stratégique auprès de sources publiques et privées, ainsi que sur les marchés nationaux et extérieurs.

Le cadre politique est également marqué par :

- la définition et la mise en œuvre du Plan de Restructuration et de Relance du Secteur de l'énergie (PRRSE) qui devrait permettre de mettre un terme aux perturbations relevées dans la production et aussi la distribution de l'électricité avec la location de groupes électrogènes d'appoint ;
- la validation, en 2011, par le Gouvernement du Sénégal du Document de Stratégie Nationale des Energies Renouvelables qui met l'accent sur le développement et la vulgarisation des EnRs et dont les objectifs portent sur:
 - l'accroissement de la contribution des énergies renouvelables dans la satisfaction des besoins énergétiques nationaux ;
 - le renforcement de l'accès aux services énergétiques modernes, abordables et durables d'origine renouvelable ;
 - la mise en place d'un dispositif d'accompagnement de la stratégie qui est assurée par le Ministère de l'Energie.
- L'étude et la finalisation par l'Agence Nationale des Energies Renouvelables (ANER) de projets dont :
 - La mise en place d'un programme d'électrification de 1000 villages hors « Concession ASER » : ce programme, réparti en 20 villages par département, inclut les écoles, les postes et cases de santé, le pompage en milieu rural et la gestion du stockage laitier avec des tanks à lait par systèmes solaires.
 - La mise en place d'un programme de 125.000 systèmes familiaux (solaires) que l'ANER projette d'installer au niveau des PME, PMI, Universités, Hôpitaux, Building administratif et Présidence pour soulager la SENELEC

Concernant les grands projets de biogaz en cours, on a :

- Le projet Missirah avec la coopération Brésilienne ;
- Le projet de production de gaz à partir du Bambou ;
- Le projet Italien de 100 MW de biogaz.

L'objectif de l'État est de faire passer le taux de pénétration des énergies renouvelables dans le mix électrique, de 0,4% en 2013 à 20% en 2017 en délivrant des agréments (72) à des promoteurs désirant revendre de l'électricité d'origine renouvelable à la SENELEC qui devra conduire une étude de stabilité de son réseau électrique pour l'intégration du renouvelable dans son parc de production.

Cependant la question de la définition (fixation) du « Feed-in-Tarif » reste encore une contrainte qu'il faut lever si on souhaite une massive d'investisseurs dans les secteurs de la production et la commercialisation des EnRs dont le biogaz. Actuellement la SENELEC achète le kWh provenant des EnRs entre 65 à 90 FCFA, à la suite de négociation avec les promoteurs.

3.1.2 Le Cadre institutionnel du sous-secteur de l'électricité

Ce sous-secteur comprend outre l'Etat et ses démembrements (Ministère, Directions Générales, Agences), des sociétés de production d'électricité qui ont des contrats de concession avec l'Etat du Sénégal, des auto-producteurs qui, comme le nom l'indique, produisent prioritairement pour eux-mêmes et vendent leur surplus soit à la SENELEC soit à l'ASER.

Le schéma qui suit, visualise les relations entre les différents acteurs du sous secteur.

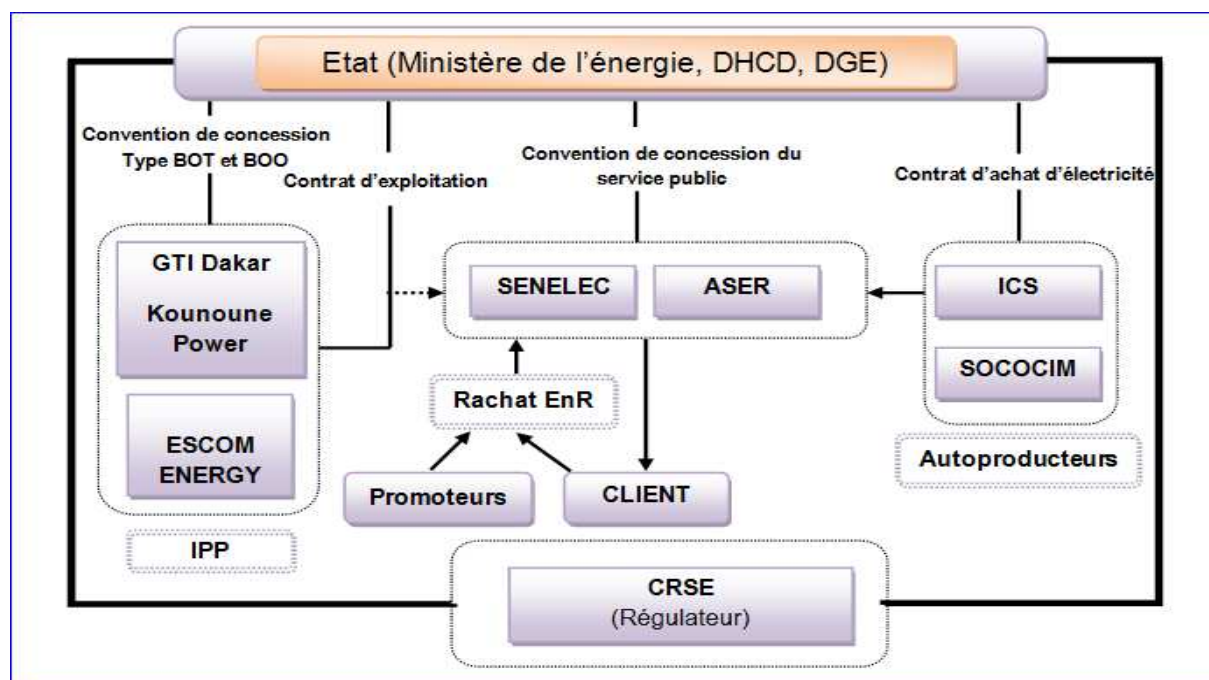


Figure 1: Schéma institutionnel du secteur de l'électricité au Sénégal

Ce schéma permet d'appréhender la structure adoptée dans le secteur de l'énergie ainsi que les acteurs intervenant dans la fourniture de l'énergie qu'ils soient producteurs privés ou publics. Il s'agit principalement de :

La Commission de régulation du secteur de l'Électricité (CRSE)

Créée par la loi n° 98-29 du 14 avril 1998 relative au secteur de l'électricité, elle est une autorité indépendante chargée de la régulation des activités de production, de transport, de distribution et de vente d'énergie électrique. Elle dispose également d'attributions

consultatives au profit du ministre chargé de l'Energie. Elle constitue un élément essentiel dans le dispositif de sécurisation des investissements dans le sous secteur de l'électricité. La Commission a pour objectifs:

- promouvoir le développement rationnel de l'offre d'énergie électrique.
- veiller à l'équilibre économique et financier du secteur de l'électricité et à la préservation des conditions économiques nécessaires à sa viabilité.
- assurer les conditions de viabilité financière des entreprises du sous secteur de l'électricité, en leur permettant de dégager un taux de rentabilité normal de leurs investissements.
- promouvoir la concurrence et la participation du secteur privé en matière de production, de transport, de distribution et de vente d'énergie électrique.
- refléter les préoccupations sociales en veillant à la préservation des intérêts des consommateurs, et en assurant la protection de leurs droits pour ce qui concerne le prix, la fourniture et la qualité de l'énergie électrique.

La Direction des Hydrocarbures et Combustibles Domestiques (DHCD)

Elle est chargée de la supervision de la SAR (Société Africaine de Raffinage) qui assure une bonne partie de l'approvisionnement de la SENELEC en fuel. Elle assure aussi la tutelle des programmes de combustible domestique tels que le Programme National Biogaz et le PROGEDE 2.

La Direction de l'Energie (DE)

Cette direction est chargée de la supervision du sous secteur de l'électricité et de la mise en œuvre de la politique définie par l'Etat en matière d'énergie. Elle est un démembrement du ministère de l'énergie au même titre que la DHCD.

La SENELEC et l'ASER :

Ces deux entités sont chargées de la fourniture d'électricité au niveau national. La SENELEC intervient en milieu urbain tandis que l'ASER s'occupe de l'approvisionnement d'électricité du milieu rural. La SENELEC assure la production, le transport et la distribution de l'électricité avec deux systèmes : un réseau électrique interconnecté et un réseau électrique autonome dans certaines localités telles que Ziguinchor, Kolda et une partie de Tambacounda.

En revanche, l'ASER utilise le support technique (ligne MT) de la SENELEC pour approvisionner certaines zones de concession à sa charge et pour d'autres, elle fait recours aux énergies renouvelables (solaire, éolien etc.).

Les autoproducteurs

Il s'agit généralement de gros consommateurs d'énergie électrique notamment les industries chimiques et de cimenteries qui sont dotées de leur propre centrale de production (ex. ICS, SOCOIM, SONACOS, Ciments du Sahel, etc.). Ces autoproducteurs fournissent revendent à la SENELEC avec qui ils sont liés par un contrat d'achat qui fixe les conditions de revente et d'achat leur excédent de production.

Les usagers

Ce sont essentiellement les ménages, l'éclairage public, l'administration, les hôpitaux, les écoles, les universités etc. Avec le nouveau décret d'application de la loi d'orientation sur les énergies renouvelables, les usagers peuvent revendre leur excédent de production d'électricité à la SENELEC et/ou l'ASER.

Les Producteurs indépendants (en anglais IPP pour Independent Power Producers)

Cette catégorie englobe les producteurs privés ayant conclu un contrat d'achat d'énergie avec la SENELEC qui est l'acheteur unique et à qui toute la production ou un pourcentage (quota) de cette production est vendue par injection dans le réseau interconnecté. Les premiers IPP sont : Kounoune Power, GTI...

3.1.3 Le cadre réglementaire du secteur de l'énergie

Il est marqué par les éléments suivants :

- **La loi n°2010-21**, portant loi d'orientation sur les énergies renouvelables, qui met l'accent sur le développement des biocarburants, des combustibles domestiques et de façon générale sur les énergies renouvelables en tant que levier de réduction de la dépendance vis à vis des produits pétroliers. Pour ce faire, elle insiste sur :
 - l'instauration d'un cadre incitatif à l'achat d'énergies et à la commercialisation des énergies renouvelables ;
 - la libéralisation des secteurs d'utilisation;
 - la diffusion des moyens de production d'énergies renouvelables ainsi que le régime fiscal où la loi précise clairement la baisse de taxes liées à ces équipements ;
 - la protection environnementale notamment la fixation des termes relatifs au recyclage des déchets en rapport avec les matériels des EnRs et la création d'un cadre attractif par l'appui du marché carbone.

A cet effet, la promotion des énergies renouvelables est à la charge de l'Agence Nationale des Energies Renouvelables (ANER) qui doit veiller au respect des normes en matière de santé publique et d'environnement et à une meilleure compétitivité, en développant des mécanismes de contrôle et de suivi des résultats et impacts des énergies renouvelables. D'où l'obligation de sa part, de procéder à la publication d'un rapport annuel faisant état du bilan énergétique du pays et de l'évolution du taux de pénétration des énergies renouvelables.

En outre, la loi met l'accent sur la transparence concernant la fixation des tarifs de rachat en associant la CRSE comme structure de contrôle et sur les appels d'offre comme moyen de recrutement et d'attribution des marchés.

- La loi n° 83-05 portant Code de l'Environnement dont le dernier réaménagement date de 2001 et qui introduit les études d'impact comme éléments du processus dans les décisions environnementales. En outre, le Code insiste sur la participation des populations dans ce processus de décision ; cette participation passant par l'information, la consultation et l'audience publique.
- Le projet de loi sur les énergies renouvelables au Sénégal adopté en décembre 2010, ce projet de loi dit d'orientation n°08/2010 sur les énergies renouvelables a pour objectif d'augmenter la part des ER dans la production d'électricité et aussi dans le bilan énergétique national ;
- Le Projet de décret d'application de la loi sur les énergies renouvelables : Adopté le 21 Décembre 2011, ce projet de décret d'application est venu renforcer la loi d'orientation de 2010 en apportant plus de précision sur la commercialisation des énergies renouvelables sous forme d'énergie électrique. En outre, elle autorise et régleme l'injection du renouvelable dans le réseau de la SENELEC.

Ce projet d'application indique un niveau de puissance de séparation entre industriels et ménages selon la technologie de production d'électricité d'origine renouvelable, et est réparti comme suit :

- ✓ **34 kWc** pour le solaire, l'hydroélectrique, la marémotrice : sont considérés comme ' industriels' les opérateurs qui ont une puissance supérieure à 34KWc alors que les ménages sont limités (plafonnés) à moins de 34KWc pour pouvoir injecter de l'électricité dans le réseau.
- ✓ **150 kW** pour la biomasse (biogaz), éolienne, l'hydraulique et ses dérivées : le même principe est appliqué.

Il est aussi préconisé que les industriels injectent en moyenne ou haute tension et les ménages en basse tension.

Cependant, il est à noter, qu'à l'heure actuelle, dans les projets d'injection d'énergie dans le réseau électrique, le biogaz n'est pas encore prévu selon le responsable de la division « Énergies Renouvelables » de la SENELEC. Ceci pourrait être dû à la non maîtrise de la filière biogaz grande échelle et non à des contraintes législatives. Ce qui veut dire que la première phase de diffusion du biogaz concerne essentiellement le volet combustible domestique dont les effets sur l'environnement et les conditions de vie sont extrêmement importants.

Le PNB-SN est la première tentative d'introduction du biogaz en milieu rural abstraction faite des expérimentations qui ont eu lieu par le passé ; cependant son bilan est très positif sur le terrain mais ce résultat pouvait être encore mieux n'eût été les problèmes d'ancrage institutionnel notés au démarrage, la non implication du Ministère de l'Élevage qui dispose, en son sein, d'un fonds d'appui logé à la Caisse Nationale du Crédit Agricole du Sénégal (CNCAS).

3.1.4 Analyse du cadre politique, institutionnel et réglementaire régissant le secteur des énergies renouvelables

Une analyse du cadre régissant le sous secteur des énergies renouvelables montre que le Gouvernement du Sénégal appuie, aujourd'hui fortement, le développement et la vulgarisation des énergies renouvelables en leur donnant une place importante dans la politique énergétique du pays et dans le mix énergétique. C'est ainsi que LPDSE de 2012, dans sa nouvelle politique énergétique, donne une place plus importante aux énergies renouvelables en général et plus particulièrement aux filières des énergies renouvelables dites modernes, en l'occurrence les biocarburants et l'hydroélectricité dans la réduction d'au moins 20% d'ici 2020 de la dépendance à l'énergie commerciale.

L'analyse montre aussi que les autorités en charge du secteur de l'énergie ont compris que la satisfaction des besoins énergétiques de la population surtout dans le domaine de la cuisson ne peut pas se faire sans recourir aux énergies renouvelables et à leur potentiel. De ce fait, un nouvel cadre légal et réglementaire qui va faciliter davantage l'intégration des énergies renouvelables a été créé avec le vote et la promulgation de la loi n°2010/21 du 20 décembre 2010 portant loi d'orientation sur les énergies renouvelables. Cette loi cherche à augmenter la part des énergies renouvelables non seulement dans la production d'électricité mais aussi dans le bilan énergétique national.

On voit donc que, de façon globale, le cadre aussi bien politique que réglementaire est favorable à l'intégration des énergies renouvelables mais, il le sera davantage avec la création de synergies avec les programmes mis en œuvre au niveau des espaces communautaires de la CEDEAO et de l'UEMOA comme l'installation de centrales photovoltaïques dans le cadre de l'IRED qui projette un apport des énergies renouvelables à l'accès à l'électricité de l'ordre de 80% en 2030 au sein de l'espace UEMOA.

3.2 Les intervenants du sous-secteur du biogaz

Le secteur du biogaz est marqué par la présence de différentes catégories d'acteurs parmi lesquels:

- Les intervenants institutionnels : la Direction de l'Energie (La Division des combustibles domestiques), la Direction des hydrocarbures, La Direction de l'Environnement et des Etablissements classés (DECC), l'ONAS
- Les Agences: ANEV et ANER

- Les projets et les Programmes: PNB-SN
- Les Institutions de recherches : ISRA, CERER
- Les ONG : HEIFER, ENDA, LE PARTENARIAT
- Le Secteur Privé : SOGAS, THECOGAZ, BIOECO

3.2.1 Les intervenants institutionnels

- La Direction de l'Energie (la Division des combustibles domestiques), Elle sert d'interface entre le Ministère de l'Energie et les acteurs du secteur. Dans le domaine du biogaz, il est noté cependant que la Direction dispose de peu d'informations sur les avancées technologiques sur le biogaz abstraction faite de celles se rapportant au PNB-SN. La Direction n'est pas informée sur les projets de biogaz initiés par la SOGAS de Dakar et de Saint Louis.
- La Direction des Hydrocarbures : Elle s'occupe du volet combustible domestique à l'échelle nationale. Cette direction assure la tutelle du Programme National Biogaz (PNB-SN).
- La Direction de l'Environnement et des Établissements Classés (DECC) : selon les propos de la responsable des changements climatiques, la valorisation des ordures ménagères a été la préoccupation qui a poussé la DEEC à s'impliquer dans le biogaz avec notamment le Projet de Valorisation du Biogaz de la décharge de MBEUBEUSS dont la production d'électricité projetée est estimée de 4 MW. Ce projet, du fait des changements institutionnels successifs, a été abandonné. Un autre projet portant sur la valorisation du biogaz de la décharge de SINDIA a été initié avec AMA Sénégal mais sans succès.
- L'ONAS : Il dispose de la première station de traitement à grande échelle des eaux usées au Sénégal et à ce titre, assure:
 - l'approvisionnement des maraîchers en eaux traitées et en engrais organique ;
 - l'approvisionnement en eau des BTP pour la construction d'édifices ;
 - la méthanisation pour le chauffage de la régulation de température (37,5°C) des digesteurs ;
 - la cogénération d'une partie de l'électricité (60%) dont a besoin la station.

Il faut aussi noter que 25% des eaux décantées subissent un traitement résultant des activités sus citées et que les 75% restant sont jetées à la mer. En outre, l'état actuel de la station est marqué par une dégradation des turbines à gaz et des pannes fréquentes; ce qui la pousse à brûler le méthane d'où des pertes.

3.2.2 Les agences:

Parmi les structures intervenant dans la promotion du biogaz domestique, on peut mentionner l'ANEV et l'ANER.

- **L'Agence Nationale des Eco-villages (ANEV)** : cette agence intervient dans la promotion de l'environnement et l'amélioration des conditions de vie en milieu rural (diffusion de technologies) dans le cadre de l'électrification rurale dont les bio-digesteurs. En 2012, l'ANEV a diffusé 46 bio-digesteurs et envisage de diffuser 50 bio-digesteurs prochainement.
- **L'Agence Nationale des Energies Renouvelables (ANER)** : c'est la dernière agence créée par l'Etat (Janvier 2012) et qui s'occupe du volet spécifique des énergies nouvelles et renouvelables. Elle délivre, via son ministère, des agréments destinés aux promoteurs de

projets EnRs et établit des programmes de couverture en énergie électrique renouvelable dans des zones non couvertes par l'ASER.

3.2.3 Les projets et les Programmes

3.2.3.1 Le Programme National Biogaz du Sénégal (PNB-SN) :

Le PNB-SN a marqué un point important dans le développement rural et semi-urbain en faisant de l'amélioration des conditions de vie des femmes en milieu rural et du développement de l'agriculture par les engrais naturels ses priorités.

Les biodigesteurs domestiques peuvent avoir des effets positifs considérables sur le bilan économique du pays par leur contribution à l'augmentation des rendements agricoles, à la baisse de dépendance au gaz importé, au développement des activités génératrices de revenus en milieu rural où le sac d'effluent séché est vendu à 3000 FCFA.

Dans le domaine pastoral, l'introduction du biogaz a des impacts sur la pratique de l'élevage. En effet, certains éleveurs procèdent actuellement à la stabulation afin de disposer de bouse de vache pour la production de biogaz et l'amendement des sols. En outre, le biogaz a des effets positifs sur la santé car il est noté moins de cas de problèmes respiratoires chez les populations de Mékhé selon le responsable de l'UGPM même si 48 biodigesteurs seulement ont été diffusés.

En revanche, une analyse approfondie du secteur permet de dire que les autorités ne sont pas suffisamment informées sur les impacts réels et les possibilités que pourrait offrir le biogaz une fois le problème de l'ancrage institutionnel résolu.

L'évaluation du programme PNB-SN en Octobre 2013 pourrait, selon la Coordinatrice du programme, informer suffisamment sur les apports du biogaz dans l'amélioration des conditions de vie en milieu rural.

Les objectifs et orientations du PNB-SN portent sur la transformation de manière efficace des conditions d'exploitation des ressources naturelles par les populations rurales et périurbaines : énergie, agriculture. Il est sous-entendu que l'élevage constitue le moteur du programme. En effet, il s'agit notamment d'un appui qui cible trois domaines ; à savoir : le combustible domestique, l'éclairage domestique et l'agriculture dont le maraîchage.

Le combustible domestique : le programme contribue à l'amélioration des conditions de vie des femmes par la modernisation du combustible de cuisson ; ce qui leur procure un gain de temps énorme ; 1 à 2 heures était jadis consacré au ramassage de bois de chauffe. Le PNB-SN s'est aussi rendu compte des maladies qui sont souvent causées par la fumée issue des combustibles traditionnels et s'est donné la volonté de réduire le taux de maladies liées aux problèmes respiratoires.

L'éclairage domestique : il permet aux populations de s'adonner à des activités nocturnes et aux enfants de faire leurs devoirs scolaires.

L'agriculture dont le maraîchage : le PNB-SN a aussi pour mission d'appuyer les paysans et maraîchers dans leurs activités en créant les conditions d'une autoproduction d'engrais grâce aux biodigesteurs. Ceci permet aux populations de réduire les charges relatives à l'achat d'engrais minéraux d'une part et d'autre part d'augmenter leurs productions.

Au delà de ces objectifs, un mécanisme de marché auto-soutenu et dynamique est recherché, avec le développement de produits et accessoires locaux associé à la création d'emplois pour les jeunes.

De façon spécifique, il était question :

- d'installer 8000 biodigesteurs dans la zone pilote qui couvre le Bassin Arachidier et la zone périurbaine de Dakar sur la période 2009 – 2013 ;
- de fournir une énergie de cuisson aux ménages ruraux ;
- de fournir l'éclairage à ces ménages ;
- d'améliorer l'exploitation agricole en lui fournissant de la fumure organique ;

- d'établir un cadre infrastructurel permettant le fonctionnement permanent des biodigesteurs ;
- de contribuer à la politique de stabulation en matière d'élevage

Pour un déroulement correct du programme, le PNB-SN a implanté son unité de pilotage à Kaolack qui est presque le centre de la zone d'intervention. Au début, il s'avérait nécessaire que cette entité procède elle-même à l'installation des biodigesteurs (avec 7 maçons alors). Cette équipe a réalisé 100 biodigesteurs avant qu'il n'y ait suffisamment de maçons spécialisés (140 maçons en 2013) et aujourd'hui, elle assure le contrôle qualité et n'intervient que sur environ 10 à 15% des installations où il est noté quelques dysfonctionnements. Cette stratégie est sous-tendue par la recherche de partenaires agréés par le PNB-SN qui diffusent la technologie adoptée dans le cadre du programme avec le modèle GGC 2047 (type à dôme fixe de différentes tailles). De l'autre côté, des conventions sont signées entre le PNB-SN et les acteurs intervenants du domaine comme BIO-ECO, THECOGAZ etc.

3.2.3.2 Instituts de recherche

Les institutions de recherche présentes dans le secteur de l'Energie sont le Centre de Recherches sur les Energies Renouvelables (CERER), l'Institut Sénégalais de la Recherche Agricole (ISRA) ainsi que le Centre Régional Africain de Technologie (CRAT).

- Le CERER : Premier laboratoire de test de performance en biogaz, il a, longtemps, travaillé sur le modèle de biodigester dit chinois. Il a expérimenté plusieurs digesteurs de taille variable et plusieurs substrats dans l'optique de valoriser des déchets organiques. Son premier digesteur de 10 m³, construit en 1984, fonctionnait avec de la bouse de vache. Aujourd'hui, le CERER forme beaucoup d'artisans dans la fabrication de biodigesteurs et se préoccupe de l'amélioration des substrats. C'est pourquoi, parmi ses expérimentations sur les substrats et co-substrats on a :
 - la salade d'eau (qui a donné des résultats concluants) ;
 - Les brisures de poissons fumés à Saint Louis - (résultats non concluants à cause du sel) ;
 - Les bouses de vache (très concluant, elles sont les meilleurs substrats).

En outre, le CERER a orienté 3 sujets de thèse sur la maîtrise des processus chimiques de production de biogaz. Parmi les prototypes (biodigesteurs) que le CERER a expérimentés on a :

- La structure à fût en plastique avec la société TRANSPLAST : l'objectif visé étant non seulement la génération de biogaz, mais encore la valorisation des déchets plastiques. Ces fûts étaient enterrés à moitié lors des tests et il a été noté que les variations de températures sur les parois constituaient un point de dysfonctionnement ;
- La structure à fosse en ciment enterrée qui est aujourd'hui très répandue : le fait d'enfouir le bio digesteur répartit la température de matière homogène dans la fosse avec des températures entre 30 et 40°C ce qui est idéal pour le développement des bactéries mésophiles.

Il faut noter que le CERER met l'accent sur les déchets organiques pour les tests de performance et que certains de ses résultats de recherche sont demandés par des partenaires privés qui veulent investir dans le domaine des énergies renouvelables.

- L'Institut Sénégalais de la Recherche Agricole (ISRA) : il mène actuellement des recherches dans le domaine du biogaz et plus particulièrement sur le potentiel méthanogène des substrats comme les déchets végétaux, sur le cake de Jatropha et sur la qualité des digestats. Cependant, les résultats de recherches ne sont pas encore publiés selon la responsable de la division des productions végétales.

3.2.4 Les ONG et Organisations paysannes :

- **LE PARTENARIAT** : qui est une organisation non gouvernementale de coopération décentralisée entre le Nord et le Sud s'est chargé du financement de l'unité de production du biogaz de la SOGAS. En dehors du financement apporté, il collabore avec le Comité de quartier, la SOGAS et le CETOM. La SOGAS s'occupe de la gestion de l'unité de biogaz le CETOM (Collecte, Exploitation et Traitement des Ordures Ménagères) s'occupe du volet assainissement tandis que le PARTENARIAT s'occupe, via BIO-ECO, de l'installation du matériel.
- **HEIFER** : c'est une ONG américaine implantée à Thiès et qui a diffusé 102 biodigesteurs dans cette région et 1 à Diourbel. Sa présence est aussi notée dans les régions de Kédougou, Diourbel, Fatick et Bakel. Son objectif dans le déroulement du programme national portait sur la diffusion de 150 biodigesteurs. Son activité principale est le développement social par l'élevage d'où son slogan « le passage du don ». Elle donne un nombre précis de têtes de bétail aux membres d'une structure bien organisée et à chaque membre ensuite sur la base d'un crédit tournant de transférer le même nombre de bêtes à son voisin, l'année suivante. Conscient de la relation importante qui existe entre développement de l'élevage, de l'agriculture et élimination de la pauvreté, HEIFER a fait du biogaz une préoccupation ; d'où sa forte implication dans ce secteur. Des tests dans le domaine de la pisciculture ont été tentés avec les effluents issus des biodigesteurs à Noto Diobass (THIES) mais ils se sont révélés peu concluants.
- **UGPM (Union des Groupements de Paysans et de Maraîchers)** : basé à Mékhé, le groupement a longtemps travaillé (depuis 1985) dans la valorisation des engrais et composts pour l'amélioration de la production agricole et maraîchère. En Décembre 2012, le Groupement s'est lancé dans le biogaz afin surtout de valoriser les effluents dont les effets sur le maraichage commencent à être connus ce qui rajoute une valeur ajoutée aux biodigesteurs qui, non seulement fournissent de l'énergie pour la cuisson mais donnent un bon engrais pour le maraichage. Ce constat a fortement joué sur le niveau de la demande en biodigesteurs qui est passé de 48 à 73 entre 2012 et 2013 sans compter une vingtaine de demandes actuellement en attente parce que les deux maçons qui ont été formés ont du mal, vu leur nombre, à satisfaire la demande.
- **ENDA Energie** : ce département de « ENDA Tiers Monde » s'active dans le domaine du biogaz depuis les années 80 avec notamment la première expérience tentée dans le domaine du pompage à Thionk-Essyl (Casamance) en 1983. En outre, elle a participé en collaboration avec la Coopération Néerlandaise à l'élaboration du document qui a servi au montage de la stratégie de diffusion des biodigesteurs du PNB-SN. ENDA Energie se consacre aussi à la formation à l'entreprenariat en transformant des maçons en entrepreneurs et fournit un appui financier à des opérateurs privés tels que African Building Services (ABS) qui est aujourd'hui très apprécié pour la qualité de ses services. ENDA participe à la mise en réseau des structures opérant dans le biogaz d'où le montage ABS, l'Agence Nationale des Eco-Villages et HEIFER. ENDA Energie envisage aussi de coopérer avec l'ONAS et la mairie de Dakar sur la possibilité de valorisation en électricité des déchets et ordures ménagères de la ville de Dakar.
- **Le Réseau MUD (Fatick) et le COFESEN** : ils diffusent des modèles « GGC 2047 modifié » (voir section technologies PNB-SN) dits chinois à dôme fixe avec des accessoires (tuyauteries, réchaud,...) de marque PUXIN pour des applications domestiques. Différentes tailles de digesteurs sont proposées : 4 m³, 8 m³, 10 m³, 14 m³, 16 m³, 18 m³.
- **World Vision(WV)** : en tant que partenaire des Eaux et Forêts dans le cadre du Projet BAY SA TOLL portant sur l'atténuation des effets des changements climatiques au Sénégal, WV participe à la diffusion de biodigesteurs dans des villages parrainés.

Autres structures et organisations intervenant dans le domaine du biogaz : il s'agit de l'ONG CARITAS, des programmes nationaux comme le PNDL, l'ANCAR, le PROGEDE II, ou le PROMER) qui, aux côtés du PNB-SN, participent à la démultiplication du concept dans leurs zones respectives d'intervention. Cela montre combien le secteur spécifique du biogaz est attractif et attirant pour de nombreux acteurs privés comme publics.

3.2.4.1 Le secteur privé

Le caractère holistique du biogaz fait qu'il peut intéresser un nombre important d'acteurs dont des privés soucieux d'intervenir dans l'économie verte. Pour l'instant seul le biogaz industriel semble intéresser le privé en l'occurrence le secteur bancaire comme c'est le cas avec la Banque Africaine de Développement pour la STEP de Cambérène. Il faut aussi mentionner les sociétés de conseils et engineering comme **THECOGAZ**, **BIOECO** et **Agriforce**.

Dans le domaine du biogaz domestique on peut mentionner l'implication de quelques Structures Financières Décentralisées dont l'Union des Institutions Mutualistes Epargne et de Crédit (UIMEC) pour le financement de la demande ; et sociétés privées dont Technoplast et African Buiding Service (**ABS**) dans la diffusion de modèles et la formation.

Par ailleurs, afin de mener à bien des activités dans le domaine du biogaz, les textes réglementaires ont clairement statué sur les démarches à suivre par les porteurs de projet. Ainsi les acteurs privés intervenant dans le domaine du biogaz domestique doivent impérativement être agréés par le PNB-SN et il leur revient de diffuser leurs propres modèles. Il s'agit en grandes parties des entreprises installateurs comme **BIO-ÉCO**, **ABS**, des ONG comme HEIFER, des groupements de paysans et de maraîchers comme UGPM..

- **BIO-ECO SORR** : filiale de la société française BIOECO a réalisé l'unité de production de biogaz de l'abattoir de Saint Louis qui valorise les contenus des panses des animaux abattus par l'abattoir de Saint Louis, les eaux chargées et le sang protégeant ainsi l'environnement autour de l'abattoir et aussi atténuant les conflits avec le voisinage.
- **THECOGAS Sénégal (SARL)** : c'est une co-entreprise fondée par Thecogas B.V. des Pays bas et la Compagnie Eau, Energie, Environnement (C3E). Créée en 2008 elle a réalisé l'unité de production de biogaz de l'abattoir de Dakar

Le but de THECOGAS Sénégal est de développer le marché du biogaz industriel par le montage, la vente, la réalisation et l'entretien d'installations "clé en main". En plus de produire de l'électricité, les installations fournissent également de la chaleur et surtout de l'eau chaude qui est indispensable pour l'entretien des abattoirs, des poulaillers et autres installations industrielles.

THECOGAS Sénégal conçoit et construit des installations qui valorisent les matières premières comme les déjections d'animaux (fumier, fientes) , les déchets agricoles , les déchets industriels et ce, dans des gammes de puissance allant de 30kW à plusieurs MW.

- African Building Service(**ABS**): partenaire technique de l'ANEV, elle réalise des biodigesteurs et autres équipements portant sur la valorisation des énergies renouvelables et l'économie d'énergies.
- **H2O ENGINEERING (SARL)** : c'est une société d'ingénierie conseils qui existe depuis une dizaine d'années et qui intervient dans les domaines de :
 - L'eau potable ;
 - L'assainissement liquide et solide ;
 - Des aménagements hydro agricoles ;
 - Des pollutions,
 - Et des énergies renouvelables.

- Les abattoirs SOGAS de St Louis et de Dakar :
- La SOGAS de Saint Louis : elle se charge de l'approvisionnement en viande de bœuf, de toute la ville de Saint Louis. Son implication dans le biogaz en 2011 relève de la recherche d'une solution à la pollution olfactive et à l'insécurité causées par les déchets de l'abattoir (présence de serpents, de rats et de toutes sortes d'animaux attirés par les restes d'abattage). Cette situation a entraîné le soulèvement de la population riveraine et a fait naître l'idée de valorisation des déchets et bouses de vaches de l'abattoir ; d'où le projet de raccordement de 12 ménages et leur approvisionnement en méthane.

La spécificité de ce programme BIOGAZ est la collaboration qui existe entre la SOGAS, le Conseil de Quartier et le GIE Collecte et Traitement des Ordures Ménagères (CETOM). Ce projet est un cadre d'épanouissement et de développement social qui forme les jeunes dans l'installation des biodigesteurs et appuie le développement du maraîchage par l'octroi gratuit d'effluents issus des biodigesteurs.

SOGAS de Dakar : elle a bénéficié en 2011 d'un financement de la Belgique et des Pays Bas à travers le Programme de Coopération avec les Marchés Emergents (PSOM). Ce financement lui a permis d'installer un biodigesteur de 4.500 m³ doté d'une puissance électrique de cogénération de 150 kW. L'électricité produite permet de satisfaire 40 à 50% des besoins en énergie électrique de l'abattoir. Le modèle est conçu pour des applications industrielles avec une architecture dont les détails seront abordés dans le chapitre portant sur Inventaire des technologies. L'installation a été faite par TECHOGAZ qui est le partenaire technique cependant, faute d'homologation en l'absence d'une étude d'impact par le Comité Technique dont est membre la Direction de l'Environnement et des Établissements Classés (DEEC) la production d'électricité n'a pas encore démarré.

- Les artisans (maçons et forgerons) : ils sont plus d'une centaine à prendre part actuellement dans les villages à la production des biodigesteurs ainsi qu'à la confection d'accessoires comme les brûleurs.
- Les maraîchers et horticulteurs : ils utilisent les effluents provenant de la production de biogaz pour l'amendement des cultures à la place des engrais minéraux et pesticides. **C'est notamment le cas des maraîchers de Mékhé, de Kaolack, de Saint Louis et de Dakar.**

3.3 Au niveau des technologies de production du biogaz utilisées au Sénégal : aspects techniques et financiers

3.3.1 Aspects Techniques

La diffusion du biogaz domestique couvre pour le moment 13 régions sur les 14 que compte le pays. Concernant le biogaz industriel, sa présence est notée dans les Régions de Dakar, de Thiès et de St Louis. En effet, il faut mentionner que la région de Thiès disposait d'une unité industrielle de type Transpaille qui est actuellement à l'arrêt faute de techniciens pour continuer l'expérience.

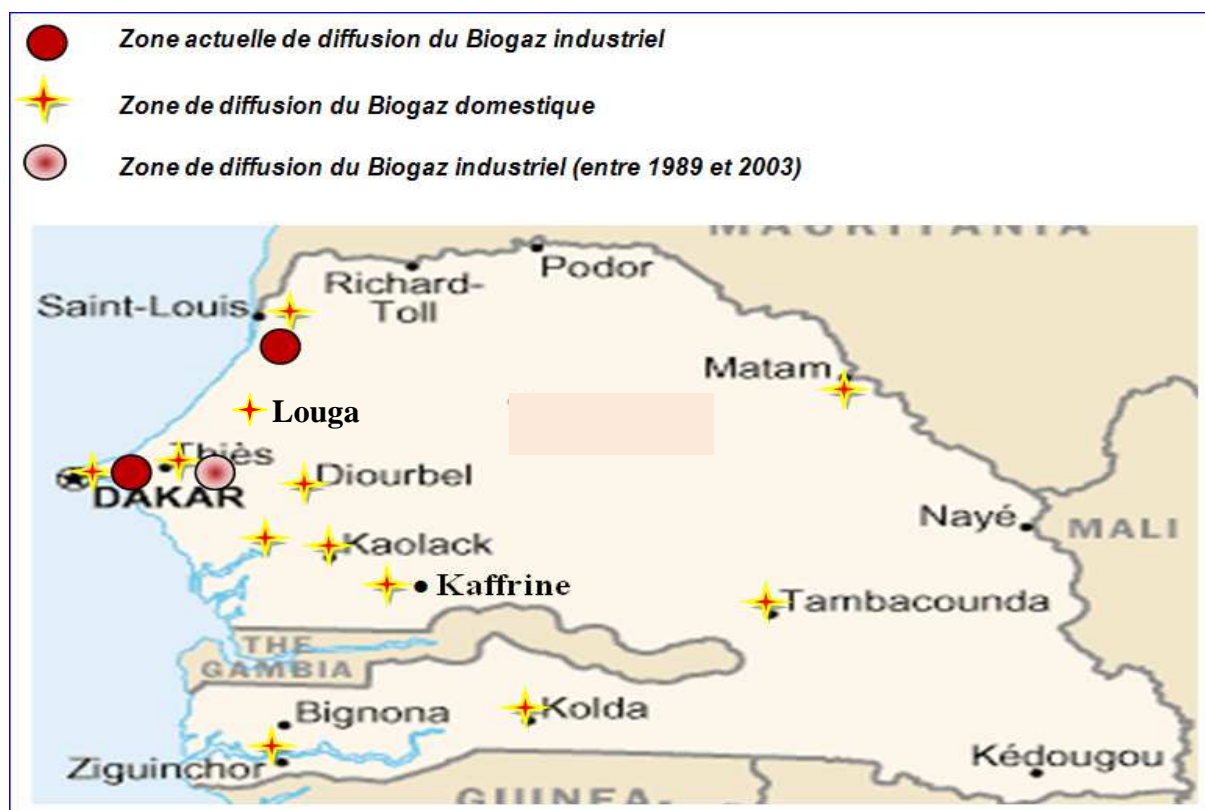


Figure 2: Cartographie des lieux actuels de diffusion du biogaz au Sénégal

- **Le biogaz industriel** : L'année 1989 a marqué le début des investissements publics dans le secteur du biogaz et plus particulièrement dans le biogaz industriel avec la création d'unités de production de biogaz dont la station d'épuration de Cambérène et l'unité de production de biogaz de la SERAS de Thiès. Hormis la STEP de Cambérène, les autres (SOGAS Dakar avec THÉCOGAZ, et SOGAS de Saint Louis avec BIOECO) sont en phase expérimentale en attendant l'obtention d'un certificat de conformité délivré par la DEEC comme le recommande le Code l'Environnement.
- **Le biogaz domestique** : Il est diffusé dans le cadre du PNB-SN depuis 2009 et concerne les zones rurales des régions de Kaolack, de Fatick, et de Thiès en attendant l'affiliation des régions de la partie sud du Sénégal comme Ziguinchor, Kolda et Tambacounda. Actuellement, plus de 500 biodigesteurs ont été diffusés auprès de familles rurales dont certaines ont du bétail, ce qui leur facilite l'obtention de la bouse de vache.

3.3.1.1 Inventaire des technologies de production de biogaz et des substrats utilisés au Sénégal

L'inventaire a été réalisé sur la base des données collectées, l'examen de la documentation sur le biogaz au Sénégal et aussi l'organisation d'entretiens avec les acteurs intervenant dans le domaine. Ce diagnostic a permis d'identifier les technologies de production de biogaz disponibles au Sénégal. Il s'agit essentiellement des typologies ci-après :

- Le digesteur à dôme flottante (CERER, CRAT, ENDA, CARITAS),
- Le digesteur à dôme fixe avec le prototype GGC et les autres variantes (PNB-SN, BIOECO),
- Le système ballon ou bache (SOGAS Dakar avec THÉCOGAZ),
- Le digesteur Transpaille (expérience SERAS de Thiès par AGRIFORCE et CIRAD),
- Le digesteur à boue activée de première génération (STEP de Cambérène).

Au Sénégal, le recours au biogaz comme source d'énergie alternative a été testé depuis 1977 avec la construction de deux biodigesteurs de type indien (à fût flottant) par la CARITAS à NDIIOUCK FISSEL, dans l'arrondissement de THIADIAYE. Mais depuis lors et, jusqu'au démarrage du Programme National de Biogaz Domestique en décembre 2009, seules 42 installations ont été

construites au Sénégal parmi lesquelles, 2 grandes installations industrielles, 7 unités à dôme fixe, 11 installations TRANSPAILLE et 22 SANIGAZ (à fût flottant). Cependant, la plupart de ces installations ne fonctionnent plus pour des raisons techniques dont : la non disponibilité des substrats, le manque de pièces de rechange et la non appropriation de la technologie par les usagers par manque de formation.

Depuis les premières unités construites en juin 2010 dans la région de KAFFRINE à la fin du mois d'août 2012, près de 350 biodigesteurs ont été réalisés par le PNB-SN dans neuf régions. 95% de ces biodigesteurs sont implantés en milieu rural, le reste dans les zones périurbaines de FATICK, KAOLACK, KAFFRINE et THIES.

3.3.1.1.1 *Digester en bâche (SOGAS Dakar)*

Caractérisation de la matière première

Le substrat utilisé dans l'abattoir est un mélange de trippes et d'autres restes issus des viandes, d'eau de nettoyage de la viande, de panses, de fumier. Comme résumé dans le tableau 1 ci après.

Tableau 1: Chargement quotidien de substrat à la SOGAS DE Dakar

SUBSTRATS	QUANTITE PAR JOUR (tonnes)	TENEUR EN MATIERE SECHE (%)	RATIO MSO/MS (%)	PRODUCTION BIOGAZ (m3/kg MSO)
Contenu de panses	4 11	5 15	6 85	7 0.48
Fumier	8 1.2	9 25	10 80	11 0.4
Eau chargée	12 7.5	13 5	14 80	15 0.4
Sang	16 5.8	17 15	18 96	19 0.62

Description de la technologie

Il s'agit d'un puits de digestat équipé de pompes mixeur-mélangeur, d'un système de sécurité de pointe et d'une cabine de contrôle (mesure de pression, soupape de sécurité en cas de sous/sur pression), d'un groupe PCCE d'une puissance de 100 kW.

En effet, une soupape de sécurité est posée sur la digue du digester. Elle permet de gérer les surpressions ou les sous-pressions. Elle est à fonctionnement hydraulique, en fonction de la pression ou de l'absence de pression, le liquide libère ou aspire du biogaz pour gérer la tension dans la bâche. En plus de la soupape de sécurité, une torchère permet de brûler l'excédent de biogaz, en cas d'intervention dans le digester ou le système.

La consommation du PCCE est de 2m3/h et le biogaz utilisé doit contenir au moins 45% de méthane (CH₄) ; la sulfure d'hydrogène (H₂S) doit être inférieure à 200 ppm et sans trace d'eau. Pour ce faire, le biogaz est épuré grâce au passage dans le désulfurisateur permettant d'avoir le bio-méthane requis pour faire fonctionner un moteur à gaz.

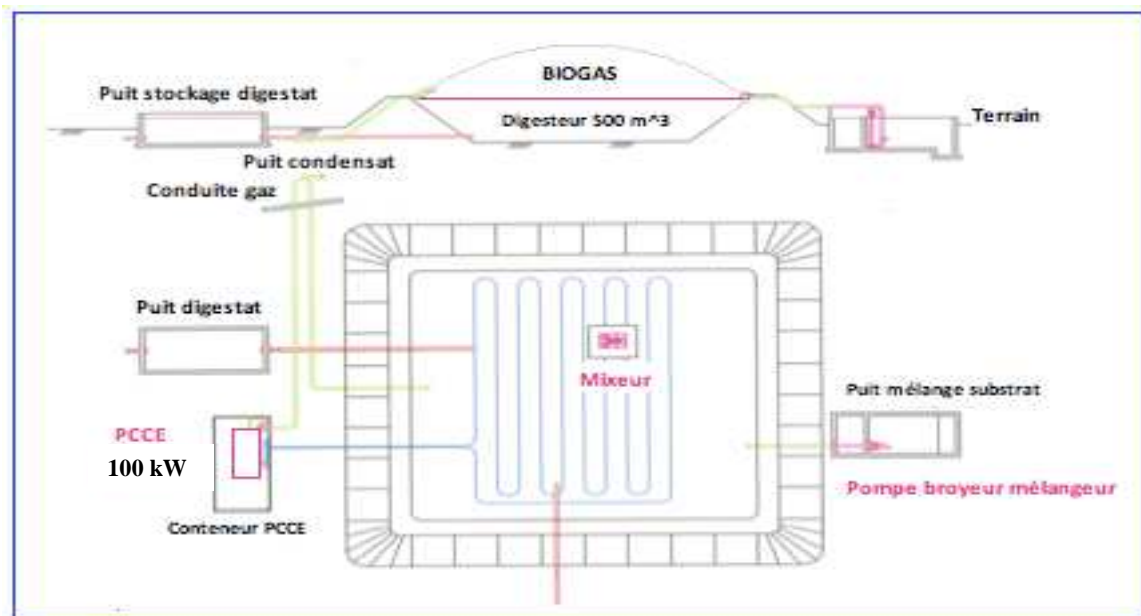


Figure 3: Schéma de principe du biodigesteur (SOGAS Dakar) vue de profil et vue de dessus

L'audit technique a fait ressortir les considérations suivantes :

- Le système est tout neuf ;
- Le système est en phase d'expérimentation

Risque liés à l'utilisation (Analyse HAZOP) : une étude de danger a été menée en vue:

- D'évaluer les risques par la méthode HAZOP ;
- D'évaluer les mesures de mitigation.

Le biodigesteur est fait dans une bache conçue pour la digestion anaérobie avec une capacité de 4000 m³ brut soit 1000m³ de gaz produit. Le digesteur est inséré dans une fosse dont les dimensions sont de 36x36m et la profondeur de 2,75m ; l'illustre la figure ci-après.



Figure 4: Fosse du digesteur

Le digesteur est chauffé par des tuyaux en plastique spécialement conçus à cet effet et posés au fond de la fosse comme le montrent les figures 3 et 4. Ce système d'échangeur de chaleur permet de maintenir la température dans les conditions optimales de production (entre 25 et 40°C), température nécessaire en milieu anaérobie pour le développement de bactéries mésophiles.

Pour assurer un mixage homogène du substrat, deux mixeurs submersibles de 13 kW, des pompes mixeurs-mélangeurs, illustrés sur la figure 5 ci après, sont installés dans un puits de pré mélange de substrat de 45 m³ de capacité.



Figure 7: Mixeur submersible de 13 kW



Figure 5: Système d'échangeur de chaleur



Figure 6: Désulfurisateur

Le biogaz généré est stocké dans la partie supérieure de la bâche comme décrit sur la figure 6 ci-dessous et la capacité de stockage de la membrane est de 1000m³ de gaz. Le digesteur est muni de plusieurs conduites destinées à l'évacuation du gaz, le remplissage en substrat, l'évacuation du digestat, la désulfuration, le mixeur, plusieurs petites conduites pour les câbles ainsi qu'un dispositif de sécurité en cas de sous et /ou surpression permettant d'aspirer de l'air dans le cas d'un remplissage maximale de la bâche ou d'insuffler de l'air dans le cas opposé.

La bâche pèse 1100 g au m² et est en PVC-P, avec une bonne résistance aux UV, un allongement à la rupture de 18/25 %, une résistance à la déchirure de 400 N et peut tenir à des températures entre -30 et + 80 ° C



Figure 8: Digesteur à bâche de SOGAS Dakar

Infrastructure de transport du gaz

Le biogaz sort du digesteur par un gazoduc en PVC DN150 qui passe sous terre et se refroidit en perdant sa vapeur d'eau. Le condensat est récupéré dans un puits et évacué par une pompe vers un groupe PCCE (groupe électrogène fonctionnant au biogaz).

Technologie à biodigesteurs interconnectés (SOGAS Saint Louis)

Description de la technologie

Cette technologie est composée de 5 digesteurs de 10 m³ de capacité, d'un gazomètre installé à l'intérieur du « cou » du digesteur et dont le diamètre est de 1,6 m. Le biogaz produit est filtré à l'aide d'un filtre à soufre et est stocké dans 2 ballons de 20 m³.

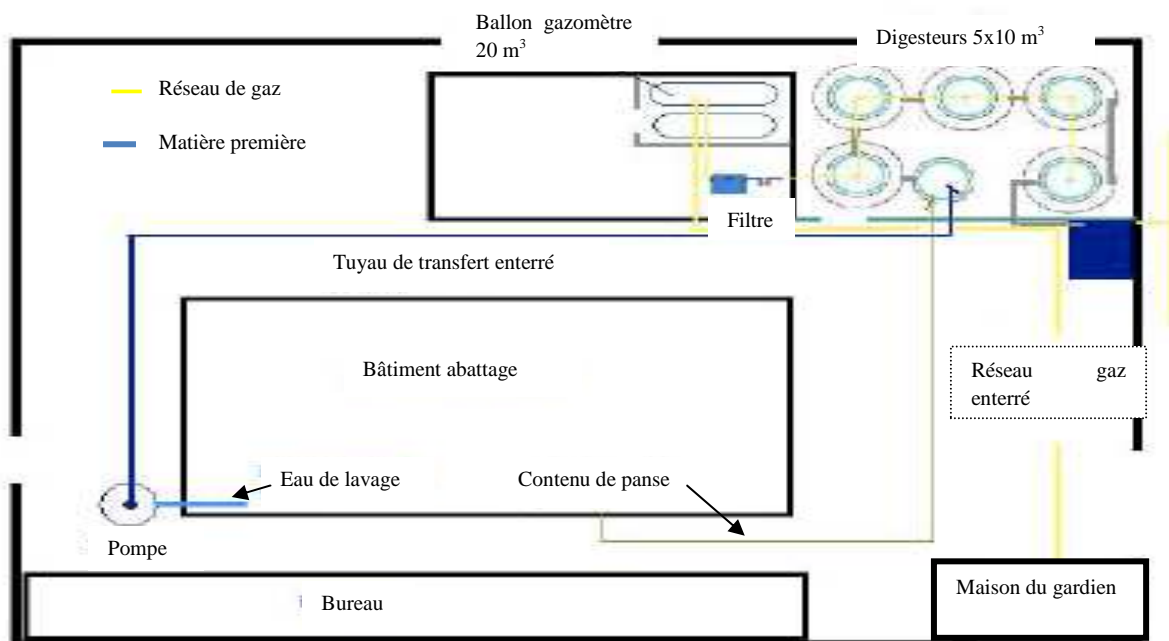


Figure 9: Installation de l'entreprise BIOECO (St-Louis)

La production de biogaz s'effectue en trois phases et justifie le choix des équipements intervenant dans le procédé.

Phase 1: Le gaz produit, par décomposition anaérobie de la matière, vient se loger sous la cloche.

Phase 2: Le biogaz expulse l'eau contenue dans la cloche.

Phase 3: L'eau passe alors sous la cloche et est orientée vers la sortie comme les effluents.

Phase 4 : Surpression:

Le biogaz excédentaire passe sous la cloche et s'échappe sous forme de bulles.

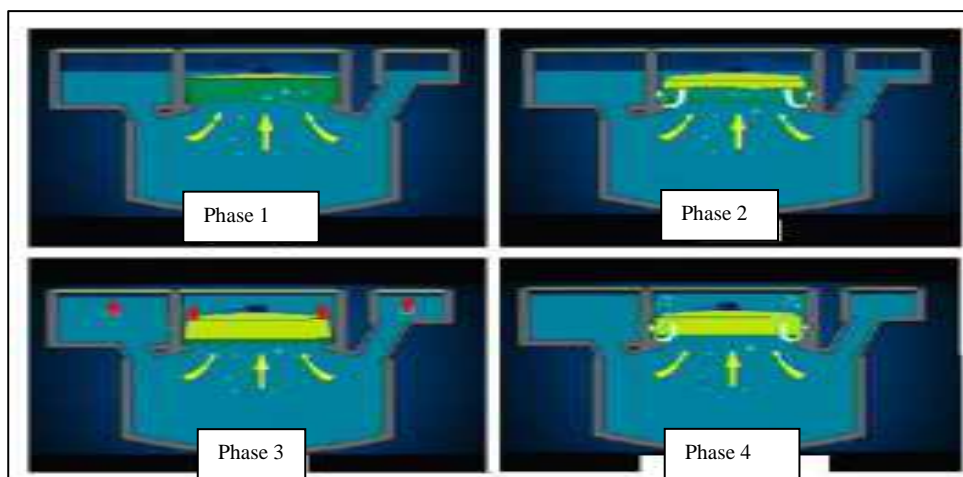


Figure 10: Schéma de principe de méthanisation

La figure ci après illustre le point de départ du substrat qui est pompé et acheminé vers le premier digesteur qui sert de bac principal de réception. Par la suite, ce dernier alimente les cinq autres digesteurs équipés chacun d'une cloche qui loge le gaz produit pendant la digestion.



Figure 11: Cheminement de la matière première et principe du procédé

Caractérisation de la matière première

Pour se faire une idée du stock de matières fécales, il faut noter que 20 bovins, en moyenne, sont abattus par jour et les bouses, les panses et rejets liquides provenant de ces animaux sont utilisés pour produire du biogaz.

Liste des équipements de BIOECO

Comme le résume le tableau 18 ci après, dix éléments composent le biodigesteur de SOGAS St-Louis.

Tableau 2: Liste des équipements de production de biogaz (SOGAS St-Louis)

Digesteur	Le digesteur est la partie où se passent la fermentation et la production de gaz. Le digesteur contient la matière à fermenter.
Gazomètre	La cloche stocke le gaz et le met sous pression. Un gazomètre stocke 1,2 m ³ . Des gazomètres externes cloches ou ballons peuvent être ajoutés. Le gazomètre peut être enlevé pour permettre de vidanger ou réparer le digesteur.
Fosse eau	La fosse permet de stocker le liquide sortant du digesteur lors des remplissages. Cette eau est utilisée pour diluer la matière entrante ou peut-être utilisée comme engrais.
Filtre soufre	Le filtre permet de retenir le soufre contenu dans le biogaz. Le filtre à soufre contient des granulés (oxyde de fer) à changer chaque 100 m ³ . Le filtre est obligatoire avec le groupe électrogène.
Jauge de pression	Les jauges de pression permettent de vérifier la quantité de gaz stockée.
Filtre à eau	Le biogaz en sortie est humide. L'eau doit être piégée pour ne pas boucher les tuyaux. Pour vidanger l'eau il suffit d'ouvrir la vanne.
Tuyau et vannes	Les tuyaux servent à transporter le gaz. Le tuyau doit être enterré et passé dans une gaine orange pour le protéger du soleil. Le tuyau est à changer tous les 5 à 7 ans.
Lampe biogaz	La lampe biogaz permet l'éclairage. La mèche est à remplacer en fonction de l'utilisation.
Réchaud	Le réchaud biogaz permet la cuisson.
Groupe électrogène Motopompe	Le biogaz remplace le gasoil, essence dans les moteurs à essence ou diesel fixe. On peut aussi utiliser des groupes 100% biogaz.

3.1.1.1.2. Technologie PNB-SN : Biodigesteur à dôme fixe GGC

Description de la technologie

PNB-SN utilise un biodigesteur à dôme fixe modèle GGC 2047 modifié, GGC qui signifie Gobar Gas and Agricultural Equipment Development Company. Le digesteur comprend 6 parties comme le montre la figure suivante:

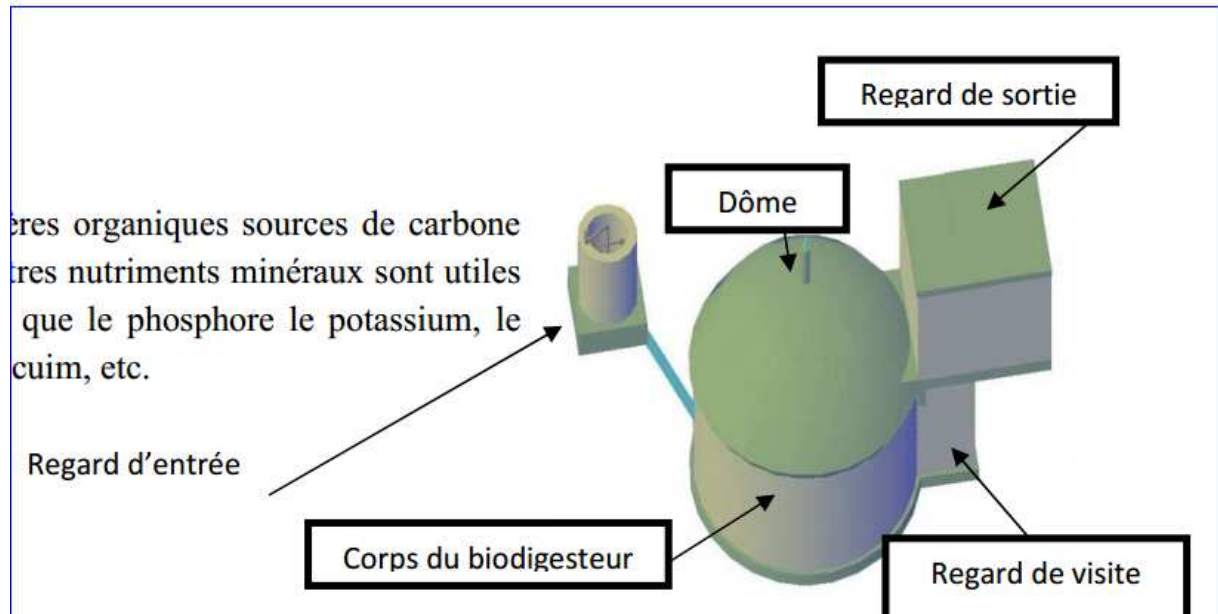


Figure 12: PNB-SN: Présentation du biodigesteur GGC-2047

L'entrée (chambre de mélange) pour un digesteur alimenté aux déjections de bétail, le digesteur (chambre de digestion), le détenteur du gaz (chambre de stockage), la sortie (chambre de déplacement), le système de transport de gaz et enfin les puits de compostage.

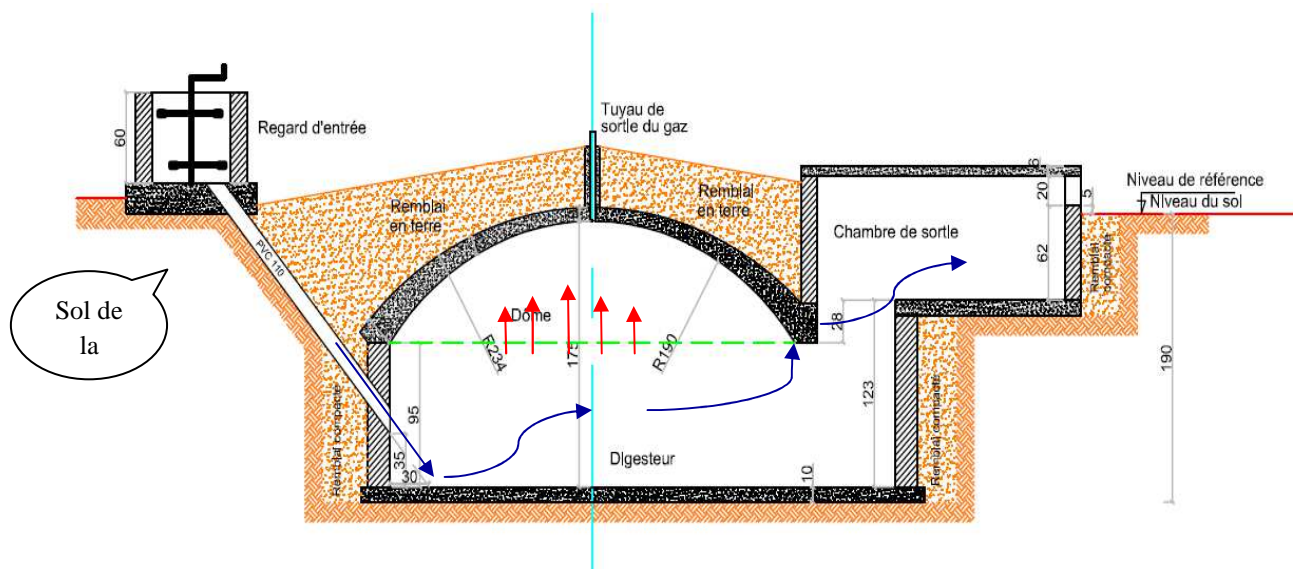


Figure 13: Biodigesteur PNB-SN

Le biodigesteur est alimenté par un mélange de bouse et d'eau, introduit dans la chambre de mélange. Le mélange est ensuite acheminé à l'aide d'un tuyau d'entrée vers la chambre de digestion. Le biogaz

produit est entreposé dans le détenteur du gaz (le sommet du dôme). L'effluent passe du digesteur au réservoir de sortie et se déverse dans le puits à compost à travers le déversoir qui se trouve dans le réservoir de sortie.

Nos observations sur le terrain nous ont permis de constater que le digesteur de 10 m³ est le plus utilisé au Sénégal.

Caractérisation de la matière première

Cette technologie utilise de la bouse de vache fraîche et de l'eau provenant de la chambre de mélange du biodigesteur.

Les éléments caractéristiques de la bouse de vache sont :

- Teneur en matière volatile solide : 13%
- Potentiel méthanogène : 0.25 m³/kg de matière volatile solide
- PCI brute : 17 MJ/kg

L'audit technique ainsi que les entretiens de terrain ont fait ressortir les considérations suivantes :

Facteur limitant lors de la mise en service : Absence de quantité suffisante de bouse de vache pour amorcer le démarrage (ii) Eviter d'utiliser de la bouse provenant de vache nourrie avec des aliments contenant des antibiotiques.

Risque liés à l'utilisation (Analyse HAZOP)

- o Mise sous pression du dôme avec un mini compresseur
- o Mesure de la variation de pression entre l'entrée et la sortie de gaz
- o En première utilisation : s'assurer avec une plume que de l'air n'est pas aspiré dans le réseau
- o Exposition au gaz: à 30% dans l'air le biogaz a des effets anesthésiants et est très inflammable.

3.1.1.1.3. Station d'épuration STEP Cambérène

Description de la Technologie

La technologie utilisée par la STEP est constituée de 3 biodigesteurs (2 primaires de 3000 m³ et un secondaire de 2000 m³), d'un groupe à biogaz (311 kVA), d'un gazomètre d'une capacité de stockage de gaz 1000 m³, d'une Torchère pour le surplus de biogaz produit dans les biodigesteurs. Le chauffage des boues est assuré par l'eau chaude provenant d'une chaudière dont la capacité est de 900m³/h. Ensuite elle est dirigée vers un échangeur de chaleur pour maintenir la température des boues à 37.5°C. . Le site comporte aussi 76 lits de séchage avec une surface unitaire de 250 m² et d'un réseau de transport en inox enterrée à 1,5 m pour l'acheminement des boues, de l'eau et du biogaz.

Les trois types de biodigesteurs cylindriques sur le site de Cambérène illustrés en jaune sur la figure 14 ci-après se composent de deux digesteurs primaires de 3000 m³ et d'un digesteur secondaire de 2000 m³ d'une durée de vie de 50 ans. Il est observé sur la photo ci-après qu'au sommet des biodigesteurs, il y a un agitateur qui assure le mixage des boues. Ces agitateurs fonctionnent au gaz d'où l'utilité de compresseurs à gaz (pression de 2 bars).

Le biogaz est produit dans les conditions optimales de température (37.5 °C en milieu anaérobie) permettant le développement de bactéries mésophiles avec un temps de rétention en moyenne de 30 jours.



Figure 14: Digesteurs et gazomètre de la STEP

Après l'étape de traitement des eaux, la boue issue des bassins de décantation est directement orientée vers les 3 digesteurs.

La composition moyenne des boues avant digestion est de 63% en matière organique et 37% en matière minérales. Avec un taux global de réduction des matières sèches par digestion de 39%, Il en résulte un biogaz contenant 75% de méthane. Le biogaz produit est directement acheminé au gazomètre qui alimentera ultérieurement le groupe PCCE.

Un audit technique sommaire de la station permet de noter les éléments suivants:

- Le gazomètre est devenu trop petit par rapport à la quantité de biogaz produit ;
- En raison de la faible capacité de la torchère ; une quantité importante de biogaz est directement libérée dans l'atmosphère, d'où la mauvaise odeur autour de STEP ;
- Sur les trois vis d'Archimède, seule une fonctionne ;
- La machine à biogaz ne fonctionne plus par manque de pièces de rechange

Caractérisation matière première

Pour un débit de 19 200 m³/j, la charge en DBO5 est de 14 202 kgDBO5/J. Le volume de boues traité est de 480 m³/j et la composition moyenne des boues avant digestion est de 63% de MO (matière organique). La Production spécifique de biogaz est de 0,45 N.m³/Kg matière organique entrant en digestion, soit 0,90 N.m³/Kg de matière organique détruite. La composition moyenne des boues avant digestion est de 63% de MO (matière organique) et de 37% de MM (matière minérale).

3.1.1.2. Analyse descriptive des modes de valorisation du biogaz et du digestat

Pour ce qui est des biodigesteurs domestiques, près de 5 modes de valorisation du biogaz et du digestat ont été notés sur le terrain :

- Utilisation du biogaz pour la cuisson et l'éclairage.
- Utilisation du digestat comme engrais pour la fertilisation des sols et comme pesticide pour la protection des cultures contre les parasites et autres insectes nuisibles.

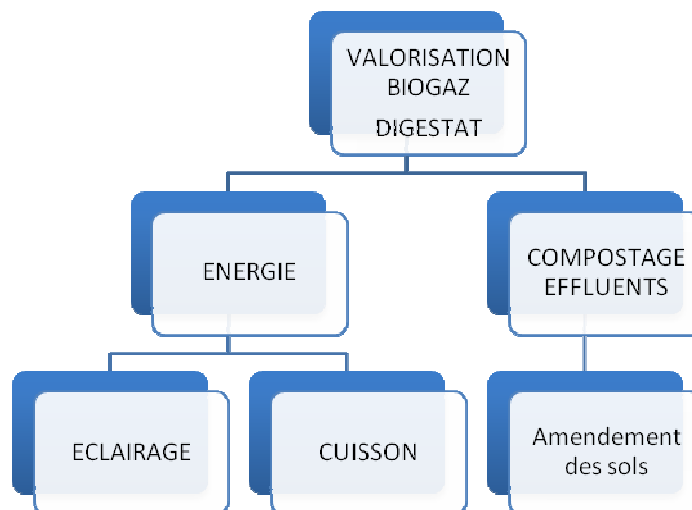


Figure 15: Schéma des modes de valorisation du biogaz et du digestat

Pour ce qui du biogaz industriel, on a la production d'électricité, le chauffage et l'amendement des sols.

3.1.1.3. Évaluation des rendements des unités de production de biogaz et l'accessibilité des substrats

Les unités de production de biogaz rencontrées produisent entre 60 et 80% de méthane comme le montre le tableau ci-dessous. Ce rendement est fonction de la nature du substrat utilisé mais aussi du type de technologie.

Tableau 3: Teneur en méthane

Type de technologie	Teneur en méthane (%)
GGC 2047 modifié PNB-SN	60
Technologie à Bâche (SOGAS Dakar)	80
STEP CAMBERENE	70
Système centralisé (SOGAS Saint-Louis)	60

3.1.1.3.2. Rendement de l'unité de production de biogaz de la STEP de Cambérène

La quantité de méthane produite est de 140m³/j. Le rendement obtenu par la voie de la digestion anaérobie est de 60% et la production spécifique de biogaz : 0,45 N.m³/Kg matière organique entrant en digestion, soit 0,90 N.m³/Kg matière organique détruite.

Avec un volume de boues traitées de 480 m³/j et une composition moyenne des boues avant digestion de 63% de MO (matière organique) soit environ 302.4 m³/j, Un calcul de l'efficacité de la dégradation de matière pour la production de méthane de la Station d'épuration de Cambérène est évaluée à 46 %, sachant que la quantité de méthane produite est de 140m³/j et que le flux de matière organique biodégradable passant par le digesteur est de 302 kg/j.

Source : ONAS – STEP Cambérène

3.1.1.3.3. Rendements de l'unité de production de biogaz du PNB-SN

Pour les biodigesteurs proposés par le PNB-SN, la production maximale de gaz est de 4.5 m³ par jour pour un digesteur de 18 m³ de capacité.

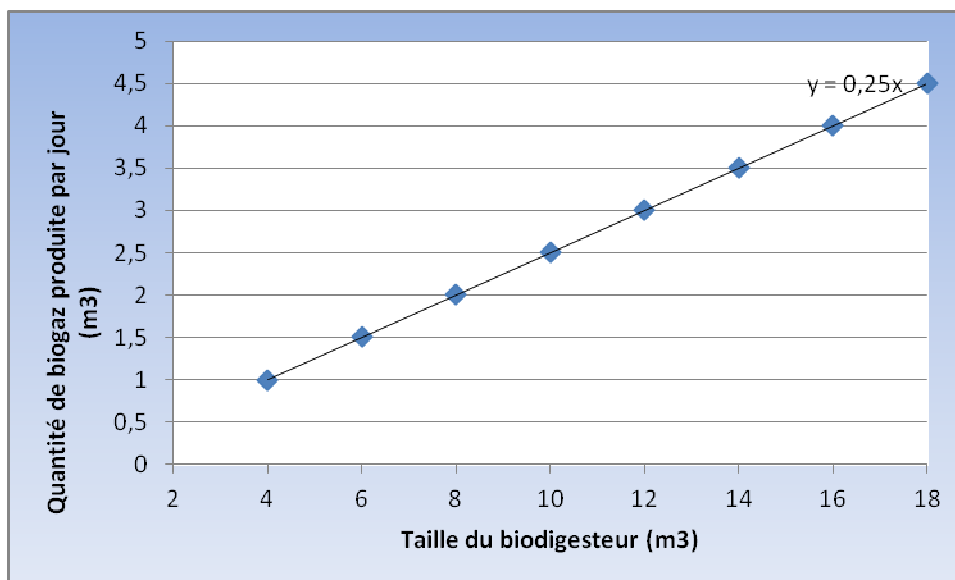


Figure 16: Production journalière de biogaz en m3 en fonction de la taille du biodigesteur

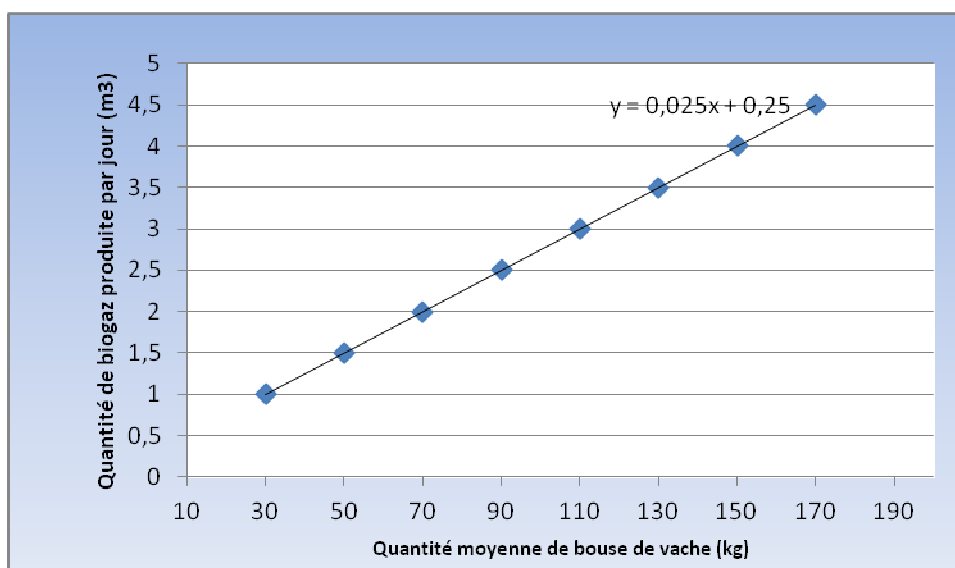


Figure 17: Production journalière de biogaz en fonction de la quantité de bouse de vache

Ces deux graphiques montrent que la quantité de biogaz produite par les biodigesteurs du PN-SN est proportionnelle à la quantité de bouse (à partir de 0.25 m³) et à la taille du biodigesteur.

3.1.1.3.4. Rendements de l'unité de production de biogaz des abattoirs de Saint-Louis et Dakar

Les abattoirs ont un taux de dégradation de la matière de 80% et un ratio de production de biogaz de 0,4 m³/kg DCO. Le tableau montre que la SOGAS produit environ 1500 m³/j de biogaz et comme remarqué la SOGAS de Dakar produit 100 fois plus de biogaz que la SOGAS de Saint Louis.

Tableau 4: Quantité de biogaz des abattoirs

Type de technologie	Quantité biogaz Produit (m³/an)	Nombre de biodigesteurs	Capacité unitaire (m³)
SOGAS Saint Louis	10 000	5	10
SOGAS Dakar	517 000	1	4000

En effet, la SOGAS de Dakar a une capacité 100 fois supérieure (4000 m³ contre 50 m³) à celle de Saint Louis du fait de la forte demande en viande de la capitale et aussi de la taille de la population de Dakar

3.1.2. Aspects financiers : Coûts d'investissement et d'exploitation des unités de biogaz

3.1.2.1. Évolution des investissements publics dans le secteur du Biogaz au Sénégal

STEP Cambérène :

Elle a été mise en service le 23 Janvier 1989, et son coût d'investissement a été évalué à 2.630.112.106 FCFA. Les équipements qui entrent dans la chaîne de production de biogaz représentent 17% de l'investissement initial total soit 446.154.660 FCFA. Des améliorations ont été apportées à la STEP comme l'extension et la réhabilitation de ses capacités de traitement des eaux en 2001, 2004 et 2008. Mais, face à une demande sans cesse croissante, la STEP est confrontée à des difficultés qui l'obligent à fonctionner dans des conditions non conformes au Code de l'Environnement. La production d'électricité est compromise du fait de l'arrêt de certains groupes biogaz. A cela s'ajoute la libération de quantités importantes de méthane brûlées, car le gazomètre ne parvient plus à stocker la totalité du gaz produit par jour



Figure 18: Biodigesteurs de la STEP de Cambérène

En 1989, une deuxième unité de production de biogaz a été implantée, à l'abattoir de Thiès SERAS/SOGAS. Il s'agissait d'un biodigesteur de type TRANSPAILLE dont l'objectif était la réduction de la facture électricité mais aussi la valorisation des déchets de l'abattoir.

Le financement du projet a été assuré par la SERAS (Société d'Exploitation des Ressources Animales du Sénégal), le Ministère de l'Environnement, le Ministère de la coopération et du Développement (Fonds d'Aide et de Coopération), l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et le GIE Agriforce. L'investissement global de l'ouvrage

était de 8.100.000 FCFA pour une capacité journalière de production de méthane de 35.5 m³ et une valeur ajoutée en compost estimée à 55 tonnes par an. Ainsi, la SERAS était en mesure d'assurer un service continu pour ses charges d'électricité grâce au groupe de 20 kVA fonctionnant au biogaz. L'énergie électrique servait dans l'abattage pendant le jour et dans le fonctionnement des chambres froides pendant la nuit. Aujourd'hui, l'unité ne fonctionne plus pour les raisons suivantes :

- Les équipements ont été amortis et un plan de remplacement n'a pas été établi
- Le bouclier du fermenteur très souvent en panne
- La pièce de rechange (bouclier) était non disponible sur le marché
- Les ballons du gazomètre de stockage étaient troués d'où des problèmes d'épuration
- Un manque de formation pour assurer la relève a été noté
- La fourniture d'électricité a été finalement compromise et la société s'est résolue à souscrire un abonnement auprès de la SENELEC.

En effet, ce biodigester Transpaille a fonctionné pendant 13 ans avant de s'arrêter définitivement en 2003. Les leçons qu'on peut tirer de cette expérience sont qu'au-delà des bonnes initiatives mises en œuvre pour le développement du secteur de l'assainissement des abattoirs par la valorisation des déchets (eaux chargées, contenus de panse, sang etc.) en électricité et en compost, des problèmes de suivi (formation et transfert de compétence) et de maintenance préventive ont empêché la pérennisation de l'unité et conduit SOGAS de Thiès à souscrire une police d'abonnement auprès de la SENELEC et a payé aujourd'hui des factures d'électricité de l'ordre de 1 500 000 FCFA par bimestre..

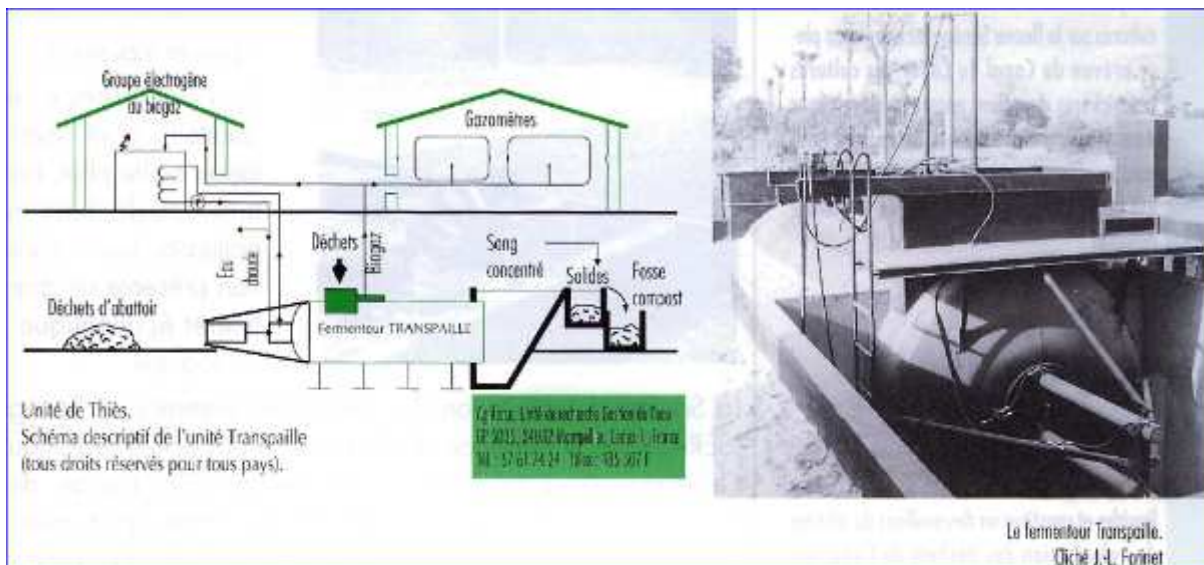


Figure 19: Schéma et la photo du biodigester de la SERAS de Thiès

En Décembre 2009, avec la mise en place du PNB-SN, l'État a affiché sa véritable préoccupation d'améliorer les conditions économiques et sociales dans les zones rurales et périurbaines en les dotant de nouvelles technologies fonctionnant au biogaz provenant des déjections d'animaux et de la bouse de vache en particulier. Il faut souligner que l'apport du gouvernement consiste en une subvention de 160.000 FCFA par biodigester soit environ 30% du coût global d'une installation. Vu l'objectif qui était fixé au début du programme, un budget de 1.280.000.000 FCFA était prévu. Mais, aujourd'hui le budget consommé, en termes d'investissement effectif, est de 85.920.000 FCFA. Cela correspond aux 537 biodigesteurs diffusés depuis le début de projet. Pour avoir une idée exacte sur les moyens financiers, matériels et humains déployés par l'Etat pour promouvoir le biogaz au Sénégal, à travers le PNB-SN, il faudra ajouter, aux coûts d'investissement, les charges de fonctionnement dont celles du personnel impliqué dans le programme.

3.1.2.2. Coûts actuels d'investissement et d'exploitation des unités de biogaz selon les substrats et les modes de valorisation

Les coûts d'investissement de même que les coûts d'exploitation varient suivant la nature des biodigesteurs, et de leur capacité et ceci, indépendamment du type de substrat utilisé et du mode de valorisation (production de biogaz à des fins énergétiques ou production de compost pour l'amendement des sols).

3.1.2.2.2. Cas des biodigesteurs domestiques

Pour les bio-digesteurs domestiques diffusés dans le cadre du Programme National Biogaz (PNB-SN), les coûts d'investissement se composent de la main d'œuvre du maçon (46% du coût) et des matériaux de construction (54%) comme le montre le tableau suivant.

Tableau 5 : Évaluation des coûts d'investissement en fonction de la taille du digesteur

Rubrique	Taille du biodigeteur (m3)							
	4	6	8	10	12	14	16	18
Sable (FCFA)	9040	13560	15822	18655	23240	25305	27510	28525
Gravier (FCFA)	21454	32182	40774	53270	51960	64200	67080	68280
Main d'œuvre (creusage) (FCFA)	14575	21863	27336	33537	40913	45450	50400	55275
Eau (FCFA)	8266	1240	1482	1805	1930	2200	2300	2400
Ciment (FCFA)	61333	92000	112000	136000	152000	172000	184000	196000
Main d'œuvre (maçon) (FCFA)	71262	106894	118447	132753	185540	202853	222276	236893
Total	185 930	267 739	315 861	376 020	455 583	512 008	553 566	587 373
Durée de vie (ans)	20							
Amortissement (FCFA)	9 297	13 387	15 793	18 801	22 779	25 600	27 678	29 369

3.1.2.2.3. Cas des biodigesteurs industriels

3.1.2.2.3.1. Biodigesteur en bache (SOGAS Dakar)

D'après les informations obtenues des entretiens avec les responsables de la SOGAS et des techniciens de THECOGAS, le coût d'investissement de l'installation est estimé à 386 millions de FCFA et se décompose ainsi (voir tableau ci-dessous).

Tableau 6: Composition des coûts d'investissement du bio digesteur de la SOGAS (Dakar)

DESIGNATION	MONTANT (FCFA)
Frais de 1er étage	296 884
Terrain (aménagement et génie civil)	39 553 187
Bâtiments et hangar	120 585 831
Equipement	148 110 458
Frais d'installation	29 932 141
Matériel informatique	24 352 603
Véhicules et engins utilitaires	8 552 040
Besoins en fonds de roulement sur un trimestre	14 353 850
Total	385 736 994

Le tableau montre que les immobilisations (terrain, bâtiments, hangars, équipements, le matériel de transport) représentent à eux seuls la presque totalité du coût du projet, soit 80% de l'investissement. Autrement dit, pour ce genre de projet, les immobilisations constituent le volet le plus important auquel doit faire face le porteur du projet.

3.1.2.2.3.2. Unité de production de biogaz de la STEP de Cambérène

Pour mémoire, il faut rappeler que l'unité de production de biogaz de Cambérène se décompose ainsi : (i) deux digesteurs primaires ; (ii) un digesteur secondaire ; (iii) un gazomètre ; (iv) une torchère, (v) une chaudière ; (vi) les pièces de rechange ; (vii) un groupe électrogène ; (viii) des équipements électriques.

Tableau 7: Coût d'investissement de la STEP de Cambérène

Monnaie	FCFA		
Equipements	STEP Camberène		
	Invest.	Durée de vie	Amortissement
Digesteur Primaire n°1	112 188 308	50	2 243 766
Digesteur Primaire n°2	49 097 084	50	981 942
Digesteur secondaire	38 898 944	50	777 979
Gazomètre	7 959 911	50	159 198
Torchère	52 421 048	25	2 096 842
Chaudière	19 351 195	25	774 048
Groupe électrogène à gaz	145 117 432	30	4 837 248
Equipements électriques	12 116 096	15	1 459 026
TOTAL	437 150 018		13 330 048

Ce tableau montre que tous les investissements coûtent très cher, ce qui pose un problème de renouvellement une fois qu'ils seront amortis. Il est aussi noté qu'il est difficile à la STEP de constituer des stocks pour ce qui concerne le groupe électrogène fonctionnant au biogaz et la chaudière. C'est pourquoi, aujourd'hui la STEP est confrontée à des problèmes de production d'électricité car ce groupe électrogène ne fonctionne plus.

3.1.2.2.3.3. Production collective de biogaz de l'Abattoir de Saint Louis

Cette unité a été réalisée par BIOECO à la demande de Partenariat qui est une ONG qui intervient dans le domaine de la coopération décentralisée entre les Collectivités locales du Nord (Ville de Lille) et celles du Sud (Saint Louis, Matam) et les populations de KHOR afin

de combattre les nuisances occasionnées par l'abattoir et protéger l'environnement. Le coût total de l'investissement a été estimé à 12.299.480 FCFA et se décompose ainsi (voir tableau)

Tableau 8: Coûts d'investissement de l'unité de biogaz de SOGAS (Saint-Louis)

Désignation	Montant (FCFA)
2 ballons de stockage	1 600 000
5 digesteurs	6 000 000
1 filtre à soufre	900 000
1 bac d'entrée	380 000
Tuyauterie	1 619 480
1 pompe (surpression)	1 800 000
Total	12 299 480

L'unité proposée par BIOECO devra produire 10.000 m³ annuellement et 100 tonnes de compost. Financièrement l'unité devrait générer 2.500.000 FCFA par an, provenant de la vente du biogaz aux populations (12 ménages riverains de l'abattoir) et 1.000.000 FCFA par an provenant de la vente du compost. Sur la base de ces chiffres, l'investissement sera remboursé au bout de 4,3 ans de fonctionnement. Actuellement l'unité est au stade expérimental avec un seul ménage raccordé (celui du gardien de l'abattoir).

3.1.2.3. Évaluation des coûts annuels d'exploitation

Dans l'ensemble, les coûts d'exploitation des unités de production de biogaz se limitent aux coûts de la main d'œuvre, de l'entretien et de la maintenance. En effet, tous les éléments concernés dont la main d'œuvre familiale ou l'eau provenant surtout des puits ne sont pas rétribués. Selon le cas, ces coûts ont tendance à disparaître comme c'est le cas pour les biodigesteurs domestiques implantés en milieu rural.

3.1.2.3.2. Cas d'une unité de production domestique de biogaz

Tableau 9: Evaluation des coûts d'exploitation pour les différentes unités du PNB-SN

Cas pessimiste								
Rubriques	4 m ³	6 m ³	8 m ³	10 m ³	12 m ³	14 m ³	16 m ³	18 m ³
Bouse	0	0	0	0	0	0	0	0
Eau	82 462	123 693	164 924	206 155	247 386	288 617	329 848	371 079
Main d'œuvre	73 000	109 500	146 000	182 500	219 000	255 500	292 000	328 500
Petits matériels	5 500	8 250	11 000	13 750	16 500	19 250	22 000	24 750
Amortissement	9 297	13 387	15 793	18 801	22 779	25 600	27 678	29 369
Totaux	170 259	254 830	337 717	421 206	505 665	588 967	671 526	753 698
Cas réel								
Rubriques	4 m ³	6 m ³	8 m ³	10 m ³	12 m ³	14 m ³	16 m ³	18 m ³
Bouse (FCFA)	0	0	0	0	0	0	0	0
Eau (FCFA)	0	0	0	0	0	0	0	0
Main d'œuvre (FCFA)	0	0	0	0	0	0	0	0
Petits matériels (FCFA)	5 500	8 250	11 000	13 750	16 500	19 250	22 000	24 750
Amortissement (FCFA)	9 297	13 387	15 793	18 801	22 779	25 600	27 678	29 369
Durée de vie (ans)	20							
Totaux	14 797	21 637	26 793	32 551	39 279	44 850	49 678	54 119

Le tableau montre que les coûts d'exploitation annuels d'une unité de biogaz domestique sont supérieurs aux coûts d'investissement de l'ordre de 10% mais ; étant donné qu'en milieu rural, la main d'œuvre familiale n'est pas rémunérée ; les coûts d'exploitation sont faibles et se résument à l'amortissement du biodigesteur et du petit matériel. L'eau n'est pas généralement

achetée ni pour la construction, ni pour l'alimentation du biodigester. Dans les concessions où un puits existe le poste « eau » a tendance à disparaître rendant l'investissement encore plus intéressant.

Tableau 10: Détermination du m3 de biogaz pour les unités domestiques (PNB-SN)

Rubrique	Taille du biodigester (m³)							
	4	6	8	10	12	14	16	18
Charge d'exploitation (cas pessimiste)	170 259	254 830	337 717	421 206	505 665	588 967	671 526	753 698
Charge d'exploitation (cas réel)	14 797	21 637	26 793	32 551	39 279	44 850	49 678	54 119
Quantité annuelle de biogaz (m3)	365	548	730	913	1095	1278	1460	1643
Coût du m3 de biogaz (FCFA) cas pessimiste	466	465	463	462	462	461	460	459
Coût du m3 de biogaz (FCFA) cas réel	41	40	37	36	36	35	34	33

Ce tableau montre que plus la taille du biodigester est importante plus le coût du m3 digéré a tendance à baisser dans les deux cas de figure présentés ici. Au vu du projet de l'unité industrielle de l'abattoir de Saint Louis qui projette de vendre à 200 FCFA le m3 de biogaz aux abonnés de son réseau, les unités domestiques que propose le PNB s'avèrent très attrayantes étant donné que le coût du m3 dans le cas réel correspond à un pourcentage compris entre 16.4 et 20.5 % du coût du m3 proposé par l'abattoir de Saint-Louis.

3.1.2.3.3. Coûts d'exploitation pour les unités industrielles

3.1.2.3.3.1. Unité de production de biogaz à la SOGAS de Dakar :

Tableau 11: Coût annuel d'exploitation de l'unité de production de biogaz (SOGAS Dakar)

DESIGNATION	MONTANT (FCFA)	Ratio (%)
Frais de gestion	16 398 925	20,2
Frais d'entretien	14 738 698	18,2
frais de maintenance	11 479 248	14,1
Durée de vie (ans)	10	
Amortissement	38 573 699	47,5
Total	81 190 570	100

Pour des raisons de confidentialité, les détails des frais énumérés ci-dessus ne nous ont pas été fournis.

L'entretien et la maintenance de l'unité absorbent 33.3% du budget de fonctionnement de l'unité, parce que la SOGAS a choisi une technologie nouvelle dans ce domaine. Le personnel local n'est pas encore bien formé pour bien gérer la maintenance et l'entretien de l'unité. D'où le recours à un personnel expatrié dont la rémunération contribue à alourdir les frais de maintenance et d'entretien. Sur la base d'une production annuelle d'environ 524 000 m3, le **coût de revient du m3 est de 155 FCFA.**

3.1.2.3.3.2. Unité de biogaz type STEP de CAMBERENE :

Les coûts d'exploitation de l'unité de production de biogaz de la STEP de Cambérène se composent des charges de personnel liées au personnel travaillant directement dans la production de biogaz et des charges variables (dépannages et pièces de rechange). Selon les informations obtenues des entretiens et de l'exploitation de la documentation, les coûts

annuels d'exploitation de l'unité de biogaz, comme le montre le tableau qui suit, s'élèvent à 298.330.048 FCFA.

Tableau 12: Evaluation du coût d'exploitation annuel de l'unité de production de biogaz de la STEP de Cambérène

COUTS D'EXPLOITATION ANNUELS (FCFA)		
Charge fixes de fonctionnement	36 000 000	FCFA
Facture d'électricité (50 millions /mois)	600 000 000	FCFA
Compensation par le groupe biogaz (39%) [1]	-366 000 000	FCFA
Charge d'entretien et pièces de rechange	15 000 000	FCFA
Amortissements	13 330 048	FCFA
TOTAL COUT ANNUEL	298 330 048	FCFA
Quantité totale en m ³ de biogaz par an	2 901 750	m ³
Coût de revient du m³ de biogaz	103	FCFA/m³

[1]: Il s'agit de la compensation sur la facture d'électricité quand le groupe fonctionne correctement.

3.1.2.3.3. Unité de biogaz (SOGAS St-Louis)

Tableau 13: Coûts annuels d'exploitation (Unité biogaz de SOGAS St-Louis)

Désignation	Montant (FCFA)
Charges fixes de fonctionnement	2 160 000
Charges variables de fonctionnement (maintenance et pièce de rechange)	570 000
Durée de vie (20 ans)	
Amortissement	614 974
Total	3 344 974

Les coûts de fonctionnement de l'installation se limitent aux frais d'entretien et de suivi payés à l'entreprise locale et s'élèvent à 180.000 FCFA par mois soit 2.160.000 FCFA par an.

Suite à la lecture des différents tableaux, on peut noter qu'une unité de production de biogaz qu'elle soit industrielle ou domestique peut s'avérer avantageux dans le temps pour son promoteur comme on l'a constaté avec les unités industrielles visitées (SOGAS DAKAR, STEP de Cambérène) et aussi avec les unités domestiques dont les ménages propriétaires arrivent à faire des économies de près de 500.000 FCFA par an uniquement sur leurs achats de gaz butane.

Sur la base de la production journalière (27 m³/j), le coût du m³, sans subvention est de 400 FCFA. Mais vu qu'en réalité l'abattoir projette de vendre le m³ à 200 F CFA, il existe bel et bien en réalité une subvention qui lui permettrait de rentabiliser son installation.

3.1.3. Au niveau du potentiel des matières premières (substrats)

Procéder à l'état des lieux de la production de biogaz au Sénégal suppose la connaissance des différents substrats disponibles au niveau national, la connaissance aussi de leurs caractéristiques ainsi que de leur potentialité énergétique.

D'après les expériences passées et en cours au Sénégal et ailleurs, une large gamme de matières organiques dénommées « substrats » sont utilisées pour la production de biogaz. Le tableau ci-dessous illustre les différents types de substrats suivant la filière de biomasse et les expériences menées.

Tableau 14 : les différents types de substrats disponibles pour la production de biogaz

Les différents types de substrats disponibles pour la production de biogaz au Sénégal				Expérience passées et en cours au Sénégal et ailleurs
Filière	Catégorie	Sous catégories	Types	
Filière biomasse sèche	Déchets agricoles	Résidus de récoltes	Tiges et feuilles de mil, sorgho, maïs, pailles de riz	PNB, ANEV, ENDA, CARITAS, CERER, PROGEDE
		Déjections animales	Ovin, bovin, équin, caprin, porc, volaille et lisier	
	Biomasse aquatique	Typha	Partie aérienne de la plante	Expérience menée au Mali
	Déchets solides municipaux	Ordures ménagères	La fraction organique fermentescible	Tentatives à Mbeubeus et CET SINDIA
Filière biomasse humide	Eaux usées non domestiques	Effluents des abattoirs	Contenu des panses, sang, eau de lavage	AGRIFORCE à Thiès avec la méthode trans-paille, SOGAS
		Effluents des unités agroindustrielles	Eau de processe et de lavage	Envisageable avec le BMN
		Les lixiviats des décharges	Eau de percolation	Non encore exploités
	Eaux usées domestiques	Les boues des stations d'épuration	Boues	La station d'épuration de Cambéréne
		Les eaux vannes et eaux grises comme co-substrats	matière fécale, urine	Les bio-latrines en Tanzanie, Afrique du Sud, Burundi

La typologie des matières organiques ou substrats laisse apparaître deux grandes filières à savoir la biomasse sèche et la biomasse humide.

La biomasse sèche caractérisée par sa forme solide est constituée par les déchets agricoles, les ordures ménagères ou déchets solides municipaux, la biomasse solide d'origine aquatique telle que le typha, les algues marines, la jacinthe d'eau, la laitue d'eau, etc.

La biomasse humide est constituée des effluents des abattoirs, des lixiviats des décharges, des ordures ménagères, des effluents industriels, des eaux usées domestiques (déchets liquides, boues des stations d'épuration, les boues de vidanges des fosses).

Contrairement à la biomasse sèche, la charge organique de la biomasse humide est exprimée en DCO (Demande chimique en oxygène), en DBO (demande biologique en oxygène) et en MES (teneur de matières en suspension). Les grandeurs ainsi mesurées et exprimées en mg/l, traduisent la charge polluante des effluents. Le potentiel méthanogène ou le ratio de biogaz de la biomasse humide est souvent exprimé en termes de DCO éliminée dans la fermentation méthanique. Au même titre que les déchets solides municipaux, La filière de la biomasse humide constituée par les déchets liquides et les bio-solides, suscite un regain d'intérêt sur le plan environnemental.

3.1.3.1.2. La biomasse sèche

Caractérisée par sa forme solide elle est constituée par les déchets agricoles, les ordures ménagères ou déchets solides municipaux, la biomasse solide d'origine aquatique telle que le typha, les algues marines, la jacinthe d'eau, la laitue d'eau, etc. Les déjections animales et les résidus de récolte forment le lot des substrats d'origine agricole et font l'objet d'une utilisation plus répandue et ancienne dans la production de biogaz au Sénégal.

La filière de la biomasse humide et celle des déchets solides municipaux, suscitent un regain d'intérêt sur le plan environnemental du fait de l'accroissement de la concentration de gaz à effet de serre qui induit des changements climatiques dont les effets sont facilement vérifiables.

3.1.3.1.2.1. Biomasse d'origine agricole

Le Sénégal, caractérisé par un climat de type sahélo-soudanien, compte deux saisons ; une saison pluvieuse de 4 mois et une saison sèche qui dure 8 mois (octobre à mai). La pluie débute au mois de mai au Sud du pays et s'installe progressivement vers le Nord.

Cette situation climatique entraine deux types de cultures :

- une culture menée durant la saison pluvieuse et qui assure une bonne partie de la production céréalière (mil, sorgho, maïs) et la quasi-totalité des cultures de rente (coton et arachide);
- une culture irriguée à partir des eaux de surface et des eaux souterraines. Les superficies irriguées les plus significatives sont arrosées avec les eaux de surface généralement pompées par des motopompes. En effet, sur 50000 ha de terres irriguées, seules 13000 sont arrosées avec les eaux souterraines. Les eaux souterraines tirées à l'aide d'un système d'exhaure non mécanisé permettent d'arroser la quasi-totalité de la production horticole. Les espaces maraîchers les plus importants sont localisés dans la zone des Niayes du littoral qui relie Dakar et Saint-Louis.

Le système de culture type familial avec des superficies situées entre 1 et 10 ha, prédomine sur le système de culture de type industriel dont les variétés cultivées sont principalement la canne à sucre et la tomate. Seuls le coton et l'arachide produits par les paysans, font l'objet d'une exploitation industrielle.

En termes de production, les cultures céréalières sont plus importantes en termes de tonnage que l'arachide et le coton. Le riz qui est la base de l'alimentation de la population sénégalaise tourne autour de 200.000 tonnes donc largement au dessous de la consommation nationale estimée à 600.000 tonnes. La riziculture irriguée assure plus deux tiers de la production locale.

Tableau 15: Evolution de la production céréalière du Sénégal (2002 -2012)

Années	Mil	Riz paddy	Maïs	Sorgho
2012	661673	630654	240878	129499
2011	480759	405824	124092	86865
2010	813294	604043	186511	162599
2009	810121	502104	328644	224956
2008	678171	408219	397326	251515
2007	318822	193379	158266	100704
2006	494345	190493	181585	121003
2005	608551	279080	399958	143989
2004	323752	201744	400555	126492
2003	628426	231805	400907	189787
2002	414820	172395	80372	116929
Moyenne	566 612	347 249	263 554	150 394

D'après le tableau ci-après portant sur la distribution spatiale des cultures, (i) la céréaliculture est pratiquée dans toutes les régions du pays ; (ii) les régions constituant le bassin arachidier et le Sud confirment leur prédominance; (iii) Matam et Saint-Louis qui forment la vallée du Fleuve assurent une bonne partie de la riziculture irriguée tandis que la riziculture sous pluie est essentiellement localisée dans les régions de Ziguinchor et de Kolda.

Tableau 16: Répartition de la production céréalière de 2011/2012

Localité	Mil	Sorgho	Maïs	Riz
Dakar	-	73	339	-
Diourbel	63308	1374	254	-
Fatick	92524	7086	17545	3641

Kaolack	98797	4572	30769	1403
Kolda	17406	15454	20453	15805
Louga	15759	509	1783	
Saint-Louis	2820	29	13330	314234
Tamba	24706	22492	11756	2710
Thiès	43852	7792	379	11
Ziguinchor	3899	78	408	20866
Matam	5015	6170	1122	28938
Kaffrine	87096	16791	16360	618
Kédougou	163	2135	6216	818
Sédhiou	25415	2319	3378	16781
National	480760	86874	124092	405825

Source: DAPS Direction de l'analyse de la prévision et des statistiques du Ministère de l'agriculture.

3.1.3.1.2.2. Le secteur de l'élevage

Le secteur de l'élevage contribue pour 7,4% au PIB du Sénégal et est caractérisé par un cheptel important et varié. Les petits ruminants (ovins et caprins) forment les effectifs les plus importants dépassant plus 4.500.000 têtes. Les bovins sont estimés à 3.000.000 de têtes, les chevaux à 500.000.

Les chevaux assurent le transport et les travaux champêtres.

Les camélidés, les porcins et la volaille ont des effectifs moyens respectifs de 4.000, de 45.000 et de 266.000 têtes. La faible représentativité de la race porcine comparée aux bovins, petits ruminants et équins s'explique par le fait que 95% de la population est musulmane et que l'Islam interdit la consommation de viande porcine.

Tableau 17: Evolution des effectifs de l'élevage au Sénégal

ANNEE	Equins	Ovins	Volaille	Bovins	Caprins	Porcins
2011	520360	5515600	44171	3345540	4886630	364325
2010	523005	5571335	40449	3313055	4754845	354474
2009	517850	5382930	35472	3260880	4598495	344190
2008	523650	5251220	35522	3210210	4476960	325780
2007	518340	5108530	34928	3163410	4353030	319360
2006	517536	4996406	29612	3136959	4263350	317814
2005	513714	4863190	27662	3090720	4144100	308549
2004	504010	4739208	26245	3039472	4024922	299597
2003	500225	4613508	25649	3017513	3968736	303368
2002	496095	4540380	25381	2996937	3899972	291450
2001	492000	4678000	25658	3061000	3995000	280000
Moyenne	511 526	5 023 664	31 886	3 148 700	4 306 004	318 992

3.1.3.1.2.2.1. Les résidus de récolte

La filière céréalière du Sénégal génère annuellement un potentiel théorique de résidus de récolte de 2. 634. 696 tonnes soit 790,2 ktep correspondant à une quantité d'énergie supérieure à la consommation finale totale en hydrocarbures.

Tableau 18: caractéristiques des principaux résidus agricoles

Cultures	Résidus	Pouvoir calorifique inférieur (MJ/Kg)	Production annuelle 2002-2012 (tonnes)	Production de déchets (%)	Production annuelle de résidus (tonnes)	Energie (1000Tep)
Mil	tiges + feuilles	10,2	566 612,18	200,0%	1 133 224	275,2
Maïs	tiges + feuilles	17,4	263 554,00	225,0%	592 997	245,7
Sorgho	tiges + feuilles	17	150 394,35	200,0%	300 789	121,7
Riz	Paille	10,2	347 249,12	175,0%	607 686	147,6
TOTAL			1327809,65		2 634 696	790,2

La combustion directe des résidus de récolte est une pratique courante des ménages ruraux mais le fait que les déchets provenant des céréales se consomment vite, ils font partie de la catégorie des combustibles médiocres d'où l'intérêt du recours à la digestion anaérobie.

Ainsi, la voie de la fermentation méthanique offre un potentiel énergétique plus important que la combustion directe des résidus de céréales.

Tableau 19: Productions annuelles en résidus des principales céréales du Sénégal

	Unité	Mil	Maïs	Sorgho	riz	TOTAL
Résidus		tiges + feuilles	tiges + feuilles	tiges + feuilles	paille	
Taux de résidu	ratio	2,00	2,25	2,00	1,75	
production annuelle moyenne 2002-2012 (1)	tonne	566612	263554	150394	347249	1327810
Production annuelle moyenne de résidus	tonne	1133224	592997	300789	607686	2634696
Teneur en matière solide (2)	ratio	0,89	0,83	0,90	0,89	
Quantité de matière sèche	tonne	1005170	492187	270710	540841	2308907
Teneur en matière volatile (VS) (3)	ratio	0,91	0,91	0,90	0,93	-
Total en matière volatile solide (VS)	tonne	914705	447890	243639	502982	2109215
Teneur moyenne de biogaz (m3/Kg VS)		0,38	0,40	0,37	0,22	-
Potentiel de biogaz	m3	347587789	179156103	90146373	110655967	727546232
Pouvoir calorifique inférieur du méthane	KJ/m3	39487	39487	39487	39487	157948
Teneur en méthane des résidus	ratio	0,60	0,60	0,60	0,60	-
Pouvoir calorifique inférieur du biogaz résidus	MJ/m3	24	24	24	24	-
Potentiel de biogaz	MJ	8235119403	4244602214	2135765908	2621683306	17237170831
	Ktep	196	101062	50852	62421	214 531

Source: (1) FAOSTAT | © OAA Division de la Statistique 2013 | 12 août 2013, (2) FAO, (3) Statistique 2009 | 04 mars 2009
(3) GTZ – 1989 – biogas plants in animal husbandry – 134 pages

3.1.3.1.2.2. Les déjections animales

Comme le montre le tableau qui suit la production annuelle de fumier est de l'ordre de 20 millions de tonnes par an et renferme un potentiel calorifique de l'ordre 7 483 ktep.

Tableau 20: Production de fumier par le bétail

	Unité	Bovin	Caprin	Equin	Ovin	Porcin	Volaille	TOTAL
Production journalière de fumier ⁽¹⁾	Kg/tête	15	0,75	2	0,75	1,3	0,06	
Production annuelle de fumier	Kg/tête	5475	274	730	274	475	22	
Effectif total du bétail ⁽²⁾	1000 têtes	3 149	4 306	512	5 024	319	32	
Production annuelle totale de fumier	1000 tonnes	17 239	1 179	373	1 375	151	1	20 319
Pouvoir calorifique inférieur fumier	MJ/kg	17	17	17	17	17	17	
Potentiel énergétique du fumier	KiloTep	6 978	477	151	557	61	0	7 483

L'importance du cheptel est reflétée par la quantité de fumier rejetée annuellement et qui est estimée à 20 319 000 tonnes/an. Avec un pouvoir calorifique moyen de 17MJ/Kg, la quantité totale de déjection animale représente un potentiel énergétique de 7 483 ktep soit plus du double de la consommation totale d'énergie du Sénégal. Les fumiers des animaux comme les déchets de récolte figurent en bonne place dans la gamme des énergies traditionnelles surtout dans les zones où le combustible ligneux est rare. Les déjections animales constituent non seulement, un combustible médiocre, en termes d'émission de polluants, mais leur combustion directe entraîne une utilisation concurrente à la fertilisation des terres dégradées.

La méthanisation des fumiers des animaux constitue une alternative crédible et durable pour le monde rural du fait de l'important potentiel en biogaz qu'ils renferment, et qui est estimé à 619 465 000 m³ soit 393 ktep.

Tableau 21: Potentiel de biogaz du cheptel au Sénégal

	Unité	Cheptel						TOTAL
		Vache	Chèvre	Cheval	Mouton	Porc	Volaille	
Production journalière de fumier ⁽¹⁾	Kg/tête	15,00	0,75	2,00	0,75	1,30	0,06	
Production annuelle de fumier	Kg/tête	5 475,00	273,75	730,00	273,75	474,50	21,90	
Effectif moyen du cheptel(2001- 2011) ⁽²⁾	1000 têtes	3 148,70	4 306,00	511,53	5 023,66	318,99	31,89	
Production totale annuelle de fumier	1000 tonnes	17 239,13	1 178,77	373,41	1 375,23	151,36	0,70	20 318,60
Teneur en matière volatile (VS) ⁽³⁾	%	0,13	0,20	0,12	0,20	0,14	0,17	
Total en matière volatile solide (VS)	1000 tonnes	2 241,09	235,75	44,81	275,05	21,19	0,12	2 818,01
Teneur moyenne de biogaz	m ³ /Kg VS	0,25	0,20	0,25	0,20	0,45	0,46	
Potentiel de biogaz	1000 m ³	560 271,81	47 150,74	11 202,42	55 009,12	9 535,79	54,61	619 465,00
Teneur moyenne en méthane du biogaz	%	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	
Pouvoir Calorifique inférieur du méthane (1)	Kj/m ³	39 487,00	39 487,00	39 487,00	39 487,00	39 487,00	39 487,00	
Pouvoir Calorifique du biogaz ⁽¹⁾	Kj/m ³	23 692,20	23 692,20	23 692,20	23 692,20	23 692,20	23 692,20	
Potentiel en biogaz	MJ	13 274 072	1 117 105	265 410	1 303 287	225 924	1 294	16 187 091

Présentation générale du typha

Caractéristiques: *Typha australis* est une espèce tropicale, subtropicale et méditerranéenne de la famille des TYPHACEAE. C'est une herbe rhizomateuse pérenne pouvant atteindre 3,50 mètres. La largeur des feuilles varie entre 1 et 2 cm tandis que leur longueur peut atteindre 3 m. La plante forme des lits denses de végétation dans les milieux constamment humides et dans les eaux saumâtres dont la salinité ne dépasse pas 2%.

Récolte : le Typha est surtout récolté manuellement ; à la faucille. Cependant la coupe est souvent rendue difficile par la pousse en eau profonde. Des engins faucardeurs (des bateaux) peuvent aussi être utilisés. A noter que le curage des canaux à la pelle mécanique permet de retirer la plante et son rhizome. Malheureusement, la biomasse ainsi récoltée est difficilement valorisable.

Utilisation actuelle : Il est traditionnellement utilisé par les femmes comme matière première dans l'artisanat (vanneries, fabrication de nattes) et dans l'habitat (clôtures, cases, abris).

Texte et problématique générale :

Les barrages de Manantali au Mali et de Diama près de Saint-Louis au Sénégal favorisent la prolifération massive de la massette de plante herbacée appelée Typha australis dans le fleuve Sénégal. Chaque année, on a affaire à des milliers de tonnes de biomasse de Typha qui pourraient être récoltées ou produites dans le delta et dans les plaines du fleuve Sénégal.

La multiplication excessive de Typha :

- empêche les animaux d'accéder à l'eau pour s'abreuver ;

- favorise la multiplication des tisserins (oiseaux granivores) ;
- accroît les risques de contamination de la population par la bilharziose et de transmission du paludisme.

Afin de supprimer les méfaits des plantes envahissantes dont le typha, un vaste projet sous régional de gestion intégrée des adventices aquatiques envahissantes, a été mis sur pied par la CEDEAO avec le concours financier de la Banque Africaine de Développement (BAD). Au niveau de chaque pays une unité nationale de coordination du projet (UNCP) a été créée. Dans le cadre des activités de l'UNCP Sénégal, la cartographie des superficies infestées par le typha a été effectuée en juin 2009.

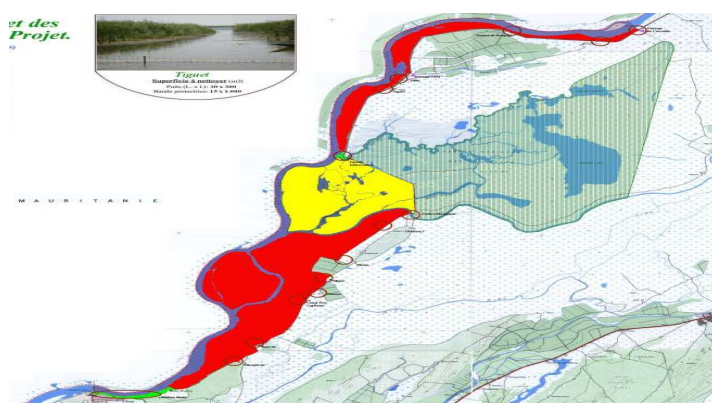


Figure 20: Potentiel de typha localisé à Saint Louis

Tableau 22: Evaluation des superficies infestées de typha en juin 2009

Classe de densité	Productivité en biomasse humide (kg/m ²)	Superficie envahie (Ha)	Quantité de biomasse humide produite (tonnes)
Faible (vert)	10	164	16 400
Moyenne (jaune)	15	2 675	401 250
Forte (rouge)	20	5 308	1 061 600
TOTAL		8 147	1 479 250

Potentiel énergétique du typha :

les images satellites des formations de typha dans le delta du fleuve Sénégal permettent de distinguer trois classes de densités différentes. Avec une surface totale envahie de 8147 ha, la quantité totale de biomasse fraîche est estimée à 1 479 250 tonnes.

Concernant le potentiel de typha au niveau de Dakar, aucune donnée n'est encore disponible, néanmoins la localisation est connue (zones écologiques des Maristes ; station de Cambérène, le Technopôle et certaines zones inondables de la banlieue dont Thiaroye Djiddah Kao, Sam Sam etc.

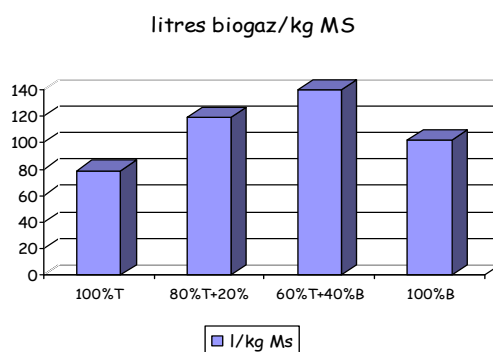
Le rapport entre la biomasse fraîche et la biomasse sèche utile donne un facteur de conversion de 0,173 ; ce qui veut dire que la réserve de biomasse est de l'ordre de 1.300.000 tonnes de biomasse sèche soit 541 ktep pour un pouvoir calorifique de 17MJ/Kg.

Ce potentiel important de typha dans la sous région de l'Afrique de l'ouest a conduit le CILSS, à travers son programme Energie Domestique au Sahel (PREDAS) à inscrire la valorisation énergétique

du typha comme une alternative durable pour remplacer les combustibles ligneux. Les choix technologiques ont porté sur la carbonisation et le briquetage. La carbonisation a été réalisée en recourant à la méthode « 3 fûts » ; le briquetage par voie artisanale ou semi industrielle.

Les résultats de l'expérience malienne sur la bio méthanisation du typha seul et du typha mélangé avec d'autres co-substrats ont donné les informations suivantes:

- 100% typha 79 litres / kg MS
- 80% de typha & 20% de bouse 119 litres / kg MS
- 60% de typha & 40% de bouse 140 litres / kg MS
- 100 % bouse de vache 102 litres / kg MS.



Si on se base sur une production de 79 litres de biogaz par kilogramme de matière sèche, le potentiel théorique de biogaz de typha serait de 20. 216. 909,75 m³, soit 11.404,35 Ktep, ou encore 50,5 GWh d'électricité.

3.1.3.1.2.4. Les déchets solides municipaux

La gestion des ordures ménagères dans les villes relève de la compétence des collectivités locales. Cette responsabilité dévolue aux maires est à l'origine de la synonymie entre les ordures et les déchets solides municipaux.

L'analyse des différentes formes de gestion classique des déchets solides fait ressortir une certaine déficience avec, à l'origine une série de causes qui s'articulent autour de l'irrégularité de la collecte, de l'insuffisance de la couverture territoriale, de l'inadaptation ainsi que de l'insuffisance du matériel de ramassage, de la typologie de l'habitat, de l'inexistence d'un système de traitement efficace et de la non implication des populations. Les zones d'habitation non planifiée où l'absence d'infrastructures d'accès rend difficiles les initiatives de nettoyage d'une manière générale.

Pour ce qui est du traitement et de l'élimination des déchets solides, les décharges sauvages tendent à devenir la règle dans tous les centres urbains, au détriment des systèmes classiques (usines d'incinération, décharges contrôlées, les centres d'enfouissement techniques, etc.).

Les filières de valorisation et de recyclage susceptibles de générer des ressources financières additionnelles permettant d'alléger les charges de gestion exorbitantes, ne connaissent pas encore un réel essor. Seuls les déchets plastiques font l'objet d'une exploitation ; pourtant, la composition des ordures ménagères et les volumes de rejets importants révèlent un potentiel énergétique inexploité.

Concernant la composition des déchets de la ville de Dakar qui a le volume de rejets les plus significatifs, le tableau ci-dessous donne les résultats suivants : la fraction des déchets organiques

représente 43,46%, les papiers et les cartons également biodégradables occupent le deuxième niveau d'importance avec un taux de 13,3%. Cela traduit une fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM) de 56,76%.

Tableau 23: Caractéristiques des ordures ménagères de la région de Dakar

Classes	Composition	(%)
Déchets organiques	déchets de cuisine, résidus de jardin, paille, fumiers	43,46
Textiles et chiffons	Tissus naturels et synthétiques	8,27
Papiers et cartons	Papier journaux, papier de consommation, papier et carton d'emballage	13,3
Métaux ferreux	Boîtes de conserve, vieux ustensiles, rébus de plomberies, ...	3,27
Objets en plastique	Sachets, sacs en plastique, bouteilles en plastique et sandalettes usagées	18,21
Verre	Débris de verre de toute couleur, bouteilles	0,77
Bois	Rebus de menuiserie	0,86
Cuir	Rebus de cordonnerie	2,44
Cailloux et céramiques	Cailloux, coquillage, gravats	2,44
Fines granulométries	Principalement du sable, de la matière organique de fines granulométries, des poussières	5,96
Autres		2,8
TOTAL		100
<i>Source: Oumar Diallo- 2007- Problématique de la gestion des déchets solides urbains à Dakar- in revue VIE N°1 Août Septembre 2007</i>		

Pour l'ensemble des villes du Sénégal la production totale annuelle d'ordures ménagères est estimée à 1.313.528,65 tonnes. Suivant un ratio de production de biogaz de décharge évalué à 125 m³ par tonne de fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM), le potentiel théorique de biogaz de cette quantité de déchets solides municipaux est de 65 676 394,81m³ soit 38670 Ktep. Le potentiel de biogaz recèle un potentiel de 1642 GWh d'électricité suivant une transformation de 2,5 KWh par m³ de biogaz. Une décharge sanitaire peut générer en moyenne 350 Kilogrammes de compost par tonne de FFOM après le processus de digestion anaérobie.

Pour ce qui est du traitement et de l'élimination des déchets solides, les décharges sauvages tendent à devenir la règle dans tous les centres urbains, au détriment des systèmes classiques (usines d'incinération, décharges contrôlées, etc.). Pour le cas de la CUD, les ordures collectées sont transportées directement à la décharge de Mbeubeuss pour y être entassées sans aucun traitement. A défaut, les populations trouvent des solutions alternatives (enfouissement, rejets au niveau des plages, incinération à l'air libre, etc.). Concernant la composition des déchets de la ville de Dakar, le tableau, ci-dessous, donne les résultats suivants : la fraction des déchets organiques est en première position et représente 43,46%, les papiers et les cartons également biodégradables viennent en seconde position avec un taux de 13,3%.

Au regard du tonnage d'ordures ménagères important et de leurs caractéristiques, la question de leur traitement, surtout la valorisation énergétique par la voie de la méthanisation, a toujours attiré les pouvoirs publics et les organismes impliqués dans la gestion des ordures (Ministères, Municipalités à travers l'entente CADAK/CAR (ex CUD), les ONG (ENDA, CREPA, GRET, LVIA), les institutions de financement (BM, AFD).

Tableau 24: Caractéristiques des ordures ménagères de la région de Dakar

Classes	Composition	Proportion moyenne (%)
Déchets organiques	déchets de cuisine, résidus de jardin, paille, fumiers	43,46

Textiles et chiffons	Tissus naturels et synthétiques	8,27
Papiers et cartons	Papier journaux, papier de consommation, papier et carton d'emballage	13,3
Métaux ferreux	Boîtes de conserve, vieux ustensiles, rébus de plomberie...	3,27
Emballages plastiques et autres objets en plastique	sachets et sacs en plastique	18,21
Verre	Déchets de verre de toute couleur, bouteille	0,77
Bois	Rebus de menuiserie	0,86
Cuir	Rebus de cordonnerie	2,44
Cailloux et céramiques	Cailloux, coquillages, gravats	2,44
Granulométries fines	Principalement du sable, de la matière organique de fines granulométries, des poussières	5,96
Autres		2,8
TOTAL		100

Source: Oumar Diallo- 2007- Problématique de la gestion des déchets solides urbains à Dakar- in revue VIE N°1 Août Septembre 2007

La dernière intervention de l'Agence Française de Développement (AFD) a porté sur le financement d'un nouveau centre d'enfouissement technique dans la région de Saint-Louis au Nord du pays mais, après lecture des rapports on constate qu'aucune option de captage du biogaz n'a été envisagée. Cependant, les conditions de mise en décharge appliquées offrent des possibilités d'ouvrir des puits dans les années à venir. Pour cela, il faudra veiller au respect de la couverture de la décharge par une membrane d'étanchéité afin d'éviter les fuites de gaz, sur la gestion du lixiviat et sur le bon suivi du volume de déchets enfouis.

A Dakar, la principale décharge qui est celle de Mbeubeuss existe depuis un quart de siècle et a fait l'objet d'une évaluation du potentiel de biogaz financée dans le cadre du programme conjoint ESMAP de la BM et du PNUD. Du rapport de l'étude édité en 2005, il ressort que le volume total de déchets solides municipaux mis en décharge depuis 1978 est de l'ordre de 5.032.877 tonnes et pourrait générer un potentiel de gaz récupérable de l'ordre de 12.753.315 m³ soit une puissance potentielle annuelle en énergie électrique de 8,5 MW.

Actuellement, la fermeture de cette décharge est envisagée ainsi que sa mise en exploitation afin de récupérer le biogaz. Un appel d'offres a été lancé parce que le financement a été approuvé dans le cadre du marché carbone des MDP.

Cependant, les risques de ne pas avoir les résultats escomptés sont énormes car les conditions de mise en décharge et de sa gestion ne répondent pas aux normes requises pour exploiter le gaz (non respect du tri à la collecte et à l'entassement, absence de couverture limitant la fuite des odeurs nauséabondes et des gaz, négligence dans la gestion des lixiviats qui sont des liquides indispensables au processus de fermentation méthanique de la décharge etc.).

Pour l'ensemble des villes du Sénégal, la production totale annuelle d'ordures ménagères est estimée à 1.313.528,65 tonnes. Suivant un ratio de production de biogaz de décharge évalué à 125 m³ par tonne de fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM), le potentiel théorique de biogaz de cette quantité de déchets solides municipaux est de 65.676.394,81 m³ soit 38670Ktep ou encore en électricité de l'ordre de 1642GWh sur la base de 2,5 KWh par m³ de biogaz. En outre, une décharge sanitaire peut générer en moyenne 350 Kilogrammes de compost par tonne de FFOM après le processus de digestion anaérobie.

Tableau 25: Potentiel total de biogaz des déchets solides municipaux

Régions	Population urbaine totale	Production OM par tête (kg/j)	Production OM totale (tonne)	Fraction fermentescible OM		Potentiel biogaz OM		Potentiel électrique OM	
				ratio	tonne	m3	Ktep	Kwh	Gwh
Dakar	2 153 333	0,7	550 176	0,4	220 071	27 508 823	12 931	68 772 057	10
Diourbel	175 028	0,5	31 943	0,4	12 777	1 597 131	751	3 992 826	4
Fatick	80 092	0,4	11 693	0,4	4 677	584 673	275	1 461 683	1
Kaolack	256 590	0,49	45 891	0,4	18 356	2 294 556	1 079	5 736 390	6
Kolda	110 938	0,28	11 338	0,4	4 535	566 894	266	1 417 234	1
Louga	127 681	0,34	15 845	0,4	6 338	792 261	372	1 980 653	2
Matam	59 400	0,28	6 071	0,4	2 428	303 534	143	758 835	1
Saint louis	263 654	0,61	58 702	0,4	23 481	2 935 123	1 380	7 337 806	7
Tambacounda	106 481	0,4	15 546	0,4	6 218	777 309	365	1 943 273	2
Thies	581 099	0,6	127 261	0,4	50 904	6 363 030	2 991	15 907 574	16
Ziguinchor	196 178	0,63	45 111	0,4	18 044	2 255 554	1 060	5 638 886	6
National	4 110 473	0,5	713 335	0,4	285 334	35 666 757	16 766	89 166 892	89

Source : (1) RGH3 - Décembre 2006- Rapport national de présentation des résultats – ANDS (2) GRET – 2006- La gestion des ordures ménagères dans les villes secondaires du Sénégal- 94 pages.

3.1.3.1.3. La biomasse humide :

Contrairement aux autres formes de ressources biomasse, cette catégorie de matières organiques est appréciée sur la base de ses charges organiques et de leur teneur en substance inhibant la fermentation méthanique. Au niveau des déchets liquides, les charges organiques sont déterminées par les paramètres suivants : DBO (Demande biochimique en oxygène)³, DCO (Demande chimique en oxygène)⁴ et MES (matières en suspension)⁵. Les paramètres DBO et MES sont utilisés pour estimer les quantités de boues produites pour la fermentation méthanique dans le cadre des méthodes classiques de traitement aérobie des effluents. Dans les méthodes de traitement anaérobie direct, le paramètre DCO permet de déduire le volume de méthane généré.

3.1.3.1.3.1. Les effluents des abattoirs

En 2005, les moyennes journalières de têtes de bétail abattu étaient de 263 bovins, 788 ovins, 326 caprins, 6 porcins, 2 équins et 3 asins soit une production annuelle de carcasses de 18 300 tonnes. En 2002, la grande majorité de la production de la SOGAS, soit 72% était faite par l'abattoir de Dakar, celui de Thiès venait en 2ème position avec 7%.^{6]}

Tableau 26: Potentiel d'énergie

³ DBO définit la teneur en matière organique biodégradable dans l'eau

⁴ DCO permet la mesure globale des matières organiques biodégradable et réfractaire

⁵ MES concerne matière organique plus ou moins grossière (totale et volatile)

⁶ Source : Rapport CREPA-H2O sur les abattoirs et les tueries (Etat des lieux)

Rubriques	Unité	Quantité
Production annuelle de carcasses	tonnes	18 300
Ratio de production d'effluents (1)	m ³ /tonne	5
Volume annuel de rejet liquide	m ³	91 500
DCO moyenne (1)	mg/litre	12 000
Taux de dégradation (2)	%	80
Ratio de production de biogaz (2)	m ³ /kg DCO	0,4
Potentiel de biogaz	m ³	351 360
	Ktep	267,28
Ratio de production électrique	KWh/m ³	2,5
Potentiel électrique du biogaz	KWh	878 400

Source : (1) Farinet J.L., Copin Y., 1994. Dossier traitement des déchets : Transpaille, *plant en mottes, lagunage. Agriculture et développement*, 1 : 47-55. (2) J lamprey and al – 1990- bioenergy – IDRC/UNU - 210 page et GTZ – 1989 – biogas plants in animal husbandry – 134 pages

Sur la base d'un potentiel de biogaz de l'ordre de 351.360 m³ obtenu à partir des abattoirs, le potentiel en électricité des déchets d'abattoir est de l'ordre de 878,4 MWh dont 632 MWh à Dakar.

3.1.3.1.3.2. Les effluents industriels

Il s'agit ici des effluents déversés par les pêcheries, les brasseries et les huileries et dont le potentiel en biogaz est estimé à 146.592.257 m³.

Tableau 27: Evaluation du potentiel énergétique des effluents de Dakar

Régions	Population urbaine totale	Production eaux usées par tête (l/j)	Volume de rejets total (m3)	DCO moyenne (mg/l)	Taux de dégradation	Ratio biogaz m ³ /kg COD	Potentiel de biogaz		Potentiel électricité GWh
							m ³	Ktep	
Dakar	2 576 262	105	98 735 231	1500	0,75	0,25	27 769 284	20 886	69,4
Diourbel	891 303	70	22 772 779	1500	0,75	0,25	6 404 844	4 817	16,0
Fatick	104 746	50	1 911 619	1500	0,75	0,25	537 643	404	1,3
Kaolack	243 423	70	6 219 452	1500	0,75	0,25	1 749 221	1 316	4,4
Kolda	93 002	45	1 527 557	1500	0,75	0,25	429 625	323	1,1
Louga	188 423	35	2 407 106	1500	0,75	0,25	676 998	509	1,7
Saint-louis	280 204	70	7 159 199	1500	0,75	0,25	2 013 525	1 514	5,0
Tamba	123 060	50	2 245 844	1500	0,75	0,25	631 644	475	1,6
Thiès	872 984	80	25 491 126	1500	0,75	0,25	7 169 379	5 392	17,9
Ziguinchor	372 501	70	9 517 390	1500	0,75	0,25	2 676 766	2 013	6,7
Matam	92 997	50	1 697 188	1500	0,75	0,25	477 334	359	1,2
Kaffrine	170 675	45,0	2 803 337	1500	0,75	0,25	788 439	593	2,0
Kedougou	24 556	45	403 340	1500	0,75	0,25	113 439	85	0,3
Sedhiou	66 405	35	848 324	1500	0,75	0,25	238 591	179	0,6
National	6 100 539		183 739 493				51 676 732	38 868	129,2

3.1.3.1.3.3. Les eaux usées domestiques

Elles comprennent les eaux usées domestiques urbaines et les eaux usées domestiques rurales.

Les eaux usées domestiques urbaines : elles ont un potentiel en biogaz estimé à 51.676.732 m³ ce qui équivaut à 129.192 GWh d'électricité.

Tableau 28: Potentiel en biogaz et électricité des eaux usées urbaines

Régions	Population rurale totale	Production eaux usées par tête (l/j)	Volume de rejets total (m3)	DCO moyenne (mg/l)	Taux de dégradation	Ratio biogaz m ³ /kg COD	Potentiel de biogaz		Potentiel électricité GWh
							m ³	Ktep	
Dakar	71 489	45	1 174 211	2 000	0,75	0,25	440 329	331	1,10
Diourbel	507 916	40	7 415 581	2 000	0,75	0,25	2 780 843	2 092	6,95
Fatick	665 447	35	8 501 082	2 000	0,75	0,25	3 187 906	2 398	7,97
Kaolack	573 432	35	7 325 596	2 000	0,75	0,25	2 747 099	2 066	6,87
Kolda	527 011	30	5 770 771	2 000	0,75	0,25	2 164 039	1 628	5,41
Louga	692 059	30	7 578 044	2 000	0,75	0,25	2 841 767	2 137	7,10
Saint-louis	638 497	35	8 156 793	2 000	0,75	0,25	3 058 797	2 301	7,65
Tamba	545 744	30	5 975 898	2 000	0,75	0,25	2 240 962	1 686	5,60
Thiès	825 428	37	11 147 408	2 000	0,75	0,25	4 180 278	3 144	10,45
Ziguinchor	356 463	35	4 553 820	2 000	0,75	0,25	1 707 682	1 284	4,27
Matam	463 869	35	5 925 931	2 000	0,75	0,25	2 222 224	1 671	5,56
Kaffrine	402 060	30	4 402 557	2 000	0,75	0,25	1 650 959	1 242	4,13
Kedougou	108 903	28	1 112 984	2 000	0,75	0,25	417 369	314	1,04
Sedhiou	376 295	28	3 845 735	2 000	0,75	0,25	1 442 151	1 085	3,61
National	6 754 614		82 886 412				31 082 404	23 378	77,71

Sources : Estimation du DEBIT : validée par le laboratoire de la STEP de Cambérène
Population 2011 : Rapport définitif du SES (Situation Economique et Social du Sénégal)

Le lixiviat des décharges :

la production d'eaux de ruissellement entraine la formation de liquides contaminés á la base des sites d'enfouissement. Ce phénomène met en cause les éléments du bilan hydrologique qui font en sorte que les précipitations s'écoulent du site d'enfouissement ou s'y infiltrent. Une certaine quantité des eaux d'infiltration s'élimine par évapotranspiration, alors qu'une autre partie s'accumule dans le sol du site d'enfouissement; le reste s'infiltre par les interstices du sol pour atteindre la nappe phréatique. Dans les centres d'enfouissement techniques modernes ces eaux appelées lixiviats sont recueillies au niveau du carter de collecte du liquide de percolation.

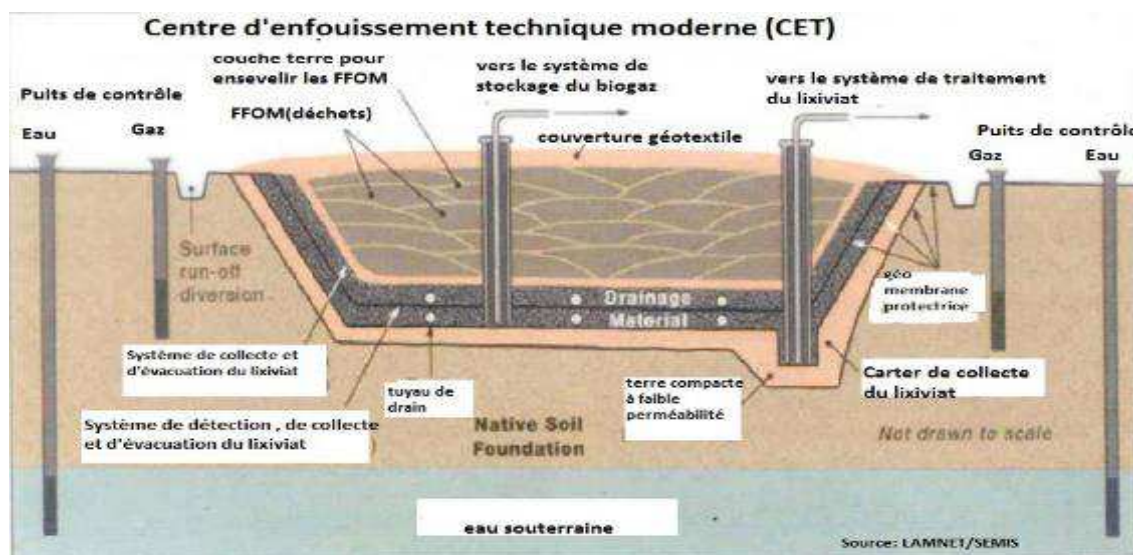


Figure 21: Schéma de principe d'un CET

Caractéristiques des lixiviats

La caractérisation de ces eaux de ruissellement exige que des évaluations des types et des concentrations de contaminants soient faites, en fonction de l'âge des détrit.

Tableau 29: Caractéristique des lixiviats

Determined	Fresh Wastes	Aged Wastes	Wastes with high moisture contents
pH	6,2	7,5	8,0
COD	23800	1160	1500
BOD	11900	260	500
TOC	8000	465	450
Volatile acids (as C)	5688	5	12
NH ₃ -N	790	370	1000
NO ₃ -N	3	1	1,0
Ortho-P	0,73	1,4	1,0
Cl	1315	2080	1390
Na	9601	300	1900
Mg	252	185	186
K	780	590	570
Ca	1820	250	158
Mn	27	2,1	0,05
Fe	540	23	2,0
Ni	0,6	0,1	0,2
Cu	0,12	0,03	-
Zn	21,5	0,4	0,5
Pb	0,40	0,14	

Source : LAMNET/SEMIS

Les résultats sur la fermentation méthanique des lixiviats donnent les renseignements suivants :

- taux de dégradation 90% DCO et DBO pour un temps rétention hydraulique inférieure ou égale à 10 jours
- la teneur en biogaz est estimée entre 0,4 et 0,6 m3 par Kg de DCO éliminé soit entre 0,8 et 0,9m3 par kg de DBO₅ éliminés. Cela veut dire qu'un volume de 1000 m3 de lixiviat est susceptible de produire 450 m3 de Biogaz soit 0,34 Ktep ou soit 1125 kWh d'électricité.

Tableau 30: Potentiel énergétique du lixiviat

Volume de rejet (m3)	DCO moyenne (mg/l)	Taux de dégradation %	Ratio biogas m3/kg COD	Potentiel de biogaz m3	Potentiel Ktep	Potentiel électricité KWh
1000	1000	90	0,5	450	0,34	1 125

3.1.3.2. La synthèse sur les substrats disponibles

Le potentiel théorique en biogaz au niveau national serait de l'ordre de 806 928 ktep/an dont 634156 ktep provenant de la biomasse sèche et 172 772 ktep issus de la biomasse humide

Tableau 31: La répartition du potentiel théorique de biogaz suivant le type de substrat

Substrats	Unité	Quantités physiques par	Potentiel théorique en biogaz			Ratio %
			1000 Nm3	Kilotep	Electricité (Gwh)	
Déchets agricoles						
Fumiers des animaux	tonne	20 319 000	619 465	384 406	1 549	37,6
Résidus de récoltes	tonne	2 634 696	727 546	214 531	1 819	44,2
Sous total déchets agricoles		22 953 696	1 347 011	598 937	3 368	81,8
Biomasse typha	tonne	1 300 000	20 217	11 404	51	1,2
Ordures Ménagères	tonne	1 013 289	50 664	23 815	127	3,1
Sous total biomasse sèche		25 266 984	1 417 892	634 156	3 545	86,1
Effluents des abattoirs	m3	91 500	351	267	1	0,0
Effluents industriels	m3	4 094 000	146 592	110 258	366	8,9
Eaux usées domestiques	m3	270 675 904	82 758	62 246	207	5,0
urbaine	m3	183 789 492	51 676	38 868	129	3,1
Rurale	m3	86 886 412	31 082	23 378	78	1,9
Sous total biomasse humide	m3	274 861 404	229 702	172 771	574	13,9
TOTAL			1 647 594	806 927	4 119	100,0

La quantité potentielle de biogaz provenant de la biomasse eszt estimée à 1 647 594 N.m3 de biogaz qui permettrait de produire de l'électricité qui correspond à 1,4 fois la production annuelle de la SENELEC qui était de 2917 GWh en 2012. L'utilisation de **5%** de ce potentiel permettrait de faire passer le taux de pénétration des EnRs de **0.4% (2013) à 7%** dans le mix énergétique.

3.2. Niveau d'utilisation et modes de valorisation du biogaz au Sénégal

L'utilisation du biogaz au Sénégal est soit domestique (combustible de cuisson et éclairage), ou industrielle (production d'électricité). Dans les deux cas, le compost qui est un sous-produit est systématiquement récupéré pour les besoins agricoles (engrais).

Concernant le niveau d'utilisation des biodigesteurs, dans les zones du programme PNB-SN, le 10 m³ est le plus utilisé, avec un taux de 60%, comme illustré sur la figure ci-après.

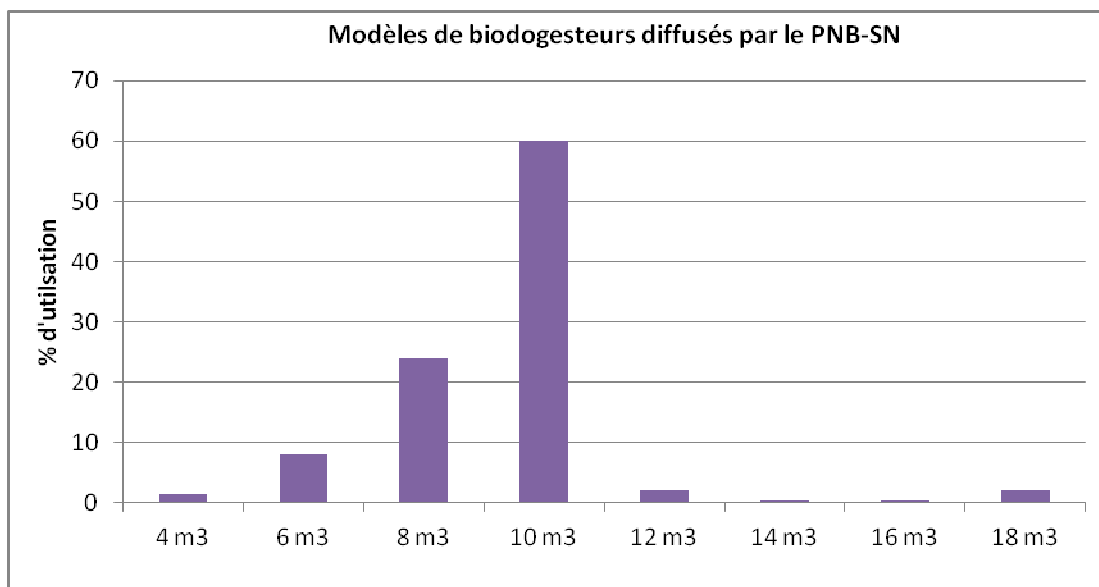


Figure 22: Niveau d'utilisation par type de biodigesteurs dans la zone de diffusion

Les principales raisons qui expliquent le niveau important de pénétration du biodigesteur 10 m³ sont :

- La moyenne des personnes par ménage en milieu rural tourne autour de 10, alors que chaque m³ de biodigesteur équivaut une personne ;

- 10 m³ permet d'après les utilisateurs de satisfaire un service continu pour les besoins en énergie de cuisson

3.2.1. Utilisation domestique du biogaz

3.2.1.1. Cuisson

La diffusion du biogaz domestique s'inscrit directement dans la stratégie de développement du monde rural et de protection des ressources naturelles de l'Etat sénégalais qui veut mettre à la disposition des populations rurales, une source d'énergie capable de se substituer aux combustibles ligneux traditionnels que sont le bois de chauffe et le charbon de bois mais aussi de protéger l'environnement, la promotion du biogaz comme ce fut le cas avec le gaz butane. Le gaz produit est destiné à la cuisson et est acheminé vers la cuisine par des tuyaux. Il sert pour la cuisson des repas et aussi pour l'éclairage.



Cas spécifique de la SOGAS de Saint-Louis : Production centralisée de biogaz

Au niveau de la SOGAS de Saint Louis, une installation collective de production et de distribution de biogaz permettra l'approvisionnement en gaz de cuisson et en éclairage de 12 ménages qui seront dotés de compteurs à gaz et d'accessoires de cuisson (réchaud, tuyauterie etc.). Au moment de la visite du site, seul le gardien était approvisionné en attendant la délivrance d'un certificat de conformité qui va autoriser la distribution et la vente du gaz aux 12 ménages raccordés. Le niveau d'utilisation actuel chez le gardien est très faible et se limite au chauffage de l'eau pour la préparation du café ou du thé ; ce qui ne permet pas de dresser un bilan fiable de l'utilisation du biogaz.

3.2.1.2. L'éclairage

La lampe à gaz qui est proposée parmi les accessoires est surtout utilisée à la place de bougies pour l'apprentissage des leçons par les élèves.



Figure 23: Lampe à gaz utilisé par des villageois

La lampe à gaz est facile d'utilisation selon les témoignages recueillis ; il suffit d'une petite information sur le réglage du débit de gaz afin de permettre aux utilisateurs de mieux tirer profit de la lampe et de ses avantages.

Dans le cadre du PNB-SN, chaque biodigester diffusé est accompagné d'une lampe à gaz pour les besoins d'éclairage. Le nombre de lampes distribuées est le même que celui des biodigesteurs installés, soit 537 en Juillet 2013.

3.2.1.3. Le compost

Il est utilisé pour la fertilisation des sols dans le cadre de l'agriculture pluviale et aussi dans le maraîchage. Il fait l'objet d'un commerce et le sac de 50 kg est vendu à 3000 FCFA. Ce qui représente une bonne activité génératrice de revenus pour les ménages disposant d'une installation. La commercialisation du compost est très récente, ce qui fait que nous n'avons pas eu une série continue de données pouvant permettre d'apprécier les ressources financières générées par cette activité. Il en est de même pour l'eau traitée qui est vendue aux BTB à raison de 100 FCFA le m³.

3.2.2. Utilisation industrielle pour la production d'électricité

Il faut noter l'émergence d'une nouvelle forme d'utilisation du biogaz orientée vers la production d'électricité pour l'autoconsommation des industries : SOGAS Dakar, STEP Cambérène.

3.2.2.1. Valorisation du Biogaz à SOGAS DAKAR

On note deux types de valorisation du biogaz au niveau de la SOGAS de Dakar : il s'agit de la production d'électricité et de chaleur. La conversion du biogaz est réalisée dans un PCCE synchrone composé d'un moteur à gaz MAN à six cylindres, couplé avec un générateur Newage-Stamford d'une puissance nominale de 100 kW à 1500 tr/mn. Le moteur est équipé d'un système de refroidissement intermédiaire turbo, d'un coupe-gaz automatique, d'une armoire de commande avec protection moteur et d'un système de contrôle de la température, de la pression de l'huile, de la fréquence et de la tension. Un contrat d'achat d'énergie, de type BOT a été conclu entre THECOGAS et SOGAS.



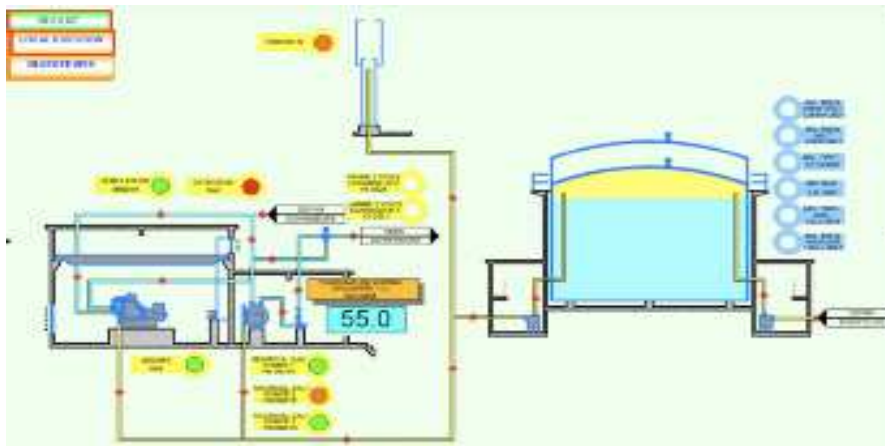
Figure 24: Abri du PCCE /Tableau commande/ intérieur du PCCE

3.2.2.1.2. Utilisation du compost

En termes de compost, l'évacuation du contenu des digesteurs tous les 6 mois permet de disposer de 10 tonnes d'effluent qui pour le moment ne sont pas commercialisés mais offerts aux maraîchers qui viennent les récupérer pour en faire de l'engrais biologique destiné aux cultures maraîchères.

3.2.2.2. Station d'épuration (STEP) de Cambérène

Le biogaz est valorisé à des fins d'électricité et de compost. La production d'électricité découlant du gaz (4 831N. m³/J) est de l'ordre de 107 946 kWh par mois soit 3 598 kWh/j.



Cette production de biogaz permet de prendre en charge 39% des besoins en électricité de la station grâce à deux groupes électrogènes dont la capacité respective est de 800 et de 311 kVA et qui fonctionnent au gaz.

3.2.2.2. Utilisation du Compost

Le digestat obtenu à la fin du process est acheminé vers les lits de séchage et la bouse sèche obtenue après récupération du méthane est vendue aux maraichers à 400 FCFA/m³.

3.3. Effets et impacts socio-économiques et environnementaux des unités de biogaz

3.3.1. Evaluation des impacts socio-économiques

Pour faire l'évaluation des effets et des impacts socioéconomiques du biogaz, des entretiens ont été organisés avec les bénéficiaires de biodigester des régions de Thiès (Mékhé et Notto Diobass,) de Kaolack (SAHM Maraichers, Coutal) et de Fatick (Ngoyé Poffine).

Concernant les effets, les entretiens ont montré qu'ils sont multiples et vont de l'amélioration des conditions de vie des femmes, à l'augmentation de la production agricole en passant par la création de nouvelles activités génératrices de revenus ou l'élimination des maladies provoquées par les fumées comme les maladies pulmonaires.

Dans le domaine de l'amélioration des conditions des femmes, il a été noté qu'avec le biogaz, le temps consacré au ramassage du bois mort pour la cuisine a sensiblement diminué. A cela il faut ajouter, la diminution de l'exposition aux fumées lors des préparations. Ces fumées sont la cause des nombreuses nuisances et maladies comme les maladies pulmonaires chez les femmes et les enfants.

Dans le domaine énergétique, les utilisatrices interviewées ont relevé une moindre dépendance vis-à-vis du gaz butane comme l'atteste cette phrase d'une utilisatrice de Mékhé :

- « Nous ne sommes plus au courant des pénuries de gaz depuis que nous avons le biodigester. »
- Du point de vue purement énergétique, il a été relevé des économies substantielles de gaz (40.000FCFA/mois) chez certains ménages qui utilisent le biogaz à la place du gaz butane.
- « Avant d'avoir un biodigester nous dépensions environ 40000 FCFA pour le gaz ; ce qui équivaut à 6 ou 7 bouteilles de 3kg maintenant ; on a du mal à finir une bouteille nous faisons tout avec le biodigester »

Un autre domaine où le biodigester semble avoir un impact très positif est l'agriculture traditionnelle où les producteurs s'accordent sur une substitution progressive du compost à l'engrais minéral et aux produits phytosanitaires, comme le souligne Monsieur Mor SENE Agent de l'Elevage et agriculteur à NOTTO DIOBASS : "Avec le compost, je parviens à économiser 100.000 FCFA par campagne sur ma facture d'engrais minéral, ce qui est fort intéressant pour moi".

Dans le domaine purement socio économique, il a été noté une création importante d'activités dans les domaines de la maçonnerie, de l'artisanat et de l'agriculture (arboriculture, maraîchage). Une centaine de jeunes (125) ont été formés à la maçonnerie pour qu'ils construisent des biodigesteurs dans leurs localités respectives à la demande des villageois.

Dans le domaine purement agricole on assiste au passage chez les paysans ayant adopté le biodigester, d'une agriculture extensive à une agriculture intensive basée sur une intégration de l'élevage et de l'agriculture par la valorisation des sous produits provenant de ces deux activités (valorisation des tiges de mil et autres déchets de l'agriculture pour la production de nourritures destinées aux animaux ; production de fumure organique pour le sol).

D'après Kholle GNINGUE cultivateur à Thiadiaye :

*« C'est le bio- digesteur qui m'a poussé à me lancer dans le maraichage parce que j'obtenais des quantités importantes de compost et je me suis dit que je pouvais les valoriser autrement, j'ai essayé et j'ai eu une importante production de tomates et depuis lors je produis. Je fais au moins deux productions par campagne. Les produits que j'obtiens se conservent, contrairement à ceux obtenus avec les engrais, plus longtemps ; **affaire bi momela**. Pour les cultures hivernales, grâce au biodigesteur j'ai obtenu une production record de maïs en faisant des rendements de 12 tonnes à l'hectare. »*

Dans le domaine de l'emploi en milieu rural, la diffusion du biodigesteur a permis la création d'un nombre important d'emplois indépendamment des activités artisanales dont nous avons parlées plus au haut. Il s'agit entre autres de la commercialisation du compost et autres substrats provenant de la fermentation et pouvant être utilisés dans l'amendement des sols devant accueillir les cultures de contresaison et aussi pluviales.

3.3.2. Évaluation des impacts environnementaux des unités de biogaz

Le titre II du code de l'environnement prévoit « l'obligation pour tout programme d'investissement de faire au préalable une étude d'impact sur l'environnement ».

Dès lors, même s'il ne s'agit pas de mener des évaluations environnementales conformément à la réglementation, ces outils devront nous renseigner sur la portée et l'intensité des impacts potentiels des unités de biogaz sur l'environnement humain et biophysique mais également nous indiquer les types d'études environnementales préalables à toute installation ou exploitation.

Dès lors, la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) classe en ses rubriques 1400 et 2100 la bio méthanisation et l'utilisation des boues d'épuration et définit les types d'évaluations environnementales qui sied aux projets ou programmes en cours de conception ou ceux qui sont en cours de mise en œuvre. A ce propos, compte tenu des risques d'explosion inhérents à ces installations classées, des études de dangers sont requises pour notamment préciser l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre à l'intérieur de l'établissement, et qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur de l'établissement à un niveau jugé acceptable par l'exploitant.

3.3.2.1. Impacts Environnementaux majeurs des unités de production de biogaz

Les impacts environnementaux des technologies de biogaz sont identifiables par rapport à la sensibilité environnementale du site d'exploitation. Néanmoins, au-delà des impacts spécifiques à chaque zone, des impacts tant positifs que négatifs sont prévisibles selon que l'on soit à l'échelle domestique ou industrielle.

3.3.2.2. Impacts Positifs réels et prévisibles

Les impacts positifs des technologies domestiques et industrielles de production de biogaz sont réels et peuvent s'entrevoir au travers d'avantages économiques, sanitaires et environnementaux.

Tableau 32: Valeurs comparatives des propriétés du bio-fertilisant par rapport au purin et au compost

Nutriments	Le Compost		Le purin		Le bio-fertilisant	
	Valeur (%)	Valeur moyenne (%)	Valeur (%)	Valeur moyenne (%)	Valeur (%)	Valeur moyenne (%)
Azote (N)	0.5-1.5	1	0.5-1,0	0.80	1,4-1,8	1,6
Phosphore (P)	0.4-0.8	0,6	0.5-0,8	0.70	1,1-2,0	1,55
Potassium (K)	0.5-1.9	1,2	0.5-0,8	0.70	0,8-1,2	1

Ce tableau montre que le bio-fertilisant issu des biodigesteur présente les meilleures teneurs en nutriments (1.6% N, 1.55% P, 1% K) si on le compare au purin ou au compost.

Au demeurant, les technologies de production de biogaz à l'échelle industrielle impactent positivement sur la dépendance énergétique des producteurs vis-à-vis de la SENELEC. A titre d'exemple, la filière biogaz de la station d'épuration de Cambérène dispose d'un groupe électrogène à gaz dont la capacité est de 300 kVA. Avec l'appui de l'Union Européenne, la mise en service de deux nouveaux groupes électrogènes à gaz dont les capacités respectives sont de 400 kVA et 630 kVA, permettra, à terme, à la station d'épuration de Cambérène de :

- réduire la dépendance énergétique de la STEP vis-à-vis de la SENELEC à hauteur de 66% de sa consommation. En 2009, la facture d'électricité de la STEP a été estimée à six cent trente millions (630 000 000) de FCFA. La mise en service des deux nouveaux groupes gaz permettra une économie annuelle de quatre cent deux millions (402 000 000) francs CFA,
- et réduire à hauteur de 60% la consommation de gaz oil des groupes fuel existants (800 kVA et 900 kVA ; le fonctionnement des filières de traitement seront en effet assurées, en cas de coupure d'électricité, par les groupes à gaz.

Toutefois, si les impacts économiques de la production de biogaz sont réels au niveau de la STEP de Cambérène, il convient de noter cependant que leur portée reste faible au niveau domestique en raison de la faible diffusion de la technologie.

3.3.2.3. Impacts sanitaires

Les impacts positifs des unités de production de biogaz, notamment à l'échelle domestique, sont :

- une réduction des maladies respiratoires et oculaires liées à l'utilisation du bois de chauffe ou du charbon,
- une réduction des risques d'accident liés à la manipulation du bois de chauffe,
- une amélioration du cadre de vie des ménages par une meilleure gestion des bouses de vache et des eaux usées domestiques grâce notamment à la connexion des toilettes aux biodigesteurs.

3.3.2.4. Impacts biophysiques

Les impacts des biodigesteurs sur les ressources biophysiques sont importants en ce qu'ils permettent de :

- Lutter contre la déforestation : en effet, l'utilisation du bois de chauffe et du charbon de bois suit une tendance négative au fur et à mesure de la diffusion de la technologie ;
- lutter contre l'émission des gaz à effet de serre : le méthane contenu dans le biogaz est un puissant gaz à effet de serre (GES). Une tonne de méthane équivaut à 21 Tonnes d'équivalent CO₂ selon les barèmes du Protocole de Kyoto. La destruction dans nos installations de gros volumes de

méthane (qui représente environ 50% du volume total de biogaz généré par une décharge) constitue donc une participation significative à la lutte contre le changement climatique.

Le bilan d'une installation de récupération de biogaz en matière de réduction de GES est 15 fois supérieur à celui d'une installation solaire ou éolienne de puissance équivalente. L'effet général de la production et de l'utilisation de biogaz est très bénéfique. Même si le processus de bio-méthanisation produit un biogaz constitué principalement de deux importants gaz à effet de serre (le dioxyde de carbone et le méthane) cette production est considérée comme neutre ou bénéfique pour l'environnement. En effet, le dioxyde de carbone rejeté correspond à celui qui a été capté pendant le cycle de croissance de la matière organique, son émission s'intègre donc dans le cycle de vie naturel de la biomasse. Le méthane (CH_4), lui, est un gaz dont les effets sur le climat sont de 21 à 25 fois plus important que ceux du dioxyde de carbone (CO_2), c'est pourquoi, on préfère le brûler en torchère dans les lieux d'enfouissement qui produisent du biogaz en conditions anaérobiques, afin de limiter son impact sur la couche d'ozone. Les unités de bio méthanisation rendent possible la récupération de ces mêmes matières organiques avant leur enfouissement (donc pas de production de méthane dans les lieux d'enfouissement), et leur valorisation sous forme énergétique. On produit alors une énergie renouvelable de substitution à des énergies fossiles plus polluantes.

Prévention la dégradation des sols : après méthanisation, le digestat produit est également valorisable pour l'enrichissement des sols, ce qui permet de réduire ses besoins en engrais azotés chimiques, plus polluants.

3.3.2.5. Impacts sur la qualité de l'air intérieur des habitations

La combustion du bois de chauffe, du charbon de bois, des déchets de récolte, du fumier, du butane, du charbon minéral, dégage des polluants susceptibles d'affecter la santé des individus. Le dioxyde de carbone (CO_2), le monoxyde de carbone (CO), du méthane (CH_4), des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), des matières de particules respirables (PM), du dioxyde d'azote (NO_2), du soufre sous forme d'oxyde (SO_x), constituent les principales substances émises durant leur combustion. De longues périodes d'exposition à ces émissions peuvent être à l'origine des maladies des yeux, du cancer des poumons et des maladies respiratoires (IARI = infection aiguës des voies respiratoires inférieures et BPCO = broncho-pneumopathie chronique obstructive).

Dans les maisons, les femmes, les enfants et les vieilles personnes sont physiquement les plus faibles et sont aussi les individus les plus exposés à la pollution de l'air intérieur des habitations induites par les combustibles domestiques.

D'après le tableau ci-dessous, les énergies traditionnelles comme les combustibles ligneux et les résidus agricoles (déchets de récoltes et des fumiers) émettent des quantités de polluants beaucoup plus importants que le Gaz butane et le biogaz.

Tableau 33: Quantité de polluants selon le type de combustible utilisé

<i>Combustibles</i>	<i>Efficiencie du</i>	<i>Emissions (g/MJ énergie délivrée)</i>				
	<i>foyer</i> (%)	<i>CO₂</i>	<i>CO</i>	<i>CH₄</i>	<i>COVNM⁷</i>	<i>N₂O</i>
Butane	53,6	126	0,61	négligeable	0,19	0,002
Biogaz	57,4	144	0,19	0,10	0,06	0,002
Kérosène	49,5	138	1,9	0,03	0,79	0,002
Bois de feu	22,8	305	11,4	1,47	3,13	0,018
Résidus agricoles	14,6	565	36,1	4,13	8,99	0,028
Charbon de bois	14,1	710	64,0	2,37	5,60	0,018
Bouse de vache	10,0	876	38,9	7,30	21,80	0,022

Source: K R Smith – 2002- indoor air pollution in developing countries: recommendations for research – 10 pages

La prépondérance des combustibles traditionnels dans le bilan énergétique des ménages au Sénégal peut susciter beaucoup d'inquiétude compte tenu de leurs effets sur la santé. Selon un rapport de l'OMS⁸ sur les conséquences négatives des combustibles domestiques sur la santé de la population, on peut retenir pour le Sénégal que :

- le nombre de décès par desinfections aiguës des voies respiratoires inférieures (IAR) d'enfants de moins de 5 ans, imputable à l'utilisation de combustibles a été de 5010 en 2002 ;
- le nombre de décès par broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) imputable à l'utilisation de combustibles solides chez les personnes adultes (âgées de plus 30 ans) a été de 40 en 2002 ;
- le nombre de décès par cancer du poumon imputable à l'utilisation de charbon de bois enregistré chez les sujets adultes (plus de 30 ans) est inférieur à10 en 2002 ;
- l'effectif total des décès imputables à l'utilisation de combustibles solides est estimé à 5400.

Malgré les efforts menés pour la substitution, la part de la biomasse traditionnelle principalement formée par le bois mort et le charbon de bois, demeure importante dans le bilan énergétique des ménages (78,1%). Cette prépondérance des énergies traditionnelles constitue une réelle menace sur les ressources naturelles déjà fragiles et sur la santé des couches les plus vulnérables de la population.

Le gaz butane est utilisé comme un combustible alternatif à la dendro-énergie, sa consommation de plus en plus importante affecte les finances publiques et son coût d'acquisition pèse lourdement sur le budget des ménages. En effet, comme le note le journal « Au Fond du Sénégal » la consommation moyenne mensuelle de gaz au Sénégal est de 1,5 millions de bouteilles de 6kg et 0,4 million de bouteilles de 2,6 kg ce qui équivaut en moyenne à 1,5 bouteille de 6kg par mois et par habitant. Sur chaque bouteille de 6 kg et de 2,6 kg l'Etat supporte respectivement 705 et 315 FCFA, d'où une perte de recettes de près de 13 milliards de Francs CFA, note, en plus, le journal.

Le recours à des combustibles propres tirés de la biomasse moderne en l'occurrence le biogaz constituera un réel avantage non seulement sur la santé des populations mais aussi sur les finances publiques et le budget des ménages. D'où l'impact positif du biogaz sur la qualité de l'air intérieur des habitations voire sur la santé des populations.

⁷ *COVNM: Composé Organique Volatile Non Méthanique*

⁸ OMS- 2007- Energie domestique et santé : des combustibles pour vivre mieux – 28 pages

3.3.2.6. Impacts négatifs réels et potentiels

Les impacts négatifs des technologies de production de biogaz sont :

- les nuisances olfactives générées;
- les risques sanitaires de certains substrats ;
- et les risques d'explosion inhérente à l'exploitation du méthane.

3.3.2.7. Problématique des odeurs dans l'exploitation des technologies de biogaz

Les odeurs peuvent être considérées comme le principal impact environnemental négatif des systèmes domestiques et industriels de production du biogaz. Le biogaz, il faut le rappeler, est composé de différents gaz dont le méthane, le gaz carbonique et d'autres types de gaz à faible dose tels que l'hydrogène sulfuré (H_2S), les vapeurs d'eau (H_2O), le dioxygène (O_2), le diazote (N_2) et le dihydrogène (H_2), ce qui explique la forte émission d'odeurs par des bio digesteurs.

Les biodigesteurs utilisés à des fins domestiques ou agricoles sont souvent source de pollutions olfactives (odeurs d'œufs pourris, biogaz, matières putrescibles, fumier et lisier) quand ils ne sont pas munis d'un dispositif approprié de traitement de l'odeur.

Cependant, il convient de préciser que la bio-méthanisation, ou le raffinement du biogaz, n'est pas source de la pollution olfactive ; au contraire, elle participe plutôt à sa réduction. En effet, la digestion anaérobie se déroulant en milieu confiné, la pollution olfactive est donc spécifiquement limitée au transport des déchets, à leur stockage et lors de l'épandage du digestat. C'est par exemple le cas de SOGAS Dakar où la désulfuration annihile l'effet négatif de la sulfure d'hydrogène responsable de la mauvaise odeur.

3.3.2.8. Risques sanitaires de la bio-méthanisation

Ces risques se posent principalement pour les substrats organiques tels que les déjections d'animaux, les déchets d'abattoirs, etc. En effet, ils comportent souvent des germes pathogènes dangereux pour la santé humaine.

Toutefois, bien que le risque existe, les éléments potentiellement toxiques rejetés à l'air libre (principalement le H_2S ou sulfure d'hydrogène, les composés organiques volatils qui peuvent être cancérigènes ou contribuer à la formation d'ozone troposphérique) sont en quantités trop faibles pour causer un impact sur la santé humaine et l'environnement. Cependant, la mise en œuvre de projets d'installation de dispositif de biogaz doit nécessairement s'orienter vers l'hygiénisation des substrats avant, pendant ou après le processus de digestion afin de les débarrasser de leurs organismes pathogènes.

3.3.2.9. Risques d'explosion du gaz

Comme dans tout système de production et de conduite de gaz, les risques d'explosion sont réels et sont souvent causés par la corrosion des conduites de gaz et certaines conditions non optimales dans le 'process' dont notamment :

- L'étroitesse de l'espace d'utilisation du gaz,
- l'existence d'un déclencheur de combustion,
- la non étanchéité des matériaux et canalisations utilisés ;
- l'inexistence d'un dispositif de ventilation de l'air ;
- l'inexistence de détecteurs de fumée,
- et le mélange d'oxygène-méthane avec une concentration en méthane de 5 à 15 % (en dessous de cette plage, il n'y a pas assez de méthane pour qu'il y ait une explosion).

La probabilité que ces conditions soient réunies reste faible eu égard à l'option de digestion anaérobie donc qui n'admet aucune admission d'oxygène. Toutefois, conformément à la réglementation nationale, des études de danger doivent être faites avant toute installation pour évaluer les risques d'explosion afin de déterminer les mesures de mitigation appropriées pour en limiter la portée.

3.3.3. Diagnostic technique et financier des expériences de biogaz au Sénégal

Depuis 1977, année pendant laquelle, la CARITAS a fait des essais sur 2 biodigesteurs destinés à la production d'énergie à LOUL SESSENE dans l'Arrondissement de Thiadiaye (Région de Thiès), plusieurs expériences ont été tentées. Globalement 42 unités ont été réalisées dont: (i) deux (2) grandes installations industrielles, (ii) sept (7) unités à dôme fixe, (iii) onze (11) unités Transpaille, (iv) vingt deux (22) unités dites SANIGAZ (à fût flottant) (voir annexe 2 qui illustre les expériences de biogaz (1978 à 2000) et leur situation actuelle).

3.3.3.1. Performances Techniques et Financières des expériences fonctionnelles au Sénégal

Les expériences de biodigester qui ont connu du succès ont su recourir aux matériaux locaux dont le sable pour la construction du biodigester et aussi à la main d'œuvre locale (PNB-SN et BIOECO) ce qui facilite la reproduction à un coût moindre de la technologie. Elles ont su aussi tenir compte de la faiblesse du pouvoir d'achat des populations rurales.

Dans le domaine domestique, les performances techniques et financières des expériences fonctionnelles se justifient par :

- La prise en compte de la disponibilité au niveau local du type de substrat devant alimenter le biodigester ;
- L'adaptation du modèle de biodigester aux contextes climatiques des régions couvertes par le programme PNB ;
- La prise en compte des expériences accumulées dans le domaine de la conception des unités de biodigester à proposer ;
- La prise en compte des capacités financières des populations bénéficiaires

En ce qui concerne les unités industrielles, l'existence d'un système d'assainissement centralisé qui permet de disposer à tout moment des quantités de biogaz valorisable soit à des fins d'électricité soit à des fins de cuisson comme c'est le cas avec les abattoirs est un facteur positif. A cela s'ajoute l'existence de substrat valorisable dans le domaine agricole.

3.3.3.2. Insuffisances Techniques et Financières des expériences non fonctionnelles au Sénégal

Les expériences non fonctionnelles ont fait appel à des matériaux non disponibles en milieu rural comme le plastique (dispositif de type canal) et l'acier (dispositif à flotteur) ; en outre, elles n'ont pas tenu compte des possibilités financières des ménages ruraux. A cela s'ajoute l'absence d'un volet Information, éducation et communication (IEC) sur le biogaz

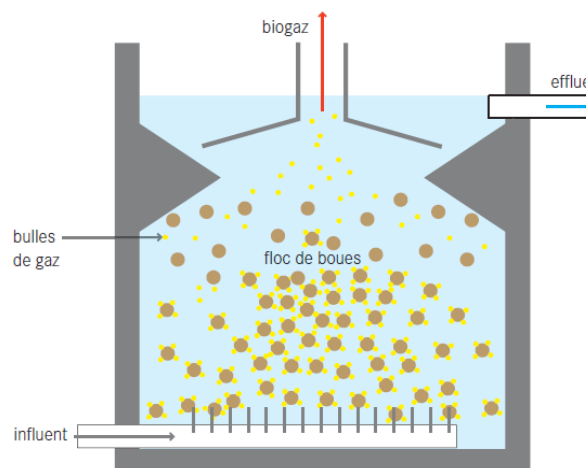
3.3.4. Expériences tirées de la sous-région

3.3.4.1. Cas de la Gambie

Le digester des eaux usées de seconde génération le DAFA ou digester anaérobie à flux ascendant également appelé réacteur UASB (expérience de la Gambie).

Le digesteur anaérobie à flux ascendant est également dénommé le réacteur UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Il est un procédé à courant ascendant dans un lit de boues anaérobies, encore connue sous l'appellation de « procédé à boue granuleuse ».

Le digesteur anaérobie à flux ascendant est très répandu dans le traitement des eaux usées domestiques et des effluents des unités industrielles de type agro-alimentaire. Il est souvent couplé à un dispositif de post-traitement en vue d'achever le processus d'épuration des eaux. Dans le domaine de l'assainissement on le classe le registre des digesteurs de seconde génération.



La technologie du digesteur anaérobie à flux ascendant requiert un faible niveau de mécanisation et ne nécessite pas de grande superficie. Le réacteur UASB est idéal pour les conditions tropicales. En effet, les fortes températures enregistrées durant toute l'année sont favorables à la digestion anaérobie des eaux usées domestiques ou industrielles. Le système ne nécessite de ventilation pour la dégradation de la frange organique à l'image du système à boue activée. Les avantages du réacteur UASB résident dans son faible coût d'investissement, sa demande en entretien faible, la production d'énergie (biogaz à forte teneur en méthane) et un volume de boue presque négligeables.

Les performances du digesteur anaérobie à flux ascendant dépendent de plusieurs paramètres notamment :

- Le pH compris entre 6,3 et 7,8 d'où le recours de solution tampon pour ajuster le pH
- De la demande chimique en oxygène (DCO) dont la concentration doit être supérieure à 250 mg/l et optimum pour des valeurs dépassant 400 mg/l
- La température comprise entre 35°C et 38°C (mésophile)
- Le débit de l'effluent : les grandes variations du débit peut affecter le fonctionnement du réacteur. Généralement le bassin de mélange permet de stabiliser le débit
- La teneur en acide organique
- La concentration en ammoniacale
- La vitesse de l'écoulement (vitesse idéale entre 0,2 et 1m/h)

Les taux de digestion expliquant la production négligeable de boue dans un réacteur UASB sont :

- DCO : 60 à 90%
- MES (matière en suspension) : 60 à 80%

La production de biogaz est tributaire du type d'effluents à traiter. Concernant les eaux usées domestiques, le volume de 0,2 m³ de méthane est généré par DCO réduite soit 0,3 de biogaz par kg de DCO éliminé. La teneur en biogaz est de 65%. Dans une station de traitement avec un réacteur UASB,

l'électricité produite est de 0,6 KWh par Kg de DCO traité tandis que l'énergie électrique utilisée représente 0,08 KWh par kg de DCO éliminé.

Étude de cas de la brasserie de Gambie

Localisation : La brasserie appartenant à la firme coca cola est située à Gambega

Principales caractéristiques des effluents de la brasserie de Gambega :

PH : 10 (d'où prétraitement avec de l'acide)

DCO moyenne : 2500 mg/l ;

DBO moyenne : 1500 mg/l ;

MES moyenne : valeur faible

Azote : 5mg/l ; Phosphore : 2 mg/l

Température : 35°C (idéale pour le réacteur)

La capacité de traitement : la charge organique maximale est de 275 Kg de DCO par jour. Le processus de traitement comprend : (i) un prétraitement ; (ii) mise en ajustage dans un bassin de la température, pH et du débit (*débit 4,6m³/j, temps de rétention 12 heures, capacité 55m³*) ; (iii) le traitement anaérobie dans le réacteur UASB (*charge organique 275kg de DCO/j, capacité 58 m³, hauteur 6m*) ; (iv) traitement aérobie dans un bassin d'aération (*volume 48m³, hauteur 3,5m, taux d'élimination DBO 80%, puissance de l'aérateur installé 2,2 KW*) ; (v) le traitement final dans un bassin de clarification

La production de biogaz : 0,38 Nm³ de CH₄ par Kg de DCO éliminé ; teneur en CH₄ du biogaz 75% production journalière de biogaz 105 Nm³. Le biogaz ainsi produit ne fait pas l'objet d'une valorisation, il est directement brûlé à la torchère. Avec une puissance globale installée 7 kW dont 4,5 kW consommée, l'énergie électrique consommée se situe à 90 kWh/jour.

L'unité de traitement des effluents de la brasserie de Gambega disposant d'un laboratoire occupe une superficie représentant presque le 1/10 de la surface totale de l'usine. Le matériel ainsi que les frais d'installation coûtent 1,7 million de \$ US. Les équipements sont fournis par la firme brésilienne BIOTECs qui a réalisé des installations similaires en Afrique et plus particulièrement au Liberia, en Sierra Leone et au Maroc.

Le recours à une technologie dite de 2^{ème} génération a l'avantage d'être utilisée aussi bien en milieu industriel que domestique. En outre, le réacteur UASB (réacteur à flux ascendant) intégré dans le système de traitement des eaux usées permet d'aboutir à une consommation électrique par unité de m³ relativement faible.

3.3.4.2. Cas du Ghana

Les bio-latrines au Ghana : Présentation générale du système :

Les bio-latrines désignent une unité de biogaz sanitaire pour l'élimination des matières fécales par le biais de la dégradation anaérobie des excréta tout en produisant du biogaz et du fertilisant organique. Elles sont inscrites dans la gamme des ouvrages d'assainissement individuel. Les bio-latrines sont conçues à partir du couplage de digesteur et de latrines ou toilettes. Le nombre de latrines ou de toilettes raccordées au digesteur peut varier entre 1 et 8. Dans ce dispositif d'assainissement individuel, le digesteur faisant office de fosse est constitué par le modèle à dôme fixe (au Ghana et au Burundi) ou par le modèle à dôme flottante (au Durban en Afrique du Sud).



Bio-latrines à une toilette
Source : LAMNET/SEMIS



Bio-latrines à plusieurs toilettes

La production du biogaz à partir du système s'effectue avec de l'eau et de la bouse de vache. En régime de fonctionnement normal les déchets organiques domestiques et les eaux grises peuvent être injectés dans la fosse digesteur. Ce rajout de co-substrat améliore la productivité en biogaz en optimisant le ratio C/N. Si du sable et des pierres ne sont pas introduits dans les bio latrines, celles-ci peuvent rester entre 10 et 20 ans sans entretien de grande envergure.

3.3.4.3. Cas du Burkina Faso

Le Burkina Faso diffuse aujourd'hui, à travers le programme PNB-BF, le même modèle que celui au Sénégal, le GGC 2047 à dôme fixe qui utilise la bouse de vache comme substrat en vue de la production de biogaz et du compost par le principe de la fermentation anaérobie. Ce programme est le fruit de la coopération entre le Ministère Burkinabé des Ressources Animales et la Coopération Néerlandaise qui en a assuré le financement.

En outre, le Burkina Faso s'est lancé dans l'expérimentation d'un modèle dit discontinu qui peut être alimenté avec de la jacinthe d'eau. Ce modèle est présenté ci-dessous :



Figure 25: Biodigester du modèle discontinu

Ce digesteur est constitué d'un fût de 200 litres entouré d'une jupe en tôle en fer galvanisée qui forme, autour du fût, un joint hydraulique dans lequel coulisse un couvercle en tôle galvanisée où s'accumule le biogaz (gazomètre). Le couvercle est muni de deux vannes : l'une commande la sortie du biogaz vers le compteur et le brûleur, l'autre est connectée à un manomètre à eau. Une autre vanne, montée à la base du fût permet d'effectuer des prélèvements d'effluents liquides et/ou solides pour les différentes mensurations en cours de fermentation sans avoir à ouvrir le digesteur. Un système de guidage externe permet de maintenir vertical le mouvement du gazomètre.⁹

⁹ Cf. <http://vertigo.revues.org/1227#tocto3n3>

4. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La présente étude sur l'établissement de la situation de référence sur le biogaz au Sénégal a montré que le sous-secteur des énergies renouvelables (EnR) est actuellement fortement appuyé par l'Etat du Sénégal qui se rend compte, de plus en plus, que les EnRs peuvent contribuer à l'amélioration des conditions de vie des populations en leur facilitant l'accès à des services énergétiques de base qui vont de l'éclairage à la cuisson. Le biogaz à l'instar du gaz butane peut s'avérer une alternative importante aux combustibles ligneux traditionnels que sont le bois de chauffe et le charbon de bois ; à la limite même, se substituer à eux si des mesures idoines comme l'augmentation du niveau de la subvention aux biodigesteurs et la création d'un fonds d'appui à la protection de l'environnement sont mises en place.

L'étude a montré aussi que le biogaz est entrain de promouvoir un autre modèle de développement du monde rural qui est basé sur la création de synergies entre l'agriculture, l'élevage, le développement socioéconomique et l'énergie.

Actuellement, il est temps que les autorités se rendent compte que le biogaz peut devenir une alternative au gaz butane dont les effets sur les finances publiques et celles des ménages sont difficilement supportables à long terme. Les ménages qui disposent d'un bio digesteur savent qu'ils ont fait un bon investissement qui leur permet d'économiser sur le temps consacré à la collecte du bois mort mais aussi sur l'acquisition du gaz butane auquel, une part importante du budget familial est affectée.

L'étude a montré aussi que si la politique de subvention se maintient et se renforce, le biogaz pourra devenir, dans un avenir proche, la première source d'énergie pour les ménages qui disposent d'une cuisine en dur et qui recherchent une source d'énergie moins polluante et moins salissante à l'image du gaz butane et en plus moins chère. L'étude a montré aussi qu'il est important de développer une communication multi média sur le biogaz ; ceci permettra l'amélioration du niveau d'information des décideurs sur le biogaz, ses effets et impacts sur l'environnement, sur les conditions de vie et de santé des populations.

Dans le domaine de la santé, l'OMS note que, contrairement aux idées reçues, le biogaz comporte des risques moindres pour la santé si on le compare aux autres combustibles traditionnels comme le bois de chauffe et le charbon de bois, ce qui en fait un bon combustible. En ce qui concerne sa diffusion au sein du monde rural, l'étude a montré que la stratégie la plus pertinente est de recourir, comme l'a fait le PNB-SN, à des structures qui ont une bonne expérience du monde rurale comme les Organisations Non Gouvernementales (ONG) et les Organisations Paysannes de Base (OPA). En outre, à côté de ces structures, il faut disposer d'une main d'œuvre constituée d'artisans dont des maçons pour satisfaire la demande à un coût moindre et dans des délais raisonnables.

L'étude a aussi montré qu'il existe un important potentiel de co-substrats constitué par les déjections d'animaux, les débris végétaux et certaines catégories de plantes aquatiques comme la salade d'eau douce et le typha. Ces co-substrats, d'après les expériences faites par les laboratoires (ISRA, CERER), peuvent être valorisés dans le cadre de la production de biogaz.

L'étude a aussi montré un très faible taux de pénétration d'électricité provenant du biogaz (0,046%) au regard de la production de la SENELEC. Ceci serait dû au fait que le recours au biogaz est très récent et est aussi timide surtout chez les gros consommateurs. Il est considéré par la majeure partie des consommateurs comme une source d'énergie domestique et non industrielle.

Par contre, depuis l'adoption de la **loi n°2010-21**, le biogaz industriel devient attractif pour des investisseurs en ce sens que la loi instaure un cadre incitatif à la production, à la commercialisation des énergies renouvelables. En outre, la loi protège les investisseurs contre les fraudeurs potentiels non détenteurs de titre en insistant sur les sanctions pénales qu'ils encourent.

Les investisseurs du biogaz industriel ont la possibilité avec le décret d'application de cette loi, de vendre une quantité importante d'électricité dont la puissance minimale est de 150 kW ; ceci peut offrir une opportunité à la STEP Cambérène dont la puissance du groupe à biogaz est de 311 kVA).

Tableau 34 : Synthèse de la situation de référence du Biogaz au Sénégal

Technologie	Niveau de diffusion			Utilisation	Production annuelle d'électricité (GWh)	Substrat valorisé	Coût d'investissement (FCFA)	Coût d'exploitation annuel (FCFA)	Quantité journalière de biogaz (m3)	Points forts	Points faibles
	Quantité	Capacité unitaire (m3)	Zone de diffusion								
GGC 2047 à Dôme fixe modifié (PNB)	537	4 à 18	les 14 régions sauf Kédougou	Cuisson, éclairage	0	Bouse de vache	185 930 à 587 373	170 259 à 753 698 (Cas pessimiste) et 9 297 à 27 698 (Cas réel)	1 à 4,5	1- Adaptée aux besoins culinaire des ménages ruraux; 2- Evite les maladies pulmonaires chez les femmes et les enfants	Elle excute les ménages dépourvus de bovins, le coût d'investissement est élevé au regard des revenus ruraux
Digesteur à boues activées de première génération (STEP Cambérène)	3	3000; 3000; 2000	Dakar	Electricité et chaleur	1,103	Boues activée	437 150 018	298 330 048	7950	1-Possibilité de produire du biogaz à des fins d'électricité (39% de l'énergie consommée) 2- Forte production de boues stabilisées à des fins agricoles	1- Manque de pièce de rechange pour le groupe à biogaz 2- La technologie est dépassée (digesteur de première génération)
Système centralisé à dôme fixe (SOGAS Saint-Louis)	5	10	Saint-Louis	Cuisson	0	Bouse de vache, contenus de panse, sang, eaux chargé	12 499 480	3 944 974	27	1- Unité centralisée et l'approvisionnement est décentralisé, Ce qui permet de satisfaire les besoins en énergie de cuisson avec une utilisation plus aisée (plus de ramassage de bouse de vache)	Projet en expérimentation (trop tôt pour se prononcer sur les points faibles)
Système à bache (SOGAS Dakar)	1	4000	Dakar	Electricité et chaleur	0,041	Bouse de vache, contenus de panse, sang, eaux chargé	385 736 994	81 190 570	1436	1- Système performant 0,5 kWh/m3 2- Maîtrise des désagréments olfactifs (odeurs)	Forte dépendance vis-à-vis de la maison mère

Tableau 35: Contribution du biogaz industriel dans le mix énergétique

Rubrique	Unité (GWh)
Energie électrique totale produite par les unités industrielles	1,14
Production annuelle de la Sénélec (année 2012)	2917,19
Taux de pénétration de l'énergie provenant du biogaz dans le mix énergétique	0,039

Le biogaz industriel occupe aujourd'hui, un taux de 0.039% dans le mix énergétique. Ainsi on peut aujourd'hui affirmer qu'en 2013 le taux de pénétration des EnRs passe de 0.4% à 0.439%. Cet apport représente la consommation annuelle en électricité d'environ 1500 ménages

Tableau 36: Contribution du biogaz domestique dans le mix énergie domestique

Rubrique	Unité (kTEP)
Energie domestique totale produite par les unités domestiques (PNB-SN)	0,141
Charbon de bois (*)	868
Bois de chauffe (*)	388
Kérosène (*)	6
GPL (gaz butane) (*)	54
Total (*)	1316
Taux de pénétration de l'énergie provenant du biogaz dans le mix énergétique	0,011%

(*) : Système d'Information Énergétique Sénégal 2010

Le biogaz domestique, avec le PNB-SN, représente 141 TEP, soit 0.011% de la consommation finale en combustible domestique du Sénégal.

Le biogaz peut désormais être intégré dans le bilan énergie domestique total du pays: il pourrait constituer une bonne alternative aux combustibles ligneux et au gaz butane.

Tableau 37: Niveau de pénétration du biogaz domestique dans la comptabilité énergétique domestique du Sénégal

Taille du biodigérateur (m³) PNB-SN									Total
Rubrique	4	6	8	10	12	14	16	18	
Qté de biogaz (m³) par unité	466	465	463	462	462	461	460	459	
% d'utilisation	2%	8%	23%	60%	3%	1%	1%	3,0%	100%
Qté de biogaz (m³) par ménage et par an	5 010	18 746	57 139	148 726	7 440	2 476	1 235	7 392	248 163
Apport du biogaz domestique en TEP par an	3	11	32	85	4	1	1	4	141
Part (kTEP) des autres types de combustibles domestiques dans la comptabilité énergétique du Sénégal (SIE 2009)									
Charbon de bois				868	NB: Le biogaz domestique peut s'avérer une alternative intéressante dans le cadre de la substitution de combustibles ligneux (réduire la déforestation) et les hydrocarbures (réduction de la facture pétrolière)				
Bois de chauffe				388					
Kérosène (pétrole lampant)				6					
GPL (gaz butane)				54					
Total (kTEP)				1 316					
Taux de pénétration du biogaz domestique (%)				0,011					

Tableau 38: Répartition du nombre du biodigesteurs domestiques par région

	Thiès	Kaolack	Fatick	Kaffrine	Saint Louis	Diourbel	Ziguinchor	Tamba	Matam	Dakar	Kédougou	Kolda	Louga	Sedhui	Total
Nombre de biodigesteurs	150	71	109	94	33	7	23	4	2	9	0	8	29	6	545
Nombre de ménages ruraux par	183549	74453	93414	53218	95159	137129	68843	77735	56185	401964	13499	60275	71124	41863	1 428 410
Taux d'accès	0,082%	0,095%	0,117%	0,177%	0,035%	0,005%	0,033%	0,005%	0,004%	0,002%	0,000%	0,013%	0,041%	0,014%	0,038%

NB: Pour Saint Louis, 12 biodigesteurs domestiques sont hors programme PNB-SN

Ce tableau montre qu'en milieu rural, l'accès aux biodigesteurs domestiques reste encore très limité (0.038% au niveau national). Il est aussi à noter que la région de Kaffrine a plus profité du programme PNB-SN, avec un taux de 0.17%, suivi de Fatick, comme il est illustré dans le diagramme ci-dessous. Ceci découle du choix du bassin arachidier comme zone potentiel de déroulement du projet PNB-SN.

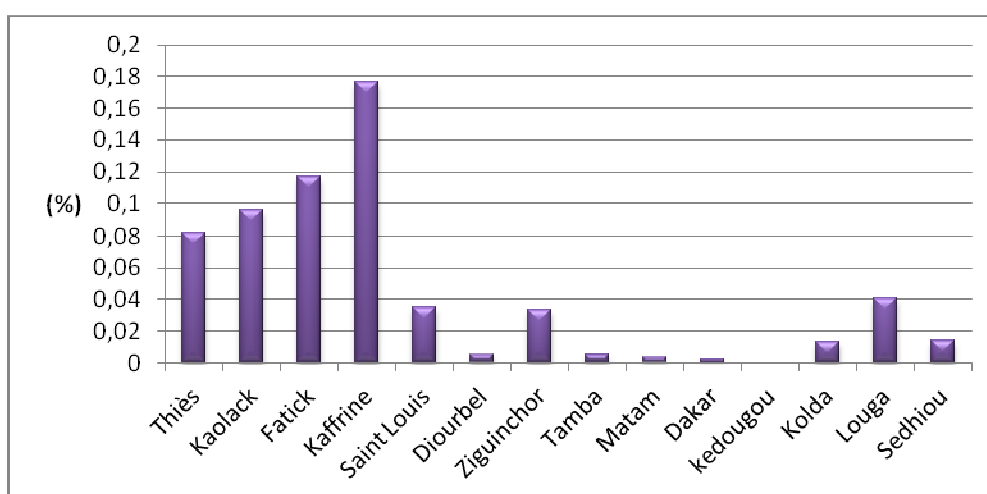


Figure 26: Taux d'accès au biogaz domestique par région (%)

Il est aussi à noter que seule la région de Kédougou ne dispose pas de bio-digester domestique, d'où la nécessité de conduire une étude pour mieux appréhender les facteurs qui sont à la base de cette situation.

5. RECOMMANDATIONS

Au terme de l'étude sur le biogaz, les recommandations suivantes ont été formulées :

1°) Mener des actions de plaidoyer sur le biogaz en direction des autorités afin qu'elles appréhendent le rôle que peut jouer le biogaz dans l'approvisionnement énergétique des ménages ruraux.

2°) Etudier la possibilité de loger le Programme National Biogaz (PNB-SN) à la primature pour mieux prendre en compte le caractère multi dimensionnel du biogaz

3°) Renforcer l'information sur le biogaz surtout en direction des populations rurales afin de leur permettre de mieux appréhender les avantages qu'elles peuvent en tirer dans le domaine énergétique mais aussi de l'agriculture, de la création de revenus et de la santé.

4°) Revoir à la hausse le montant de la subvention accordée par l'Etat (160000FCFA) aux biodigesteurs diffusés dans le cadre du PNB-SN ;

5°) Examiner avec la SENELEC les modalités d'ouverture de son réseau à l'électricité provenant du biogaz étant donné l'inauguration prochaine d'une deuxième station d'épuration à KEUR MASSAR.

6°) Envisager pour la STBV destinée à KEUR MASSAR, de souscrire une puissance minimale de 150 kW avec une ligne moyenne tension, au cas où la commercialisation d'électricité est retenue, conformément aux dispositions de la loi 2010-21 et son décret d'application.

7°) Essayer autant que possible de se rapprocher du point d'injection étant donné que selon la loi, les charges liées au raccordement, incombent à l'autoproduiteur..

8°) Évaluer avec les structure de recherches, la possibilité de valoriser en qualité de co-substrats, certaines plantes aquatiques en l'occurrence le typha et la jacinthe d'eau.

6. BIBLIOGRAPHIE

DEEC : La deuxième communication nationale sur les changements climatiques 2010
HEEGDE Ter Felix, Lamine DIOP, Rob UKKERMAN : Rapport sur l'étude de faisabilité du Programme national de biogaz domestique au Sénégal ; Agence Sénégalaise d'Electrification Rurale (ASER) et SNV (Netherlands Development Organisation)
Ministère de l'Energie/ Lettre de Politique de Développement du Secteur de l'Energie (2011-2015)
SYLLA (Matar) : le biogaz une solution du gouvernement du Sénégal au problème d'accès à l'énergie domestique.
Document de Politique Economique et Sociale 2001-2015
Manuel d'utilisation des biodigesteurs du PNB-SN
République du Sénégal / Loi n°2001-01 du 15 janvier 2001 portant Code de l'environnement
République du Sénégal / Lois et décret d'orientation (2010 et 2011)
RECORD, Techniques de production d'électricité à partir de biogaz et de gaz de synthèse, 2009, 253 p, n°07-0226/1A.
IEA- 2009- Energy sector methane recovery and use – the importance of policy
World Bank-1987-Household energy handbook
J lamptey and al – 1990- bioenergy – IDRC/UNU - 210 page
GTZ – 1989 – biogas plants in animal husbandry – 134 pages
Oumar Diallo- 2007- Problématique de la gestion des déchets solides urbains à Dakar- in revue VIE N°1 Août Septembre 2007
GRET – 2006- La gestion des ordures ménagères dans les villes secondaires du Sénégal- 94 pages
ANSD.- 2011- Rapport définitif sur la situation économique et sociale su Sénégal
http://www.ansd.sn/publications/annuelles/SES_2011_def.pdf
Farinet J.L., Copin Y., 1994. Dossier traitement des déchets : Transpaille, plant en mottes, lagunage. Agriculture et développement, 1 : 47-55.
FAOSTAT | © OAA Division de la Statistique 2013 | 12 août 2013
Fiche technique de bio-éco Saint-Louis
Revue technique et économique-financière des installations de Biogaz au Sénégal, EDE (Sénégal), Septembre 2013, 77 Pages

[1] : <http://www.senelec.sn/content/view/12/49/>, consulté le 12/08/2013 à 09 H 25

[2] : <http://www.onomohotel.com/blog-dakar-hotel/les-energies-renouvelables-sont-une-solution-a-la-crise-energetique>

[3] : <http://ouaga-ca-bouge.net/Le-biodigesteur-pour-mettre-fin>

7. ANNEXES

7.1. Annexe1 : Liste des personnes rencontrées

N°	Prénom	Nom	Structure	Fonction	Téléphone
1.	Serigne Modou	TAMBÉDOU	SOGAS St-Louis	Directeur Générale	70 638 18 71
2.	Khalifa	DIOP		Président Conseil du Quartier	77 447 82 61
3.	Secou	SARR	ENDA T.M /Energie	Directeur	76 667 57 99
4.	Mor	NDIAYE	PNB-SN Kaolack	Coordonnateur du PNB-SN	77 449 42 46
5.	Matar	SYLLA		Responsable des Opérations Techniques du PNB-SN	77 773 73 26
6.	Djiby	NDIAYE	ANER	Directeur Général	77 644 06 20
7.	Mamadou	KANOUTÉ	Direction de l'Energie	Chef de division....	77 049 96 80
8.	Ibrahima	NIANG	PROGEDE	Directeur Général PROGEDE	77 647 36 10
9.	Anne Mendy	CORRÉA	PNB-SN Dakar	Coordonatrice du PNB-SN	776504718
10.	Talla	CISSÉ	SOGAS Dakar	Président Directeur Général	32 879 18 80
11.	Anta Dieng	FALL		Secrétaire responsable environnement et projets	33 879 18 82
12.	Issakha	YOUM	CERER	Directeur	33 832 10 53
13.	Omar	KANE		Chef Dep. Bioénergie	33 832 10 53
14.	Mariline	DIARA	Direction de l'Environnement et des Établissements Classés (DEEC)	Directrice de l'Environnement	77 639 96 31
15.	Madelaine Sarr	DIOUF		Responsable Changements climatiques	77 552 46 32
16.	Sény	DIEDHIOU	C.I.H (St-Louis)	Enseignant à CIH	-
17.	Bouba-Dalambaye	FRANCIS YVON	HEIFER	Directeur National	76 388 08 80
18.	Gustave	GAYE		Coordonnateur des projets	77 362 26 75
19.	Ethiène	DOG		Technicien chargé de biogaz	77 503 13 32
20.	Macoumba	DIOUF	ISRA	Directeur général	-
21.	Yacine Badiane	NDOUR		Chef du Lab. National de Recherches Végétales	77 554 88 21
22.	DONACIEN	MARIE LOUISE	LE PARTENARIAT	Chargé de mission Développement durable	77 672 64 25
23.	Alioune	DIOP	STEP Cambérène	Directeur de l'exploitation	77 638 26 30
24.	Ibrahima Mbor	DIONE		Chef de Division Contrôle Traitement	-
25.	Falilou	Diagne	UGPM (Mékhé)	Président UGPM	77 630 71 15
26.	Samba	Mbaye		Animateur Rural	77 538 80 36
27.	Mor	Sall		Animateur UGPM	77 562 76 39
28.	Mapenda	Fall		T.G UGPM	77 652 76 38
29.	Fatou	Diop		Animatrice UGPM	77 506 39 89
30.	Ndiary	Samb		Responsable Semence	77 430 81 86
31.	Adama	Niang		Animateur Rural	77 562 76 42
32.	Assane	Dieng		Responsable Energie Solaire	77 630 10 89
33.	Mamadou	Guèye		Animateur Rural	77 443 69 47
34.	Galaye	Kâ		Animateur IRRISÉTAL Projet	77 553 48 41
35.	Ndiakhaté	Fall		S.G UGPM	77 550 89 07
36.	Aïda	Niang		Animatrice Rurale	77 613 19 28
37.	Colonel Moussa	Diouf	ANEV	Adjoint au coordonnateur de l'ANEV	77 333 71 45
38.	Madieumbe	Diouf	ONAS	DAF	33 859 35 09

7.2. Annexe2 : Tableau de synthèse des expériences du biogaz au Sénégal

REGIONS ET DEPARTEMENTS	SITE	DATE DE MISE EN SERVICE	SYSTEME	VOLUME (m ³)	FONCTION	PARTENAIRES	Etat actuel	Justification
Thiès (Mbour 1)	Ndiouk-Fissel	1978	Indien	32	Cuisson Eclairage	CARITAS	Non fonctionnel	A titre expérimental
Thiès (Mbour 2)	Ndiouk-Fissel	1978	Indien	15	Cuisson Eclairage	CARITAS	Non fonctionnel	A titre expérimental
Ziguinchor	Maternité et dispensaire de Badiana	1983	Discontinu (3 cuves)	1 x 5,5 1 X 6 1 X 8	Eclairage Stérilisation Réfrigération	ENDA CARITAS	Non fonctionnel	A titre expérimental
Diourbel	CNRA Bambey	1983	Transpaille	20	Moteur dual / fuel biogaz pour motopompe	ISRA AFME	Non fonctionnel	A titre expérimental
Thiès (Mbour)	Centre de formation de Nianing	1884	Indien	15	Cuisson	CARITAS	Non fonctionnel	A titre expérimental
Thiès (Mbour)	Centre de formation de Nianing	1985	Zairois		Eclairage Chauffage poulailler	CARITAS ENDA	Non fonctionnel	A titre expérimental
Ziguinchor	Dioubour	1985	Chinois	7	Eclairage Cuisson	ENDA	Non fonctionnel	A titre expérimental
Ziguinchor	Badiate	1986	Discontinu	6,3	Moto pompe 5 CV	ENDA	Non fonctionnel	A titre expérimental
Cap Vert	CRAT Dakar	1987	Continu Chinois	10	Cuisson	CRAT CERER	Non fonctionnel	A titre expérimental
Cap Vert	CERER Dakar	1987	Continu indien	20	Moteur dual fuel 3,5 KVA	CRAT CERER	Non fonctionnel	A titre expérimental
Thiès	Abattoir	1988	Transpaille	40	Moteur dual / fuel biogaz pour réfrigération	ISRA CIRAD AFME FAC	Non fonctionnel	1) Manque de formation 2) Absence de transfert de technologie
Cap Vert	Thieudème	1989	Transpaille	12	Eclairage Réfrigération	ISRA SOSEDRAA	Non fonctionnel	A titre expérimental
Ziguinchor	Thionk Essyl	1989	Discontinu	2 X 6,3	Moteur dual 5 CV pour moto pompe	ENDA	Non fonctionnel	A titre expérimental
Cap vert	Cambéréne	1989	Industriel	1 x 2000 1 x 3000	Groupe électrogène	POYAUD	Fonctionnel (*)	A titre expérimental
Kolda	Dialambéré	1990	Discontinu (4 cuves)	4 x 6,25	Groupe électrogène de 10 CV pour : éclairage, Pompage, moulin	ENDA AFD	Non fonctionnel	A titre expérimental
Thiès	Centre agropastoral Salsal	1990	Chinois	30	Moteur dual 3,5 KVA Cuisson / électricité	CRAT CERER	Non fonctionnel	A titre expérimental
Delta (Région de Saint Louis)	Thiagar	1991	Transpaille Sanigaz	2 x 3,5	Cuisson	SAED AGRIFORCE CIRAD	Non fonctionnel	A titre expérimental
Delta (Région de Saint Louis)	Ross Bethio	1992 - 1993	Transpaille Sanigaz	12 x 3,5	Cuisson	SAED AGRIFORCE CIRAD	Non fonctionnel	A titre expérimental
Delta (Région de Saint Louis)	Mbane	1993	Transpaille Sanigaz	3 x 3,5	Cuisson	SAED AGRIFORCE CIRAD	Non fonctionnel	A titre expérimental
Delta (Région de Saint Louis)	Kassack nord	1993	Transpaille Sanigaz	6 X 3,5	Cuisson	SAED AGRIFORCE CIRAD	Non fonctionnel	A titre expérimental
Delta (Région de Saint Louis)	Ndombo	1993	Transpaille	3,5	Cuisson	SAED AGRIFORCE CIRAD	Non fonctionnel	A titre expérimental
Bakel	Bakel	1994	Transpaille		-	-	Non fonctionnel	A titre expérimental
Thiès	Ndiassane	1999	Chinois	50	Moteur dual pour pompage	MRST / DAST	Non fonctionnel	A titre expérimental
Thiès	Mbafaye Marché	1999	Chinois	50	Moteur dual pour pompage	MRST / DAST	Non fonctionnel	A titre expérimental
Thiès	Ndiangar Cisse	2000	Chinois	50	Moteur dual pour pompage	MRST / DAST	Non fonctionnel	A titre expérimental

(*) : Avec des difficultés de production d'électricité (panne de la machine)