



VALORISATION ENERGETIQUE PAR METHANISATION DES DECHETS MENAGERS : CAS DU DISTRICT D'ABIDJAN

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER SPECIALISE EN
GENIE ELECTRIQUE, ENERGETIQUE ET ENERGIES
RENOUVELABLES

OPTION : ENERGIES RENOUVELABLES

Présenté et soutenu publiquement le 03/11/2011 par

Alain Déziri Delloh **BRIAND**

Travaux dirigés par :

François-Xavier **COLLARD**

Ingénieur Chimiste / Doctorant

Laboratoire Biomasse Energie Biocarburants (LBEB)

UTER Génie Energétique et Industriel (GEI)

Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de
l'Environnement (2iE)

Jury d'évaluation du stage

Président : Yao AZOUMAH

Membres et correcteurs : Daniel YAMEGUEU
Madi GOUNDIAM
François-Xavier COLLARD

Promotion [2010/2011]

Ose rêver. Ose essayer. Ose te tromper. Ose avoir du succès.
Vas-y. Je te lance un défi!

Kingsley Ward

Extrait de *Letters from a business man to his son.*

DEDICACE

A ma fille **Maéva**,
qui a vu le jour lors de la rédaction de ce mémoire

REMERCIEMENTS

Nous ne pouvions présenter les résultats de notre projet de fin d'études sans toutefois exprimer notre gratitude à l'égard de toutes les personnes et structures y ayant contribué.

Nous pensons à :

- la Direction Générale de la SOPIE, plus particulièrement à M. Valentin KOUAME (Directeur Général) pour nous avoir permis de réaliser cette formation en ligne, et à M. Nagaky DIARRASSOUBA (Chef du Service Production), notre tuteur de stage pour la supervision de nos travaux ;
- plusieurs acteurs du secteur de la gestion de la salubrité en Côte d'Ivoire à savoir le Ministère de la Salubrité Urbaine (MSU), le Fonds de Financement aux Programmes de Salubrité Urbaine (FFPSU), l'Agence Nationale De l'Environnement (ANDE), l'Agence Nationale de la Salubrité Urbaine (ANASUR), le District d'Abidjan, l'Union des Villes et Communes de Côte d'Ivoire (UVICOCI), l'Assemblée des Départements et Districts de Côte d'Ivoire (ADDCI) et la Mission d'Appui à la Conduite d'Opérations Municipales (MACOM) ;
- la Direction, aux coordonnateurs et au personnel enseignant de la Fondation 2IE de Ouagadougou, plus particulièrement à M. Koné TOFANGUY et Mme Sylvie OUEDRAOGO respectivement Chef du Service de la Formation à Distance et Coordinatrice de la filière du Master spécialisé M2 GEER ;
- M. François-Xavier COLLARD, notre encadreur pédagogique pour sa disponibilité et ses conseils.

Pour les bonnes conditions de réalisation des collectes de données et des enquêtes de terrain, nous remercions particulièrement : MM. Kouadio YAO et Arsène AKEKO (Direction de l'Environnement et de l'Hygiène du District d'Abidjan), Dr. Jean-Baptiste AKE (UVICOCI), M. Paul AMICHIA (UVICOCI/ADDCI), M. Sébastien GREKI (MACOM), MM. Félix NADRO et Eddy KONAN (ANASUR).

Nous remercions également toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à notre formation.

RESUME

Avec un fort taux de croissance démographique le district d'Abidjan, un district de la Côte d'Ivoire, ne disposant que d'une seule décharge d'ordures non contrôlée, cherche encore ses repères en matière de gestion des déchets ménagers. Parallèlement, l'on note un déséquilibre important entre l'offre et la demande d'énergie électrique au niveau national, induisant des impacts négatifs de plus en plus perceptibles sur les indices de développement.

Dans ce contexte, nous avons élaboré ce projet d'étude intitulé : "*Valorisation énergétique par méthanisation des déchets ménagers : cas du district d'Abidjan*" afin de rechercher des pistes de solutions transversales aux problèmes de la gestion de la salubrité et de l'amélioration de la situation énergétique notamment au niveau de la production d'énergie électrique en Côte d'Ivoire.

Cette étude qui portait sur la période de 2013 à 2025, nous a permis d'estimer le potentiel énergétique des déchets ménagers à partir des procédés de valorisation énergétique que sont la captation du méthane naturellement produit sur le site de la décharge d'Akouédo et la fermentation méthanique des déchets à l'aide de digesteurs sur le site du Centre d'Enfouissement Technique (CET) à construire.

Les résultats démontrent que les déchets ménagers, sur la période de l'étude, permettront de produire près de 1.329 millions de mètre cube de biogaz. Sur cette même période, cette quantité de biogaz permettra de produire environ 2.237 GWh d'énergie électrique à partir de moteur à biogaz. Parallèlement, elle permettra aussi de réaliser une économie financière de près de 70 milliards de francs CFA sur la facture de consommation en gaz naturel utilisé comme combustible dans les centrales thermiques.

Mots clés

Déchets ménagers, valorisation énergétique, biogaz, méthanisation, décharge d'Akouédo.

ABSTRACT

With a high rate of population growth, Abidjan district (a district of Ivory Coast) is still seeking its bearings in the management of household waste with its disposal a single uncontrolled landfill. Meanwhile, there is a significant imbalance between supply and demand of electric power at the national level, leading to negative impacts more noticeable on the development indices.

In this context, we developed this research project entitled "*Valorisation énergétique par méthanisation des déchets ménagers : cas du district d'Abidjan*" in order to search the solutions to the problems of waste management and the improving of energy situation particular in production of electricity sector of Ivory Coast.

This study which covered the period from 2013 to 2025, allowed us to estimate the energy potential from waste energy recovery processes that are capturing methane produced naturally in the landfill of Akouédo and anaerobic digestion of the future landfill site.

The results show that household waste over the period of the study will produce approximately 1,329 million cubic meters of biogas. Over the same period, this amount of biogas will produce 2,237 GWh of electricity from biogas engine. Meanwhile, it will also make financial savings of almost 70 billion CFA francs on the bill of natural gas which is used as fuel in thermal power plants.

Keywords

Waste, energy recovery, biogas, anaerobic digestion, landfill of Akouédo

LISTE DES ABREVIATIONS

ADERCI	: Agence de Développement des Energies Renouvelables en Côte d'Ivoire
BNETD	: Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement
CCNUCC	: Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CET	: Centre d'Enfouissement Technique
COD	: Carbone Organique Dégradable
DDP	: Document Descriptif de Projet (Project Design Document : DDP en anglais)
DGSCV	: Direction Générale de la Salubrité et du Cadre de Vie
DPO	: Décomposition de Premier Ordre
DSM	: Déchets Solides Municipaux
FCFA	: Francs CFA
GIEC	: Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
INS	: Institut National des Statistiques
kV	: Kilo Volt
MBTU	: Million of British Thermal Unit
MO	: Matière Organique
MS	: Matière Sèche
MSV	: Matière Sèche Volatile
OMD	: Objectifs du Millénaire pour le Développement
PCI	: Pouvoir Calorifique Inférieur
PNSU	: Plan National de la Salubrité Urbaine
SITRADE	: Société Ivoirienne de Traitement de Déchets
SOPIE	: Société d'Opération Ivoirienne d'Electricité
TRH	: Temps de Rétention Hydraulique
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change
URCEs	: Unités de Réduction Certifiée des Emissions
Wh	: Watt-Heure
WTI	: West Texas Intermediate

SOMMAIRE

DEDICACE.....	2
REMERCIEMENTS	3
RESUME.....	4
ABSTRACT	5
LISTE DES ABREVIATIONS	6
LISTE DES TABLEAUX.....	9
LISTE DES FIGURES.....	10
I. INTRODUCTION	11
1.1. Généralités sur la gestion des déchets dans le district d’Abidjan.....	11
1.2. Contexte de l’étude.....	12
II. OBJECTIFS DU TRAVAIL	15
III. MATERIELS ET METHODES	16
3.1. Recherche documentaire.....	16
3.2. Collecte de données	17
3.3. Visite du site de la décharge d’Akouédo	18
3.4. Hypothèses de travail.....	20
3.4.1. Quantité de déchets disponibles	20
3.4.2. Choix des procédés de valorisation	20
3.4.3. Période retenue pour l’étude.....	21
3.4.4. Choix de l’unité de production d’électricité.....	21
3.5. Méthodes de calcul utilisées	22
3.5.1. Méthode d’évaluation du biogaz valorisable à partir de la décharge d’Akouédo	22
3.4.2. Méthode d’évaluation du biogaz valorisable à partir des digesteurs du CET	23
IV. RESULTATS	24
4.1. Potentiel énergétique des déchets de la décharge d’Akouédo.....	24
4.1.1. Gisement de déchets.....	24
4.1.2. Quantité de biogaz valorisable	26

4.1.3. Productible d'énergie électrique disponible	28
4.1.4. Quantité d'émission de CO ₂ évitée.....	31
4.2. Potentiel énergétique des déchets du CET	33
4.2.1. Quantité de substrat disponible	33
4.2.2. Productible en énergie électrique disponible.....	34
4.2.3. Quantité d'émission de CO ₂ évitée.....	36
V. DISCUSSIONS ET ANALYSES	37
5.1. Productible d'énergie à partir du biogaz produit par les déchets ménagers	37
5.2. Impact de la valorisation énergétique des déchets sur la consommation en gaz naturel des unités de production	37
5.3. Faisabilité technique des procédés de valorisation énergétique proposés.....	39
5.3.1. Unité de valorisation du biogaz de la décharge d'Akouédo.....	39
5.3.2. Unité de valorisation du biogaz du nouveau CET.....	40
5.4. Comparaison aux projets similaires de valorisation énergétique des déchets.....	41
VI. CONCLUSION.....	43
VII. BIBLIOGRAPHIE.....	45
VIII. ANNEXES	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Quantités de déchets collectés et mis en décharge par commune (2003 à 2010).....	24
Tableau 2. Composition des déchets produits par le district d'Abidjan selon le type d'habitat.....	25
Tableau 3. Paramètres de calcul pour la résolution de l'équation 1.....	26
Tableau 4. Quantité estimée de méthane produit par la décharge en 2015.....	27
Tableau 5. Quantités estimées de méthane produit par la décharge de 2013 à 2025.....	28
Tableau 6. Estimation du productible électrique à partir du biogaz capté de la décharge d'Akouédo de 2013 à 2025.....	30
Tableau.7. Quantité d'émission de CO2 évitée de 2013 à 2025	32
Tableau 8. Estimation du substrat quotidiennement disponible de 2013 à 2025.....	33
Tableau 9. Estimation du productible électrique à partir du biogaz produit par les digesteurs du CET de 2013 à 2025.....	35
Tableau 10. Estimation de l'économie financière générée par la baisse de la facture de consommation en gaz naturel	38

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Plan et population des communes du district d'Abidjan.....	17
Figure 2. Vue aérienne du site d'Akouédo dans le district d'Abidjan.....	19
Figure 3. Quelques photographies du site de la décharge d'Akouédo.....	19
Figure 4. Photographies de groupes de cogénération au biogaz (SOLAGRO, GE Jenbacher).....	21
Figure 5. Répartition des quantités de déchets collectés et mis en décharge par commune (Chiffres 2010).....	25
Figure 6. Estimation du productible électrique à partir du biogaz issu des déchets ménagers du district d'Abidjan de 2013 à 2025.....	37
Figure 7. Vues d'installations de captage et d'épuration de biogaz sur des décharges.....	39
Figure 8. Série de biodigesteurs à chargement séquentiel (batch).....	40
Figure 9. Schéma de principe de l'unité de valorisation proposée.....	41

I. INTRODUCTION

" Le déchet le plus facile à traiter est celui qui n'a pas été produit ...".

Usuellement, un déchet (détritus, résidu, ordure, ...) désigne la quantité perdue dans l'usage d'un produit. De nos jours, ce terme tend à désigner n'importe quel objet ou substance ayant subi une altération d'ordre physique, chimique, ou en tant qu'il est perçu, le destinant à l'élimination ou au recyclage.¹ Les déchets ménagers, quant à eux, sont des déchets issus de l'activité quotidienne des ménages (nourriture, journaux, textiles, etc.). La composition des déchets ménagers est très variée. On y trouve notamment des matières organiques putrescibles (éventuellement compostables) et de nombreux matériaux recyclables issus des emballages : verre, métal, plastique, carton, etc.

1.1. Généralités sur la gestion des déchets dans le district d'Abidjan

La consultation des archives portant sur les dossiers de salubrité nous a permis de retracer l'historique de la gestion des déchets dans le district d'Abidjan :

- **1953 à 1990** : Collecte, transport et mise en décharge des déchets, assurés par la Société Industrielle des Transports Automobiles Africains (SITAF), une société privée.
- **1991** : La ville d'Abidjan décide de prendre en main la gestion des déchets avec l'avènement de la pré-collecte au vu des défaillances constatées dans les prestations de la SITAF.
- **1992** : La société privée ASH International obtient un contrat de 10 ans avec l'Etat ivoirien pour la pré-collecte, la collecte, le transport et la mise en décharge des déchets ;
- **1995** : La société ASH International n'arrive plus à honorer ses engagements pour diverses raisons et les problèmes d'insalubrité s'accroissent. Le maire de la ville d'Abidjan autorise alors la prestation d'autres prestataires privés.
- **1998** : La ville d'Abidjan en collaboration avec le Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement (BNETD) lance un appel d'offre pour la recherche d'un nouveau site de décharge. Un site est alors trouvé près de la ville d'Akoupé. Ce site avait même fait l'objet d'une étude de faisabilité de la part du BNETD. Mais finalement l'appel d'offre avait été infructueux et la situation sanitaire continuait de se dégrader.
- **2002** : Une nouvelle stratégie de gestion des déchets est proposée par le ministre en charge de la gestion de la salubrité. En application de cette stratégie, il a été institué un appel d'offres national et international relatif à la réalisation d'un CET pour le district d'Abidjan. Il a été adjugé provisoirement en 2003 mais a souffert de plusieurs insuffisances dont le choix du site.

¹ Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et de leur élimination – Mars 1989

- **2003** : Une loi votée en 2003 définit les activités de proximité (pré-collecte, curage des caniveaux, etc.) de la responsabilité des communes donc des maires et celles liées à la collecte, au transport et à la mise en décharge du ressort du district d'Abidjan. La mise en application de cette loi a été l'objet d'une "guéguerre" entre les communes et le district d'Abidjan au détriment du secteur de la salubrité.
- **2007** : A la faveur de la création du Ministère de la Ville et de la Salubrité Urbaine, un nouveau cadre institutionnel a été mis en place. Celui-ci confirme le rôle stratégique de l'Etat de Côte d'Ivoire au travers de l'ANASUR dans la gestion de la salubrité.
- **2011** : Le Ministère de la Salubrité Urbaine organise un séminaire avec pour thème : "Cadre et stratégie de gestion de la salubrité urbaine : enjeux et perspectives". Ce séminaire a porté sur l'actualisation du projet de Plan National de la Salubrité Urbaine (PNSU) afin de rendre le secteur de la salubrité plus efficient.

1.2. Contexte de l'étude

La gestion des déchets solides constitue aujourd'hui un des axes prioritaires de la politique environnementale en Côte d'Ivoire notamment pour le district d'Abidjan qui cherche véritablement ses repères en matière de salubrité urbaine. En effet, depuis plusieurs années, la Côte d'Ivoire connaît un fort taux de croissance démographique avec une population estimée à environ 20,5 millions d'habitants en 2009 ; le district d'Abidjan a enregistré la même année près de 785.718 tonnes de déchets collectés et mis en décharge.

Cette croissance démographique est malheureusement accompagnée d'une forte récession économique du fait de l'instabilité socio-politique liée au coup d'état (1999) et à la crise militaro-politique qui a débuté en 2002 et pris fin en 2011. L'impact de cette crise sur les conditions de vie des ménages est manifestement négatif et se traduit par une forte dégradation du tissu économique, des pertes en vies humaines, des déplacements massifs de populations et surtout une dégradation des infrastructures sociales notamment les décharges publiques de déchets.

Parallèlement, la situation énergétique actuelle de la Côte d'Ivoire n'est pas des plus reluisantes. En effet, le manque d'investissement dans le secteur de l'électricité dû au déséquilibre financier causé essentiellement par le coût élevé du combustible des centrales thermiques (gaz naturel) indexé au WTI, induit des impacts négatifs de plus en plus perceptibles sur les indices de développement de la Côte d'Ivoire.²

² Gouvernement de la Côte d'Ivoire, *DSRP : Stratégie de relance du Développement et de Réduction de la Pauvreté*, Abidjan, janvier 2009, 180 p.

Dans ce contexte, notre projet d'étude : "*Valorisation énergétique par méthanisation des déchets ménagers : cas du district d'Abidjan*" revêt une importance non moins négligeable ; car lançant les bases de réflexion sur la problématique réelle du rôle de la gestion durable des déchets dans l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) notamment en matière d'amélioration de l'accès aux services énergétiques. Raison pour laquelle le Gouvernement de la République de Côte d'Ivoire s'est engagé, à travers la Lettre de politique de développement du secteur de l'électricité de janvier 2009, à diversifier les sources d'énergie pour la production d'électricité en faisant appel à des sources comme la biomasse, le soleil et l'uranium pour tenir compte de la réfaction du gaz naturel à long terme. Cette volonté politique trouve sa manifestation depuis quelques années dans l'élaboration de plusieurs études³ et projets⁴ en rapport avec la valorisation des déchets.

Au demeurant, la valorisation énergétique des déchets pourra constituer ainsi une conjonction d'intérêts entre la nécessité de gérer une masse de plus en plus imposante de déchets et la possibilité de générer une plus value économique depuis ces déchets et pousser au développement d'énergies renouvelables de substitution. Mais, il est bien clair qu'un éventuel développement des procédés de valorisation énergétique des déchets impose une maîtrise rigoureuse des risques environnementaux potentiels et une connaissance affinée des garanties économiques et financières. Ces techniques devraient ainsi s'intégrer dans une logique socio-économique propre aux pratiques en vigueur en Côte d'Ivoire.

La réalisation d'une étude bibliographique portant sur le secteur de la valorisation des déchets, nous a permis de dénombrer plusieurs de projets de valorisation réalisés ou en cours d'élaboration sur le continent africain⁵. L'on pourrait citer les projets de valorisation de déchets tels le projet SOTUMAG en Tunisie (2,4 GWh/an à partir du biogaz), le projet AEPB à Gosa et Agata au Nigéria (240 MW de puissance à installer), le projet HYSACAM à Douala au Cameroun, le projet AÏN BEDA à Fès au Maroc, les projets SITRADE et ADERCI en Côte d'Ivoire (59 GWh/an à partir du biogaz), etc.

Selon certaines études⁶, l'on constate que la voie de valorisation la plus utilisée en Afrique est celle de la valorisation matière (réutilisation, recyclage, amendement agronomique) car cette voie nécessite peu de moyens techniques et est économiquement rentable. Les projets portant sur la valorisation énergétique (bien souvent subventionnés par

³ BURGEAP, *Rapport final provisoire : Etude stratégique pour la gestion des déchets solides dans le district d'Abidjan*, Abidjan, 2011, 183p.

⁴ SITRADE, *CDM-PDD version 5 : Abidjan Municipal Solid Waste-To-Energy Project*, Abidjan, mai 2009, 77 p. & ADERCI, *CDM-PDD version 2 : Landfill Gas Recovery and Flaring Project in Akouedo*, Ivory Coast, Abidjan, septembre 2009, 43 p.

⁵ <http://www.riaed.net/?+-Dechets-+>

⁶ Pascale NAQUIN - CEFREPADE - CIFAL - Ouagadougou - Février 2011

les Etats) sont eux plus orientés vers la production d'énergie électrique à partir du biogaz produit par les déchets. Cette orientation vers la méthanisation au détriment de l'incinération (plus développé en Occident) s'expliquerait en partie par l'étiquette d'émission de grandes fumées nocives attribuée à l'incinération. En effet, plusieurs risques sanitaires sont liés à ces fumées du fait de la présence en leur sein de nombreux polluants notamment des métaux lourds (arsenic, cadmium, plomb, mercure, etc.), des dioxines, des particules fines, des gaz polluants (dioxyde de soufre, oxydes d'azote, ...), etc.

Au regard de ce contexte et en considération des projets déjà élaborés en Côte d'Ivoire portant sur la valorisation des déchets, le cadre de cette étude se limitera à étudier la possibilité de production d'électricité à partir du biogaz dégagé par les déchets ménagers du district d'Abidjan. A terme, cette étude pourra constituer un rapport contradictoire pour l'évaluation de la viabilité technique d'autres études similaires menées en Côte d'Ivoire.

La quasi-totalité des quantités de ces déchets collectés est actuellement transférée vers l'unique décharge d'Akouédo, décharge non contrôlée mise en service en 1965. La valorisation énergétique, dont nous développerons les aspects dans ce mémoire, sera relative aux déchets ménagers stockés exclusivement sur le site de cette décharge et à ceux qui seront transférés sur le site du nouveau CET à construire. Aussi, la notion de valorisation énergétique ne se référera qu'à la production d'électricité au détriment de celle de chaleur, au vu du contexte spécifique des besoins réels des centres de consommations potentiels tous orientés vers l'usage de l'énergie électrique. La question essentielle que l'on se posera dans cette étude est de connaître le potentiel énergétique exploitable des déchets ménagers de la décharge d'Akouédo et du CET par voie biochimique de méthanisation.

A cet effet, on consacra une partie du mémoire à l'évaluation du gisement de déchets susceptibles d'être valorisés sur la période de l'étude tant au niveau de la décharge qu'au niveau du nouveau CET. Dans un second temps, on évaluera le potentiel énergétique de ces déchets ménagers par le biais de recherches documentaires, collectes de données, enquêtes sur le terrain, calculs à partir de méthodologies éprouvées (GIEC, etc.). La dernière partie du mémoire sera dédiée aux discussions et analyses liées aux différents résultats de nos travaux. Les questions de faisabilité technique des solutions proposées, d'impact de ces potentielles quantités d'énergies sur le plan de production électrique en Côte d'Ivoire y seront abordées ainsi que les éventuelles économies financières réalisées. Ces développements permettront à terme de bien comprendre la valorisation énergétique des déchets et ses enjeux afin de mieux cerner l'opportunité d'y investir.

II. OBJECTIFS DU TRAVAIL

La présente étude a pour objectif principal de fournir des éléments permettant d'aborder les questions afférentes à la valorisation énergétique par méthanisation des déchets ménagers de la décharge d'Akouédo et de ceux du futur CET. Il est bien utile de noter que notre projet d'étude porte sur l'évaluation du potentiel énergétique des déchets ménagers au travers du biogaz qu'ils génèrent et non sur l'étude de faisabilité détaillée de mise en œuvre des technologies de valorisation énergétique par le biais de la voie de méthanisation. L'objectif final sera de fournir au gouvernement ivoirien un outil permettant d'émettre un avis sur l'introduction des technologies de valorisation énergétique par méthanisation des déchets ménagers dans le district d'Abidjan.

L'objet détaillé de cette étude est :

- d'évaluer le gisement des déchets ménagers de la décharge d'Akouédo et du CET;
- d'identifier les différents procédés pouvant être utilisés pour la valorisation des déchets ménagers par méthanisation ;
- d'estimer le potentiel énergétique des déchets ménagers à partir de ces procédés ;
- d'estimer les potentielles économies financières réalisées par cette valorisation énergétique.

III. MATERIELS ET METHODES

La méthodologie de travail, sur laquelle s'est basée cette étude, à consister à :

- effectuer une recherche documentaire à partir d'Internet portant sur les informations relatives à la valorisation des déchets au niveau national et des expériences en la matière au niveau régional et mondial ;
- réaliser une collecte de données relative aux études et statistiques disponibles dans le domaine de la gestion des déchets ;
- mener une enquête de terrain sur le site de la décharge d'Akouédo ;
- définir les hypothèses de travail retenues ;
- présenter les méthodes de calcul utilisées ;
- évaluer le potentiel énergétique des déchets ménagers par voie de méthanisation selon les différents procédés retenus.

3.1. Recherche documentaire

Les premières actions menées dans le cadre de la réalisation de ce mémoire ont consisté à la recherche documentaire portant sur les projets de valorisation énergétique des déchets à partir des moteurs de recherche Google, Google Scholar, etc.⁷ Le site Internet dédié à la publication de revues scientifiques ScienceDirect⁸ a été aussi d'un apport non négligeable. Ces différentes informations collectées, nous ont permis de déceler les orientations et expériences au niveau régional et international en la matière. Les principales informations collectées provenaient du site Internet de l'UNFCCC⁹ et portaient sur le Document Descriptif de Projet (DDP) des projets de valorisation des déchets ménagers à Abidjan des promoteurs ivoiriens respectifs SITRADE et ADERCI.

Concernant les données démographiques, nous avons noté que le dernier recensement de la population de la Côte d'Ivoire, qui a eu lieu en 1998, indiquait 2.877.948 habitants pour la ville d'Abidjan. La population du district d'Abidjan est actuellement estimée entre 4 et 5 millions d'habitants, dont 92 % au sein des 10 communes d'Abidjan ville (10 communes avec des quartiers périphériques denses et de nouveaux quartiers dépourvus au Sud), le reste de la population étant reparti entre les trois autres communes, à savoir Anyama, Bingerville et Songon (DGSCV, 2010).

⁷ http://fr.wikipedia.org/wiki/Ordures_m%C3%A9nag%C3%A8res, <http://www.ville.gouv.ci/anasur.php>, <http://www.energie-plus.com/news/fullstory.php/aid/176>, <http://www.fnh.org/naturoscope/Energie/Valdechets/Valdech9.htm>

⁸ <http://www.sciencedirect.com/>

⁹ <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/Germanischer1288271609.77/view>, <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1222949156.26/view>

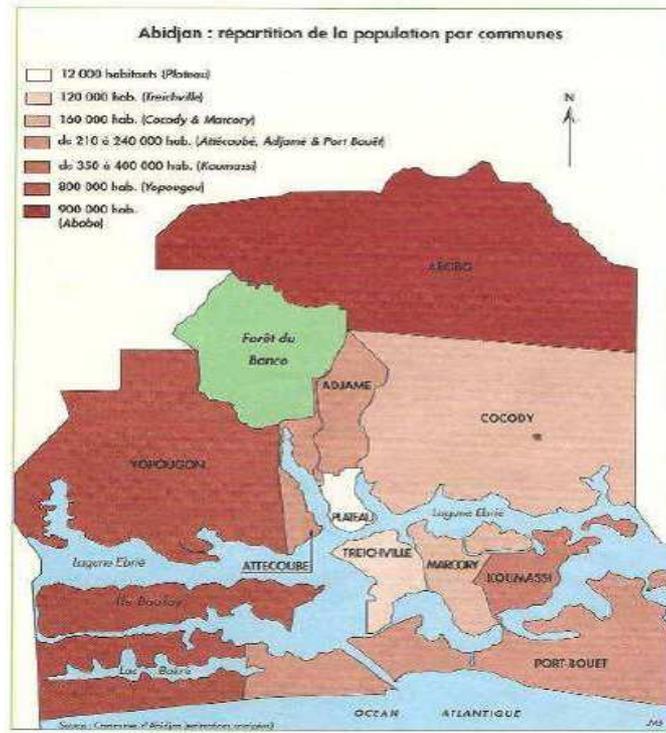


Fig.1. Plan et population des communes du district d'Abidjan.

En terme de croissance, l'analyse des données des trois derniers recensements réalisés en Côte d'Ivoire pour la ville et le district d'Abidjan nous mène à considérer les taux moyens de croissance annuelle suivants :

- 1975 – 1988 : 6 % (officiel INS)
- 1988 – 1998 : 3,5 % (officiel INS)
- 1988 – 2002 : 3,5%
- 2002 – 2015 : 3%.

Les prévisions prévoient à l'horizon 2015, une population d'environ 4.748.000 habitants pour le district d'Abidjan (Cf. *Annexe 1 : Projection démographique du district d'Abidjan de 1975 à 2020*).

3.2. Collecte de données

La collecte de données s'est opérée auprès de plusieurs acteurs du secteur de la salubrité en Côte d'Ivoire notamment l'ANASUR, la MACOM et la direction de l'environnement du district d'Abidjan. Elle nous a permis d'obtenir les informations suivantes :

- l'historique de la gestion des déchets en Côte d'Ivoire ;
- le code de l'environnement en vigueur en Côte d'Ivoire ;
- le plan national de salubrité urbaine ;
- le plan de situation topographique de la décharge d'Akouédo ;
- les données démographiques du district d'Abidjan de 1975 à 2020 ;

- les paramètres statistiques de la gestion des ordures ménagères dans le district d'Abidjan en 2007 (production, quantité collectée/jour, taux d'enlèvement, coût du traitement par tonne, etc.) ;
- l'historique du tonnage net d'ordures ménagères collectées dans la commune puis le district d'Abidjan de 1965 à 2010 ;
- l'étude de caractérisation des déchets urbains du district d'Abidjan (2010) ;
- les cadres juridique, financier et institutionnel ainsi que le diagnostic du système actuel de gestion des déchets du district d'Abidjan ;
- les coûts de prestation du traitement des déchets (pré-collecte, collecte, transport, balayage des voies, curage des caniveaux, mise en décharge) ;
- la liste des prestataires du secteur de la salubrité dans le district d'Abidjan.

3.3. Visite du site de la décharge d'Akouédo

A l'origine, le site de la décharge appartenait coutumièrement à la communauté villageoise d'Akouédo. Il est devenu dans le plan directeur d'Abidjan une réserve administrative à caractère spécifique de propriété de l'Etat. La décharge d'Akouédo est située précisément à 16 km du centre-ville d'Abidjan, à 0,6 km au sud de la route nationale 105 sur l'axe Abidjan – Bingerville (coordonnées géographiques : 5°21'05.76"N, 3°56'12.76"W). Elle est constituée par un ravin naturel qui s'étend du nord au sud, sur 153 hectares de surface et 25 mètres de profondeur en moyenne (*Cf. Annexe 2 : Plan de situation topographique de la décharge d'Akouédo*). Mise en exploitation depuis 1965, cette décharge est aujourd'hui utilisée sur près de 80% de sa superficie totale et les déchets y sont accumulés sur plus de 20 m de profondeur. La mauvaise exploitation des alvéoles a réduit la durée de vie de cette décharge qui a atteint son niveau de saturation.

Cette décharge, gérée par l'entreprise PISA IMPEX depuis 2004, reçoit tous les types de déchets à savoir les ordures ménagères et assimilés, les déchets biomédicaux et les déchets industriels. Ces déchets créent des nuisances aux riverains. Le déversement des déchets toxiques en août 2006 dans cette décharge en témoigne¹⁰. Ceci explique les fermetures intempestives et répétées de cette décharge par les populations riveraines. La lagune Ebrié située au Sud reçoit les eaux résiduaires (lixiviats) provenant de la décharge d'Akouédo.

Pour toutes ces raisons, un protocole d'accord a été signé entre l'Etat ivoirien et les autorités du village d'Akouédo à la date du 05 novembre 2007. Il prévoyait la fermeture définitive de la décharge en avril 2010, mais suite à la crise militaro-politique qu'a connu la

¹⁰ Affaire PROBO KOALA : Déversement illicite de déchets toxiques (slops de navire) sur le territoire ivoirien.
http://fr.wikipedia.org/wiki/Trafigura#L.27affaire_du_Probo_Koala

Côte d'Ivoire, cette échéance est maintenant repoussée à décembre 2012. Cependant, avant l'atteinte de cette nouvelle échéance, le choix d'un site pour la construction d'un nouveau CET s'impose à l'Etat.



Fig.2. Vue aérienne du site d'Akouédo dans le district d'Abidjan.

La visite du site de la décharge d'Akouédo, opérée dans le courant du mois de septembre 2011, nous a permis de cerner la gestion pratique des déchets par les prestataires formels et informels sur le site. Nous notons aussi que les déchets ménagers après être pesés par les services de l'ANASUR sont convoyés sur le site de la décharge par les entreprises de collecte ; puis sont reçus, régalez, compactés et recouverts d'un matériau inerte par le biais de la société PISA IMPEX en charge de la mise en décharge. Il ressort de cette enquête terrain que la décharge est sujette à des émissions réelles de méthane dans l'atmosphère malgré les opérations de la société PISA IMPEX (*le méthane est un gaz inodore, mais le biogaz a une odeur assez caractéristique de soufre*).



Fig.3. Quelques photographies du site de la décharge d'Akouédo.

3.4. Hypothèses de travail

3.4.1. Quantité de déchets disponibles

Selon les dernières décisions prises par les autorités ivoiriennes, la décharge d'Akouédo sera fermée pour exploitation au plus tard en décembre 2012, suivra ensuite une phase de réhabilitation du site. La quantité totale de déchets stockés sur le site de la décharge atteindrait environ 32 millions de tonnes¹¹.

Concernant le futur CET, la quantité de substrat (déchets à introduire dans les digesteurs) disponible sur site pour la période de l'étude sera déterminée à partir de plusieurs hypothèses sur le taux de croissance démographique, la production spécifique de déchet par habitant, le taux de collecte des déchets, etc. Les données utilisées proviennent d'études antérieures¹² et sont consignées dans le tableau 7 : Estimation du substrat quotidiennement disponible de 2013 à 2025.

3.4.2. Choix des procédés de valorisation

Le procédé de la méthanisation peut s'opérer dans des biodigesteurs ou tout simplement en captant et valorisant le biogaz naturellement généré par les déchets de la décharge¹³. Les procédés biochimiques basés sur la valorisation du méthane issu de la décomposition des déchets, sont des process moins complexes à conduire. En revanche, les quantités de déchets qu'ils permettent de valoriser sont moins importantes que celles des procédés thermochimiques. Aussi, même si les procédés biochimiques permettent de valoriser les résidus du process (compostage), il n'en demeure pas moins que ces procédés du fait des réactions biologiques dégagent des odeurs très souvent nauséabondes.¹⁴

La communauté villageoise et les populations riveraines de la décharge d'Akouédo ont maintes fois exprimé des plaintes à l'endroit des autorités ivoiriennes relativement aux effets néfastes de l'exploitation de la décharge (déversement de déchets toxiques, odeurs nauséabondes, prolifération des parasites, etc.). En considération de ces raisons, raisons ayant poussé le gouvernement ivoirien à prendre la décision de fermeture et de réhabilitation de la décharge d'Akouédo, nous opterons dans cette étude pour une valorisation énergétique des déchets de la décharge d'Akouédo par captation et combustion du biogaz dans des moteurs à gaz pour la production d'énergie électrique.

¹¹ ADERCI, *CDM-PDD version 2 : Landfill Gas Recovery and Flaring Project in Akouedo*, Ivory Coast, Abidjan, septembre 2009, 43 p.

¹² BURGEAP, *Rapport final provisoire : Etude stratégique pour la gestion des déchets solides dans le district d'Abidjan*, Abidjan, 2011, p.12

¹³ J. Blin, Y. Richardson et P. Tatsidjodoung, *Cours Biomasse Energie : Master en énergie_Formation à distance*, Ouagadougou, Cirad/2iE, 2010, 120 p.

¹⁴ A. Canto, *Méthane, Déchets : les odeurs asphyxieront-elles la méthanisation*, Paris, Environnement Magazine N° 1696, Paris, novembre 2010, p. 50 – 51.

En sus, l'Etat ivoirien prévoit de construire et de mettre en service un nouveau CET à partir de l'année 2013 (la décharge d'Akouédo devant être fermée). Ce CET qui recevra la totalité des déchets produits et collectés dans le district d'Abidjan, sera doté d'un centre de tri qui permettra une valorisation matière des déchets (recyclage, etc.). De ce tri, pourront être extraits les déchets biodégradables en vue d'une valorisation énergétique. Le procédé de valorisation énergétique de cette quantité de déchets ménagers sera la méthanisation anaérobie à l'aide de digesteurs.

3.4.3. Période retenue pour l'étude

Généralement, une décharge de déchets peut produire du biogaz sur une période de 15 à 20 ans. Pour mieux évaluer le potentiel énergétique des déchets ménagers stockés sur le site de la décharge d'Akouédo ou qui le seront sur le site du nouveau CET, nous convenons de limiter notre étude à la période allant de 2013 à l'horizon 2025.

3.4.4. Choix de l'unité de production d'électricité

Dans le cadre de cette étude, nous adopterons que l'unité de production d'électricité sera un groupe de cogénération comprenant un moteur à gaz (100%) accouplé à un alternateur. Les principales caractéristiques techniques de ce groupe de cogénération sont :

- Rendement électrique : 35%
- Gamme de puissance : 30 à 3000 kW el.
- Taux de disponibilité : 96%
- Combustible : biogaz
- Combustible de substitution : gaz naturel.



Fig.4. Photographies de groupes de cogénération au biogaz (SOLAGRO, GE Jenbacher).

3.5. Méthodes de calcul utilisées

3.5.1. Méthode d'évaluation du biogaz valorisable à partir de la décharge d'Akouédo

La décomposition anaérobie des déchets organiques stockés sur les sites de décharge de déchets solides produit des émissions de méthane (CH₄). Les déchets organiques se décomposent à une vitesse décroissante et leur décomposition complète n'est obtenue qu'au terme de nombreuses années. Plusieurs méthodes plus ou moins fiables sont actuellement employées pour estimer ces quantités d'émissions de méthane pouvant être captées pour valorisation.

La méthode la moins précise est celle basée sur la formule empirique d'évaluation d'émission de méthane (référence). Celle-ci stipule qu'environ 53% du carbone disponible dans les déchets sont transformés en méthane (la quantité est réduite si la biomasse microbienne n'est pas prise en compte). Cette méthode permet d'évaluer à 263 m³ la production de méthane par tonne de déchets municipaux humides.

Les lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre (version révisée 1996)¹⁵ décrivent deux méthodes d'estimation des émissions de CH₄ provenant des sites de décharge de déchets solides, à savoir, la méthode par défaut (Niveau 1) et la méthode de Décomposition de Premier Ordre ou méthode DPO (Niveau 2). Les deux méthodes se différencient essentiellement par le fait que la méthode DPO produit un profil d'émissions temporel qui reflète mieux la structure du processus de dégradation dans le temps, alors que la méthode par défaut utilise l'hypothèse de l'émission de la totalité du CH₄ potentiel pendant l'année d'élimination des déchets.

La méthode que nous retenons dans le cadre de cette étude pour l'évaluation de la quantité de méthane valorisable sur le site de la décharge d'Akouédo, est celle de la DPO (Cf. Annexe 3). Celle-ci peut-être exprimée par l'équation (Eq. 1) ci-dessous :

$$\text{CH}_4 \text{ émis pendant l'année } t \text{ (Gg)} = \sum_x [(A * k * \text{DSM}_T(x) * \text{DSM}_F(x) * L_0(x)) * e^{-k(t-x)}] \quad (\text{Eq. 1})$$

Où :

- t : année de l'inventaire
- x : année initiale jusqu'à t
- t - x : facteur de normalisation qui corrige le fait que l'évaluation pour une année individuelle est une estimation temporelle discrète et non une estimation temporelle continue
- A = (1 - e^{-k})/k ; coefficient de normalisation corrigeant la somme
- k : constante de taux d'émission de méthane (1/an)
- DSM_T(x) : total des déchets solides municipaux produits pendant l'année x (Gg/an)
- DSM_F(x) : fraction de DSM mis en décharge pendant l'année x (Gg/an)
- L₀(x) : potentiel d'émission de méthane.

¹⁵ Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), *Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre_Version révisée 1996*, J.T. Houghton et al., GIEC/OCDE/AIE, Paris, France.

$$L_0(x) = FCM(x) * COD(x) * COD_F * F * 16/12 \text{ (Gg CH}_4\text{/Gg de déchets)} \quad (\text{Eq. 2})$$

Où :

- FCM (x) : facteur de correction de méthane pour l'année x (fraction)
 COD (x) : carbone organique dégradable (COD) pour l'année x (fraction) (Gg C/Gg de déchets)
 COD_F : fraction de COD libéré
 F : fraction par volume de CH₄ dans les gaz de décharge
 16/12 : facteur de conversion de C en CH₄.

La quantité de biogaz valorisable (QB_{V1}) sera déduite de la quantité des émissions de méthane à partir du taux moyen de concentration de méthane dans le biogaz et du taux de captage du biogaz de la décharge (puits de captage, etc.).

3.4.2. Méthode d'évaluation du biogaz valorisable à partir des digesteurs du CET

L'évaluation de quantité journalière de biogaz valorisable (QB_{V2}) en m³ produite par les digesteurs à installer sur le site du CET, sera donnée par la formule de calcul suivante :

$$QB_{V2} = QS * \%MS * \%MSV * P_m \quad (\text{Eq. 3})$$

Où :

- QS : quantité journalière de substrat (déchetts introduits dans le digesteur) en m³
 %MS : taux de matière sèche en % de poids frais du substrat après étuvage (105°C)
 %MSV : taux de matière sèche volatile en % de la quantité de MS après calcination au four (480°C).
 P_m : Potentiel méthanogène (m³ de biogaz/tonne de MSV).

IV. RESULTATS

4.1. Potentiel énergétique des déchets de la décharge d'Akouédo

4.1.1. Gisement de déchets

En 2010, le district d'Abidjan comptait environ 4 millions d'habitants. Cette population produisait des déchets (ordures ménagères, débris de balayage de marché/trottoir ou curage de caniveaux, déchets industriels, etc.) dont le flux journalier est évalué à 3.000 tonnes/jour. Selon les statistiques du district d'Abidjan (2007), on estime que 60% seulement de ces déchets sont collectés et mis en décharge¹⁶. Les déchets non collectés sont bien souvent déversés dans des dépotoirs sauvages ou tout simplement dans la lagune Ebrié.

Tab.1. Quantités de déchets collectés et mis en décharge par commune (2003 à 2010)

	Quantités de déchets collectés et mise en décharge par commune (tonnes)								Moyenne en 2007 (tonnes/jour)
	2003	2004	2005	2006	2007	2008*	2009	2010	
ABOBO	125 532	119 477	118 727	161 554	206 513	67 591	127 020	119 921	424
ADJAME	106 303	95 496	99 922	101 818	150 679	52 884	97 933	71 426	353
ANYAMA	17 906	4 835	16 284	20 987	18 843	8 437	7 460	2 725	114
ATTECOUBE	33 477	27 539	33 145	34 879	53 937	25 255	47 541	36 933	187
BINGERVILLE	17 306	8 563	9 800	10 128	13 074	9 234	16 968	3 548	77
COCODY	79 923	123 697	123 534	107 751	142 594	44 296	98 731	91 745	311
KOUMASSI	66 863	52 604	42 687	39 955	51 249	33 002	42 357	28 433	225
MARCORY	65 765	65 890	68 584	73 687	59 443	33 528	56 833	52 743	227
PLATEAU	11 223	6 910	9 415	13 876	7 728	5 300	5 944	7 909	59
PORT-BOUET	56 297	59 043	58 600	66 823	54 957	27 690	72 967	41 420	199
SONGON	2 295	167	1 464	3 885	416	2 595	12 108	3 448	58
TREICHVILLE	42 514	76 961	63 809	58 590	66 610	33 342	46 631	48 585	226
YOPOUGON	165 199	166 106	162 196	187 191	218 211	91 623	153 223	135 812	540
Abattoir	2 508	2 258	2 728	2 974	3 253	2 075	-	-	-
Branchages	28 996	7 707	35 704	14 106	360	88	-	-	-
Annulation					5 321				
TOTAL	822 107	817 253	846 599	898 204	1 042 546	436 940*	785 718	644 649	3 000

Sources : Direction de l'Environnement et de l'Hygiène du District d'Abidjan, ANASUR.

* Données partielles du fait de la fermeture de la décharge de septembre à décembre 2008.

¹⁶ Annexe 4 : Estimation du taux de collecte des déchets par le district d'Abidjan (2007)

En considérant les données de l'année 2010 (population : 4.100.000 habitants, quantité de déchets collectée : 644.649 tonnes, quantité potentielle de déchets produits : 1.000.000 tonnes), on déduit une *production spécifique de déchets d'environ 0,7 kg/jour/habitant*.

Les communes de Yopougon, Abobo, Cocody et Adjamé concentrent près de 65% des déchets collectés dans le district d'Abidjan. Cette observation est à mettre en relation avec les populations qu'elles regroupent. En effet, ces quatre communes concentrent près de 58% de la population du district d'Abidjan.

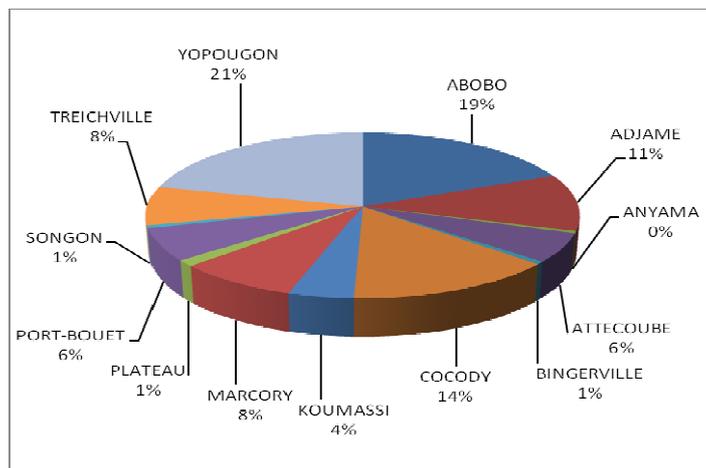


Fig.5. Répartition des quantités de déchets collectés et mis en décharge par commune (Chiffres 2010)

Concernant la décharge d'Akouédo, on estime qu'entre 1965 et 2010, un tonnage global d'environ 30 millions de tonnes de déchets¹⁷ a été déversé dans ce ravin à raison d'une utilisation de 80% de sa superficie totale. Ci-après, sont présentés les résultats d'une étude menée en mai 2010 par la MACOM relative à la caractérisation de ces déchets produits par les populations ivoiriennes et mis en décharge à Akouédo.

Tab.2. Composition des déchets produits par le district d'Abidjan selon le type d'habitat

Composante	Niveau du standing de l'habitat			Moyenne
	Bas	Moyen	Haut	
Organiques	59%	66%	65%	63%
Plastiques	8%	7%	11%	9%
Textiles	2%	4%	3%	3%
Papiers	6%	5%	9%	7%
Métaux	2%	1%	3%	2%
Verres	1%	1%	5%	2%
Matières inertes	22%	16%	4%	14%
TOTAL	100%	100%	100%	100%

¹⁷ Annexe 5 : Historique des quantités de déchets collectés et mis en décharge de 1965 à 2007

4.1.2. Quantité de biogaz valorisable

Les différents paramètres de calcul de l'équation 1, notamment le potentiel d'émission de méthane défini pour la décharge d'Akouédo ($L_0(x)$) a été estimé à partir des considérations fournies en Annexe 3 : La méthode de Décomposition de Premier Ordre ou méthode DPO.

Tab.3. Paramètres de calcul pour la résolution de l'équation 1

Paramètres	Valeur	Unité	Observations
x	1965	-	Année initiale (ouverture de la décharge)
t	-	-	Année de l'inventaire
k	0,05	an ⁻¹	Valeur par défaut du taux démission de méthane k pour une demi-vie d'environ 14 ans
A	0,975	-	Facteur de normalisation corrigeant la somme
DSM _T (x)	-	Gg/an	Production de déchets pendant l'année x
DSM _F (x)	-	%	Fraction de déchets mise en décharge pendant l'année x
FCM(x)	0,8	-	Facteur par défaut pour une décharge non contrôlée avec une profondeur de plus de 5m de déchets
COD(x)	0,21	-	Valeur par défaut
COD _F	0,77	-	Valeur par défaut
F	0,5	-	Fraction par volume de CH ₄ dans les gaz de décharge
L ₀ (x)*	0,086	Gg/an	Potentiel d'émission de méthane

Aussi, pour faciliter les calculs, nous convenons des facteurs de calculs suivants :

$$B = A * k * DSM(x) * L_0(x) \text{ avec } DSM(x) = DSM_T(x) * DSM_F(x).$$

DSM(x) est fournie par les données statistiques en annexe 5.

$$C = e^{-k(t-x)}$$

$$D = B * C.$$

Exemple : Année d'inventaire 2015

La quantité de méthane produit par la décharge équivaldra à la somme des quantités D de l'année initiale d'ouverture de la décharge (1965) à l'année de l'inventaire (2015). Les résultats obtenus des calculs, sont présentés au tableau 4 à la page suivante.

Tab.4. Quantité estimée de méthane produit par la décharge en 2015

Estimation de la quantité de CH₄ produit par la décharge d'Akouédo selon la méthode DPO

Année de l'inventaire (t) **2015** QCH₄ = Quantité de CH₄ émise (Gg) **42,12**

	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
k	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
A	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
DSM (x)	145,62	150,00	159,11	162,00	170,00	175,90	190,00	204,00	215,34	227,90	260,69	279,12	302,14
L ₀ (x)	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
B = A * k * DSM (x) * L ₀ (x)	0,61	0,63	0,67	0,68	0,72	0,74	0,80	0,86	0,91	0,96	1,10	1,17	1,27
C = e ^{-3k(t-x)}	0,082	0,086	0,091	0,095	0,100	0,105	0,111	0,116	0,122	0,129	0,135	0,142	0,150
D = B * C	0,050	0,054	0,061	0,065	0,072	0,078	0,089	0,100	0,111	0,123	0,148	0,167	0,190

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
k	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
A	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
DSM (x)	300,00	299,50	325,35	405,93	400,00	350,00	344,05	408,23	423,92	430,23	481,51	482,27	452,44
L ₀ (x)	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
B = A * k * DSM (x) * L ₀ (x)	1,26	1,26	1,37	1,71	1,68	1,47	1,45	1,72	1,78	1,81	2,03	2,03	1,90
C = e ^{-3k(t-x)}	0,157	0,165	0,174	0,183	0,192	0,202	0,212	0,223	0,235	0,247	0,259	0,273	0,287
D = B * C	0,198	0,208	0,238	0,312	0,323	0,297	0,307	0,383	0,418	0,446	0,525	0,553	0,545

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
k	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
A	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
DSM (x)	450,00	441,97	436,23	508,84	555,24	633,07	600,00	592,88	795,76	712,78	708,72	702,79	822,10
L ₀ (x)	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
B = A * k * DSM (x) * L ₀ (x)	1,89	1,86	1,83	2,14	2,34	2,66	2,52	2,49	3,35	3,00	2,98	2,96	3,46
C = e ^{-3k(t-x)}	0,301	0,317	0,333	0,350	0,368	0,387	0,407	0,427	0,449	0,472	0,497	0,522	0,549
D = B * C	0,570	0,589	0,611	0,749	0,859	1,030	1,026	1,066	1,504	1,416	1,480	1,543	1,898

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
k	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
A	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
DSM (x)	817,25	846,59	898,20	1 042,54	436,94	785,71	644,64	800,00	1 000,00	0,00	0,00	0,00
L ₀ (x)	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
B = A * k * DSM (x) * L ₀ (x)	3,44	3,56	3,78	4,38	1,84	3,30	2,71	3,36	4,21	0,00	0,00	0,00
C = e ^{-3k(t-x)}	0,577	0,607	0,638	0,670	0,705	0,741	0,779	0,819	0,861	0,905	0,951	1,000
D = B * C	1,983	2,160	2,409	2,939	1,295	2,448	2,112	2,755	3,620	0,000	0,000	0,000
Σ D										42,12	42,12	42,12
Quantité de CH₄ émise (Gg)										46,55	44,28	42,12

*Les données DSM (x) des années 1978, 1982, 1983, 1991 et 1997 (jaunies dans le tableau) ont été estimées car ne figurant pas dans les archives consultées. Les données de 2011 et 2012 ont été aussi estimées relativement au vaste programme de salubrité actuellement mis en œuvre en Côte d'Ivoire.

Somme toute, les estimations de production de méthane de la décharge d'Akouédo entre 2013 et 2025 sont présentées au tableau 5 ci-après :

Tab.5. Quantités estimées de méthane produit par la décharge de 2013 à 2025

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
k	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
A	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
DSM (x)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L ₀ (x)	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
B = A * k * DSM(x) * L ₀ (x)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C = e ^{-k(t-x)}	1,000	1,051	1,105	1,162	1,221	1,284	1,350	1,419	1,492	1,568	1,649	1,733	1,822
D = B * C	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Quantité de CH ₄ émise (Gg)	46,55	44,28	42,12	40,07	38,11	36,26	34,49	32,81	31,21	29,68	28,24	26,86	25,55

4.1.3. Productible d'énergie électrique disponible

Le productible d'énergie électrique disponible à chacune des années de la période de l'étude, a pu être évalué à partir des hypothèses suivantes :

- Fraction par volume de CH₄ dans les gaz de décharge (F) = 50% ;
- Taux moyen de captage du biogaz = 40% ;
- PCI moyen du biogaz = 4,5 kWh/m³ ;
- Masse volumique du méthane = 0,67 kg/m³ ;
- Rendement électrique du moteur à gaz = 35% ;
- Taux de disponibilité des moteurs à gaz = 96%.

Le biogaz est généralement collecté par un réseau de canalisations de captage afin d'être valorisé. Une partie des gaz formés dans le massif peut cependant échapper au système de captage. Ainsi, le taux de captage des gaz dépend de nombreux facteurs propres à chaque installation. La pose et la protection des canalisations de captage, les conditions météorologiques, le fonctionnement des installations utilisant ou traitant les gaz captés, les performances d'étanchéité de la couverture du massif de déchets stockés, sont autant de facteurs ayant une influence déterminante sur le taux de captage du biogaz.

Dans le cadre de notre étude, le biogaz produit par la décharge sera récupéré à l'aide de puits judicieusement repartis sur toute la superficie de la décharge. En ce qui concerne la quantité récupérée, l'on considère que la couverture du massif de déchets stockés est imparfaite et que le biogaz la traverse. Le taux de captage moyen du biogaz en décharge est estimé à 40%¹⁸.

Les quantités estimées de biogaz capté et le productible disponible en énergie électrique de 2013 à 2025 sont présentées au tableau 6 à la page suivante.

L'on note qu'à la première année du processus de valorisation, la puissance électrique disponible pourrait avoisiner 10,5 MW pour un productible annuel de près de 84 GWh soit environ 1,4% de la production brute d'électricité de la Côte d'Ivoire égale à 5.876,7 GWh¹⁹ en 2010.

¹⁸ F. Nedey, *Méthane, CSR ... L'énergie cachée des déchets*, Paris, Environnement Magazine N° 1686, Paris, avril 2010, p. 50 – 57

¹⁹ Compagnie Ivoirienne d'Electricité (CIE) : Rapport annuel d'exploitation_Exercice 2010 du 25 février 2011

Tab.6. Estimation du productible électrique à partir du biogaz capté de la décharge d'Akouédo de 2013 à 2025

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Quantité de CH4 émise (Gg)	46,55	44,28	42,12	40,07	38,11	36,26	34,49	32,81	31,21	29,68	28,24	26,86	25,55
Masse volumique du méthane (kg/m³)	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Volume de méthane émis (m³)	69 483 227	66 094 490	62 871 024	59 804 768	56 888 055	54 113 592	51 474 441	48 964 003	46 576 000	44 304 462	42 143 708	40 088 335	38 133 204
Facteur F	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Volume de biogaz émis (m³)	138 966 454	132 188 980	125 742 048	119 609 536	113 776 110	108 227 183	102 948 881	97 928 005	93 152 000	88 608 923	84 287 415	80 176 669	76 266 407
Taux moyen de captage du biogaz (%)	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
Volume de biogaz capté (m³)	55 586 582	52 875 592	50 296 819	47 843 814	45 510 444	43 290 873	41 179 553	39 171 202	37 260 800	35 443 569	33 714 966	32 070 668	30 506 563
PCI moyen du biogaz (kWh/m³)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Quantité d'énergie disponible (kWh)	250 139 618	237 940 164	226 335 686	215 297 164	204 796 997	194 808 930	185 307 986	176 270 409	167 673 600	159 496 062	151 717 347	144 318 005	137 279 533
Rendement électrique du moteur à gaz (%)	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
Taux de disponibilité (%)	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%
Productible annuelle (GWh)	84	80	76	72	69	65	62	59	56	54	51	48	46
Puissance électrique disponible (kW)	10 411	9 903	9 420	8 960	8 523	8 108	7 712	7 336	6 978	6 638	6 314	6 006	5 713

4.1.4. Quantité d'émission de CO₂ évitée

Le but de ce projet de captage et de valorisation des gaz enfouis sur le site de la décharge d'Akouédo est d'éviter l'émission de méthane dans l'atmosphère ; gaz qui possède un Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) 26 fois supérieur à celui du CO₂. La version consolidée de la méthodologie ACM0001 version 11 issue de la CCNUCC est indiquée pour l'évaluation de la réduction des émissions de CO₂ du fait du projet, avec pour scénario de référence la libération totale des gaz de décharge dans l'atmosphère.

La quantité d'émission de CO₂ évitée (Q_{CO₂}) peut être déterminée par la formule ci-dessous :

$$Q_{CO_2} = [(Q_{CH_4Capt} - Q_{CH_4Echap}) * PRG_{CH_4}] - (Prod_{MotGaz} * FE_{Biogaz}) + (Prod_{TurbGaz} * FE_{GazNat})$$

Avec :

Q_{CO₂} : Quantité d'émission de CO₂ évitée (T_{eqCO₂})

Q_{CH₄Capt} : Quantité de CH₄ captée sur le site (T)

Q_{CH₄Echapt} : Quantité de CH₄ torchée ou dans les gaz d'échappement des moteurs à biogaz (T)

PRG_{CH₄} : Pouvoir de Réchauffement Global du méthane

Prod_{MotGaz} : Production électrique des moteurs à biogaz (kWh)

FE_{Biogaz} : Facteur d'émission du biogaz de décharge (T_{CO₂}/kWh)

Prod_{TurbGaz} : Production électrique des turbines à gaz sans le projet (kWh)

FE_{GazNat} : Facteur d'émission du gaz naturel combustible des turbines à gaz (T_{CO₂}/kWh).

Pour les calculs pratiques, Q_{CH₄Echapt} = 1% Q_{CH₄Capt} et Prod_{MotGaz} = Prod_{TurbGaz}, la première équation devient alors :

$$Q_{CO_2} = (0,99 * 26 * Q_{CH_4Capt}) + Prod_{MotGaz} (FE_{GazNat} - FE_{Biogaz})$$

Les calculs permettent d'estimer la quantité totale d'émission de CO₂ que le projet permettra d'éviter sur la période de 2013 à 2025 à 16.961.230 T_{eqCO₂}. Sachant que les projections du cours moyen annuel du CO₂ sur le marché carbone²⁰ sont comprises entre 9 et 15 euros/T_{eqCO₂}, ce projet permettrait de réaliser un supplément de chiffre d'affaire important s'il était enregistré comme projet MDP.

²⁰ Sources Tendances carbone : [EuropeanEmissionTradingSystemPeriodOnePriceHistory.png](#)

Tab.7. Quantité d'émission de CO₂ évitée de 2013 à 2025

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Volume de biogaz capté (m ³)	55 586 582	52 875 592	50 296 819	47 843 814	45 510 444	43 290 873	41 179 553	39 171 202	37 260 800	35 443 569	33 714 966	32 070 668	30 506 563
Masse volumique du biogaz (kg/m ³)	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
Quantité de biogaz capté (tonne)	67 260	63 979	60 859	57 891	55 068	52 382	49 827	47 397	45 086	42 887	40 795	38 806	36 913
Production électrique des moteurs à gaz (kWh)	8 404 691	7 994 790	7 604 879	7 233 985	6 881 179	6 545 580	6 226 348	5 922 686	5 633 833	5 359 068	5 097 703	4 849 085	4 612 592
Facteur d'émission du biogaz de décharge (keqCO ₂ /kWh)	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Facteur d'émission du gaz naturel (keqCO ₂ /kWh)	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206
Quantité de CO ₂ évitée (TeqCO ₂)	1 730 728	1 646 320	1 566 028	1 489 652	1 417 001	1 347 893	1 282 155	1 219 624	1 160 142	1 103 561	1 049 740	998 543	949 844

4.2. Potentiel énergétique des déchets du CET

4.2.1. Quantité de substrat disponible

A partir de 2013, la totalité des déchets produits dans le district d'Abidjan sera traitée sur le site d'un nouveau CET. Les déchets y seront triés puis valorisés (réutilisation, recyclage ou utilisation pour produire de l'énergie). Le tableau 7, ci-dessous, illustre les résultats de l'évaluation la quantité journalière de substrat disponible sur chacune des années de la période d'étude.

Tab.8. Estimation du substrat quotidiennement disponible de 2013 à 2025

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Population du district d'Abidjan (hab)	4 477 296	4 611 615	4 749 963	4 892 462	5 039 236	5 190 413
Taux de croissance démographique (%)	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Production spécifique de déchets (kg/jour/hab)	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Quantité annuelle de déchets produits (tonnes)	1 143 949	1 178 268	1 386 989	1 428 599	1 471 457	1 515 601
Taux de collecte (mise en décharge)	75%	75%	75%	75%	75%	80%
Quantité annuelle de déchets mise en décharge (tonnes)	857 962	883 701	1 040 242	1 071 449	1 103 593	1 212 480
Taux de matière organique (%)	63%	63%	63%	63%	63%	63%
Quantité annuelle de substrat disponible (tonnes)	540 516	556 731	655 352	675 013	695 263	763 863
Quantité journalière de substrat disponible (tonnes)	1 481	1 525	1 795	1 849	1 905	2 093

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Population du district d'Abidjan (hab)	5 346 125	5 506 509	5 671 704	5 841 856	6 017 111	6 197 625	6 383 553
Taux de croissance démographique (%)	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Production spécifique de déchets (kg/jour/hab)	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1
Quantité annuelle de déchets produits (tonnes)	1 561 069	1 808 888	1 863 155	1 919 050	1 976 621	2 035 920	2 329 997
Taux de collecte (mise en décharge)	80%	80%	80%	80%	85%	85%	85%
Quantité annuelle de déchets mise en décharge (tonnes)	1 248 855	1 447 111	1 490 524	1 535 240	1 680 128	1 730 532	1 980 497
Taux de matière organique (%)	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%
Quantité annuelle de substrat disponible (tonnes)	786 779	911 680	939 030	967 201	1 058 481	1 090 235	1 247 713
Quantité journalière de substrat disponible (tonnes)	2 156	2 498	2 573	2 650	2 900	2 987	3 418

4.2.2. Productible en énergie électrique disponible

Le productible en énergie électrique disponible à chacune des années de la période de l'étude, a pu être évalué à partir des hypothèses²¹ suivantes :

- Taux de récupération de matière organique (MO) après tri = 60% ;
- Taux de matière sèche (%MS) = 60% ;
- Taux de matière sèche volatile (%MSV) = 50% de la MS ;
- Potentiel méthanogène = 400 m³ de biogaz/t MSV;
- Rapport carbone/azote = 25 - 80 ;
- PCI moyen du biogaz (biogaz à 60% de méthane) = 5,96 kWh/m³ ;
- Rendement électrique du moteur à gaz = 35% ;
- Taux de disponibilité des moteurs à gaz = 96% ;
- Autoconsommation des installations = 10% énergie disponible après méthanisation.

Les quantités estimées de biogaz produit par les digesteurs et le productible disponible en énergie électrique de 2013 à 2025 sont présentées au tableau 8 à la page suivante.

L'on note qu'à la première année du processus de valorisation, la puissance électrique disponible pourrait avoisiner 8,7 MW pour un productible annuel de près de 70 GWh. En 2025, l'on estime que le productible aura pratiquement triplé et atteindra près de 162 GWh pour une puissance électrique disponible de 20 MW.

²¹ http://www.progeco-oi.org/fileadmin/template/main_fr/Publications/Gestion_des_dechets_solides/fiche_FR10_Pdf.pdf

Tab.9. Estimation du productible électrique à partir du biogaz produit par les digesteurs du CET de 2013 à 2025

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Quantité annuelle de substrat (t)	540 516	556 731	655 352	675 013	695 263	763 863	786 779	911 680	939 030	967 201	1 058 481	1 090 235	1 247 713
Taux de récupération de MO après tri (%)	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Quantité annuelle de substrat disponible (t)	324 310	334 039	393 211	405 008	417 158	458 318	472 067	547 008	563 418	580 321	635 088	654 141	748 628
%MS	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Masse MS (t)	194 586	200 423	235 927	243 005	250 295	274 991	283 240	328 205	338 051	348 192	381 053	392 485	449 177
%MSV (%MS)	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Masse MSV (t)	97 293	100 212	117 963	121 502	125 147	137 495	141 620	164 102	169 025	174 096	190 527	196 242	224 588
Pm (m ³ /t MSV)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Volume de biogaz (m ³)	38 917 148	40 084 663	47 185 375	48 600 936	50 058 964	54 998 115	56 648 059	65 640 938	67 610 166	69 638 471	76 210 602	78 496 920	89 835 364
PCI moyen du biogaz (kWh/m ³)	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96
Quantité d'énergie disponible (kWh)	231 946 205	238 904 591	281 224 833	289 661 578	298 351 425	327 788 766	337 622 429	391 219 989	402 956 589	415 045 287	454 215 186	467 841 641	535 418 767
Autoconsommation (kWh)	23 194 620	23 890 459	28 122 483	28 966 158	29 835 143	32 778 877	33 762 243	39 121 999	40 295 659	41 504 529	45 421 519	46 784 164	53 541 877
Quantité d'énergie valorisable (kWh)	208 751 584	215 014 132	253 102 350	260 695 420	268 516 283	295 009 889	303 860 186	352 097 990	362 660 930	373 540 758	408 793 667	421 057 477	481 876 890
Rendement électrique du moteur à gaz (%)	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
Taux de disponibilité (%)	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%	96%
Productible annuelle (GWh)	70	72	85	88	90	99	102	118	122	126	137	141	162
Puissance électrique disponible (kW)	8 688	8 949	10 534	10 850	11 175	12 278	12 646	14 654	15 094	15 546	17 014	17 524	20 055

4.2.3. Quantité d'émission de CO₂ évitée

La version consolidée de la méthodologie AM0025 version 10.5 issue de la CCNUCC est indiquée pour l'évaluation des émissions de méthane évitées partir de déchets organiques par le biais du processus de traitement des déchets par voies alternatives. Le scénario de référence consiste en l'émission du méthane dans l'atmosphère issu des ordures stockées sur le site de la décharge d'Akouédo qui restera en service.

La quantité d'émission de CO₂ évitée (Q_{CO2}) peut être déterminée par la formule ci-dessous :

$$Q_{CO_2} = (Q_{CH_4Ref} - Q_{CH_4CET} - Q_{CH_4Fuites}) * PRG_{CH_4}$$

Avec :

Q_{CO₂} : Quantité d'émission de CO₂ évitée (T_{eqCO₂})

Q_{CH₄Ref} : Quantité de CH₄ émise par la décharge d'Akouédo en service (T)

Q_{CH₄CET} : Quantité de CH₄ émise par le futur CET (T)

PRG_{CH₄} : Pouvoir de Réchauffement Global du méthane.

Les calculs permettant d'estimer la quantité totale d'émission de CO₂ que le projet permettra d'évitée sur la période de 2013 à 2025 nécessitent des données ne pouvant être définies que par une étude détaillée plus précise. Au cours de nos recherches, nous n'avons pu évaluer ces données du fait des incertitudes énormes liées à la détermination des paramètres utiles aux calculs des émissions sur le site du CET (production électrique, digestion anaérobie, traitement des boues résiduelles, etc.) et celles des fuites (transports des ordures, etc.).

V. DISCUSSIONS ET ANALYSES

5.1. Productible d'énergie à partir du biogaz produit par les déchets ménagers

De 2013 à 2025, la valorisation énergétique par méthanisation des déchets du district d'Abidjan fournira globalement près de 2.237 GWh au réseau électrique ivoirien. Le productible annuel représentera près de 2% de la production brute annuelle d'électricité en Côte d'Ivoire sur la période de l'étude²². Le procédé de méthanisation à l'aide de digesteurs sur le site du CET fournira près des 2/3 de ce productible d'énergie. En effet, au cours des années, le productible d'énergie du biogaz issu des déchets d'Akouédo aura tendance à baisser à raison de 4,9%/année de sa valeur. Par contre, le productible d'énergie du biogaz issu des déchets du CET aura plutôt une tendance à la hausse à raison d'un taux de croissance moyen de 7,4%/année.

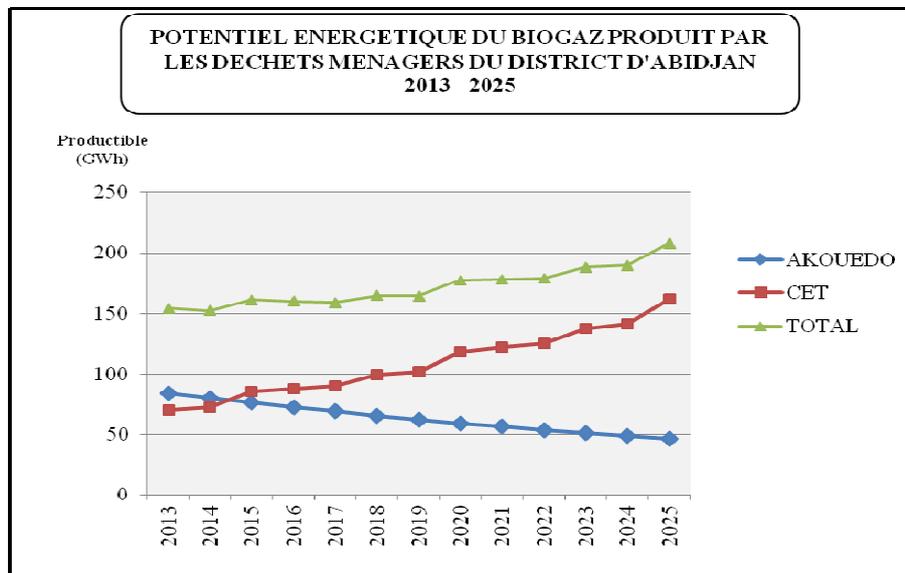


Fig.6. Estimation du productible électrique à partir du biogaz issu des déchets ménagers du district d'Abidjan de 2013 à 2025

5.2. Impact de la valorisation énergétique des déchets sur la consommation en gaz naturel des unités de production

Le mix énergétique du parc de production électrique en Côte d'Ivoire est dominé par les centrales thermiques (70%) et les centrales hydroélectriques (30%). En effet, la production brute d'électricité en 2010 a atteint 5.876,7 GWh²³ dont 4.258,3 de source thermique (72%) et 1.618,4 GWh (28%) de source hydraulique. Le combustible essentiellement utilisé pour le fonctionnement des centrales thermiques est le gaz naturel. En 2010, le secteur de la production électrique a consommé une quantité de 1.342.000.000 m³ de gaz naturel pour un engagement financier du secteur de l'électricité de l'ordre de 171.799.300.000 Fcfa soit un

²² Prévision de demande d'électricité 2011-2031_Starenergie 2073, Business Plan-Centrale thermique à cycle combiné, version juin 2011

²³ Compagnie Ivoirienne d'Electricité (CIE) : Rapport annuel d'exploitation 2010.

coût moyen de 128 Fcfa/m³ de gaz naturel. Les négociations actuellement en cours entre l'Etat ivoirien et les producteurs de gaz naturel, pourraient permettre de baisser ce coût moyen à 6\$/MBTU soit 105 Fcfa/m³ à partir de 2013.

La différence des différents pouvoirs calorifiques des deux gaz $PCI_{\text{gaznat}} = 10,5$ kWh/m³ et $PCI_{\text{moybiogaz}} = 5,4$ kcal/m³, permet d'établir (à quantité d'énergie produite égale) le rapport de conversion suivant : 1 m³ de gaz naturel \approx 2 m³ de biogaz.

Nonobstant les coûts intermédiaires liés à la production, au stockage et au transport de ces deux combustibles vers les unités de production, nous avons évalué l'économie financière générée par l'utilisation du biogaz en substitution du gaz naturel à près de 70 milliards de francs CFA sur la période de 2013 à 2025.

Tab.10. Estimation de l'économie financière générée par la baisse de la facture de consommation en gaz naturel

	Quantité de biogaz produit (m ³)	Productible (GWh)	Quantité de gaz naturel nécessaire (m ³)	Coût moyen du gaz naturel (FCFA/m ³)	Economie réalisée (MFCFA)
2013	94 503 730	154	47 251 865	105	4 961
2014	92 960 255	152	46 480 128	105	4 880
2015	97 482 194	161	48 741 097	105	5 118
2016	96 444 750	160	48 222 375	105	5 063
2017	95 569 408	159	47 784 704	105	5 017
2018	98 288 988	165	49 144 494	105	5 160
2019	97 827 611	164	48 913 806	105	5 136
2020	104 812 140	178	52 406 070	105	5 503
2021	104 870 966	178	52 435 483	105	5 506
2022	105 082 040	179	52 541 020	105	5 517
2023	109 925 568	188	54 962 784	105	5 771
2024	110 567 587	190	55 283 794	105	5 805
2025	120 341 926	208	60 170 963	105	6 318
TOTAL	1 328 677 164	2 237	664 338 582	105	69 756

5.3. Faisabilité technique des procédés de valorisation énergétique proposés

Comme mentionné dans les objectifs de cette étude, il ne s'agit pas de mener une étude de faisabilité détaillée de mise en œuvre des procédés proposés. Cette étude pourra faire l'objet d'autres écrits. Néanmoins, il importe de préciser les conditions de faisabilité technique desdits procédés de valorisation.

5.3.1. Unité de valorisation du biogaz de la décharge d'Akouédo

Le biogaz de décharge a la particularité de contenir de l'air car les systèmes de captage de gaz ne sont pas conçus pour éviter les entrées d'air dans le réseau. Pour qu'il soit valorisé, son épuration doit être renforcée. En outre, des adaptations spécifiques sont généralement requises du fait de ses caractéristiques (pouvoir corrosif, présence de sulfures et siloxanes). Dans tous les cas, le biogaz doit être épuré pour enlever, a minima, l'eau et le soufre. Pour l'injecter sur le réseau gaz ou produire de l'électricité, il faudra affiner le traitement. Le système de captage et d'épuration du biogaz devra être assez performant.



Fig.7. Vues d'installations de captage et d'épuration de biogaz sur des décharges.

Lorsque la valorisation du biogaz n'est pas possible, brûler le biogaz et donc le méthane qu'il contient plutôt que de le rejeter à l'atmosphère est une "obligation écologique". Pour se faire, il est nécessaire de prévoir une torchère sur le site de la décharge. La torchère est l'un des éléments qui assurera la sécurité de notre installation de valorisation du biogaz. Elle la protégera en cas de : surproduction de biogaz, arrêt nécessaire ou imprévu des consommateurs alimentés par le biogaz notamment le moteur à biogaz.

Les rejets (fumées d'échappement) des moteurs à gaz utilisés devront être le moins possible polluants pour l'atmosphère. Aussi, on veillera à maintenir un excès de production de biogaz par rapport à la consommation du procédé, de façon à garantir une alimentation normale des chambres de combustion des moteurs. L'évacuation de l'énergie électrique produite par l'unité sera facilitée par la proximité du poste de transformation 225/90/15 kV de la Riviera distant de seulement 2 km de la décharge d'Akouédo.

5.3.2. Unité de valorisation du biogaz du nouveau CET

A l'horizon de 2025, l'unité de valorisation de biogaz du nouveau CET sera amené à traiter près de 3.400 tonnes de substrat par jour. En considérant que les déchets ménagers ont une masse volumique moyenne²⁴ de 250 kg/m³, l'on obtient un volume moyen de 13.600 m³ de substrat à traiter quotidiennement par le biais des biodigesteurs. La quantité de substrat disponible est tributaire du processus de triage en début de chaîne de traitement. Les conditions opératoires dudit triage devront permettre outre la valorisation matière des déchets, d'obtenir un taux moyen de récupération des déchets fermentescibles (50 à 70% du volume initial des déchets mise en décharge).

Le Temps de Rétention Hydraulique (TRH) ou temps de séjour moyen du substrat est le principal paramètre de dimensionnement des digesteurs. Pour un TRH moyen de 20 jours, il conviendrait de disposer d'un volume utile minimum de 13.600 m³/jour pour les biodigesteurs²⁵. Au vu des contraintes mécaniques (hauteur, diamètre, résistance des matériaux, etc.), plusieurs biodigesteurs seront nécessaires. Cependant, leur nombre pourra être optimisé par l'utilisation du procédé de chargement séquentiel (batch), procédé qui présente l'intérêt d'avoir un TRH plus court que celui des protocoles en flux continu, et d'être plus facile à maîtriser. Notamment en cas de dysfonctionnement d'une unité de production où l'on pourra continuer le traitement des déchets avec les autres disponibles.

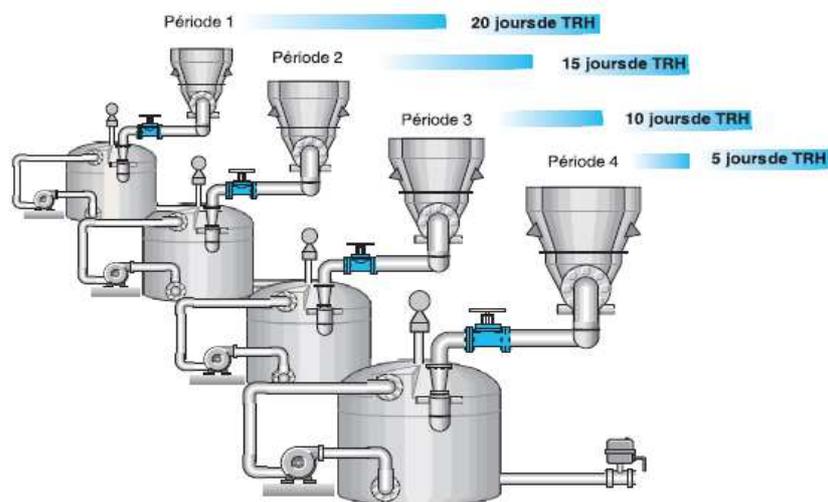


Fig.8. Série de biodigesteurs à chargement séquentiel (batch)

²⁴ <http://www.reglementation-environnement.com/resultat.php?numero=20345&code=547aaa6a7209d1f61ed9386ed6a6f425>

²⁵ $Vol_{dig} = Q_i \times TRH$

Le stockage du biogaz produit s'effectuera à pression atmosphérique en général ; à cette pression, il occupe très rapidement un grand volume. Il conviendrait de prévoir, à cet effet, d'un gazomètre (à cloche ou en membrane souple) pour son stockage.

La fraction solide résultant du process (digestat) devra aussi être stockée dans une fosse couverte pour la conservation de l'azote et la récupération du méthane résiduel. Elle pourra être valorisée agronomiquement au travers de l'épandage de celle-ci dans les exploitations agricoles. Une torchère sera aussi prévue pour la combustion de la quantité excédentaire de biogaz.

Somme toute, cette unité de valorisation qui devrait se situer à proximité d'un réseau électrique existant pour faciliter l'évacuation de l'énergie, pourrait avoir la configuration suivante :

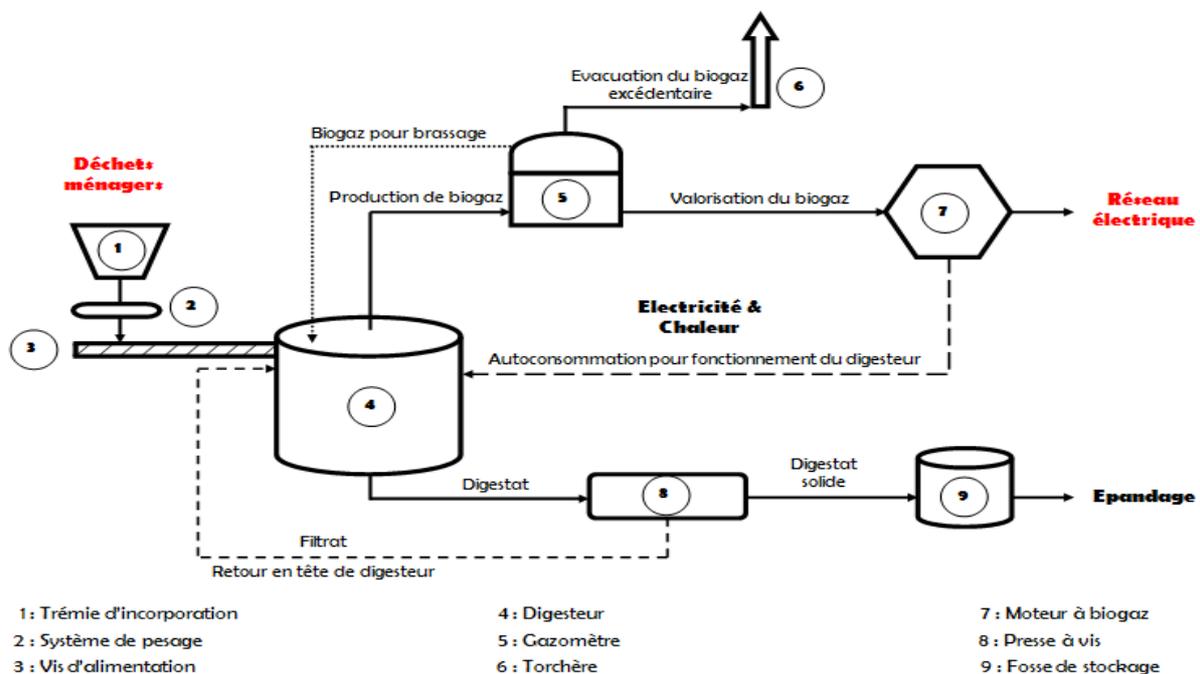


Fig.9. Schéma de principe de l'unité de valorisation proposée

5.4. Comparaison aux projets similaires de valorisation énergétique des déchets

A priori, l'économie financière de 70 milliards de FCFA sur la facture de consommation en gaz naturel que permettrait de réaliser l'utilisation du biogaz des déchets ménagers de 2013 à 2025, augure d'une forte rentabilité de ce projet de valorisation au vu des coûts globaux des autres projets similaires actuellement élaborés en Côte d'Ivoire²⁶ qui nécessitent des investissements de près de 10 milliards de francs CFA. Les études de faisabilité technique, économique et financière permettront ultérieurement de vérifier la rentabilité réelle de ce projet de valorisation énergétique par méthanisation des déchets ménagers.

²⁶ DDP_Projets SITRADE (coût total : 6,2 milliards FCFA) et ADERCI (coût total : 4 milliards FCFA)

L'intérêt des projets de valorisation par méthanisation des déchets ménagers subsisterait aussi dans la vente des URCEs liés au marché carbone et dans celui du service public accompli parallèlement. En effet, pour l'Etat ivoirien, une meilleure gestion de la salubrité dans le district d'Abidjan ne pourrait être tributaire d'une quelconque rentabilité financière car c'est pour le citoyen un droit de disposer d'un environnement sain et approprié à la vie en cité²⁷.

Les résultats obtenus dans cette étude sont compatibles à ceux fournis par les promoteurs des projets de valorisation des déchets à savoir les sociétés SITRADE et ADERCI. Cette étude, qui pourrait de fait représenter un rapport contradictoire, démontre une fois de plus les avantages liés à la valorisation par méthanisation des déchets ménagers notamment pour le district d'Abidjan.

²⁷ Discours du Ministre ivoirien de la Ville et de la Salubrité Urbaine M. Mel Eg Théodore sur la Politique générale de salubrité en Côte d'Ivoire (2008)

VI. CONCLUSION

Ce projet d'étude portait sur l'évaluation du potentiel énergétique des déchets ménagers du district d'Abidjan au travers du biogaz qu'ils pourraient générer. Les procédés de valorisation envisagés étaient la captation du biogaz naturellement produit par les déchets en décharge et la méthanisation desdits déchets à l'aide de biodigesteurs ; le biogaz récupéré étant utilisé comme combustible dans des moteurs à biogaz pour la production d'énergie électrique.

Pour mener à bien cette étude, la méthodologie adoptée consistait aux évaluations du gisement de déchets susceptibles d'être valorisés sur la période de l'étude (2013-2025), de la quantité de biogaz pouvant être générée et valorisée et du productible d'énergie électrique à réaliser par la valorisation du biogaz dans des moteurs à gaz. Les hypothèses adoptées pour les calculs résultaient de la littérature scientifique, d'étude de cas similaires et de normes internationalement adoptées.

Au terme de l'étude, l'on note qu'avec la fermeture de la décharge d'Akouédo en 2012 et la mise en service d'un nouveau CET, il est possible de récupérer et produire de 2013 à 2025 près de 1.329 millions de mètre cube de biogaz. Cette quantité permettra de produire sur la même période environ 2.237 GWh d'énergie électrique à partir de moteur à gaz. Le productible annuel d'énergie électrique réalisé à partir de la valorisation des déchets ménagers représentera près de 2% de la production brute annuelle d'électricité en Côte d'Ivoire sur la période de l'étude. En outre, sur la période de l'étude, l'utilisation du biogaz issu des déchets ménagers permettrait de réaliser une économie financière de près de 70 milliards de francs CFA sur la facture de consommation en gaz naturel.

Les projets de valorisation énergétique par méthanisation des déchets ménagers présentent un intérêt économique pour l'Etat ivoirien dans la mesure où ils permettront de satisfaire des besoins en électricité à des coûts moindres que ceux liés à l'exploitation des centrales thermiques au gaz naturel. Ces projets ouvrent aussi des opportunités de vente de crédits carbone car pouvant être enregistrés comme projets MDP. En outre, ces projets permettraient de résoudre en grande partie les questions liées à la gestion de la salubrité dans le district d'Abidjan.

Les résultats de cette étude démontrent bien que les déchets ménagers possèdent un énorme potentiel énergétique à valoriser. Nous avons cerné certains enjeux de la valorisation énergétique des déchets ménagers et ceux-ci concourent à envisager sérieusement l'opportunité d'y investir. En ce sens, les projets SITRADE et ADERCI pourront être pour l'Etat ivoirien de véritables opportunités d'investissement.

La valorisation énergétique des déchets ménagers ouvre sans doute de nouvelles perspectives de développement pour la Côte d'Ivoire. Cependant, il importe de franchir plusieurs étapes intermédiaires avant l'utilisation du premier kWh d'électricité produit à partir du biogaz issu des déchets ménagers. A cette fin, nous préconisons pour ce projet qu'une étude de faisabilité détaillée soit réalisée sur les plans technique, économique et financier. L'aspect environnemental ne devra surtout pas être négligé, des études d'impact environnemental et social devront être réalisées pour mitiger les éventuels impacts de la mise en œuvre desdits projets sur la population et l'environnement.

Somme toute, l'introduction de certains types d'énergie renouvelable dans le mix énergétique de la Côte d'Ivoire soulève de nombreuses questions aux niveaux institutionnels et juridique ; il serait judicieux pour l'Etat ivoirien de lever dès à présent des réflexions générales sur la prise en compte de ces questions dans le code de l'énergie actuellement en cours de rédaction.

VII. BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles

1. ADERCI, *CDM-PDD version 2 : Landfill Gas Recovery and Flaring Project in Akouedo, Ivory Coast*, Abidjan, septembre 2009, 43 p.
2. BURGEAP, *Rapport final provisoire : Etude stratégique pour la gestion des déchets solides dans le district d'Abidjan*, Abidjan, 2011, 183 p.
3. Canto, *Méthane, Déchets : les odeurs asphyxieront-elles la méthanisation*, Paris, Environnement Magazine N° 1696, Paris, novembre 2010, p. 50 – 51.
4. F. Nedey, *Méthane, CSR ... L'énergie cachée des déchets*, Paris, Environnement Magazine N° 1686, Paris, avril 2010, p. 50 – 57.
5. Gouvernement Côte d'Ivoire, *DSRP : Stratégie de relance du Développement et de Réduction de la Pauvreté*, Abidjan, janvier 2009, 180 p.
6. Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), *Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre_Version révisée 1996*, J.T. Houghton et al., GIEC/OCDE/AIE, Paris, France.
7. J. Blin, Y. Richardson et P. Tatsidjodoung, *Cours Biomasse Energie : Master en énergie_Formation à distance*, Ouagadougou, Cirad/2iE, 2010, 120 p.
8. M. Zamorano et al., *Study of the energy potential of biogas produced by an urban waste landfill in Southern Spain, Spain*, ScienceDirect, 2007, p. 909 - 922.
9. SITRADE, *CDM-PDD version 5 : Abidjan Municipal Solid Waste-To-Energy Project*, Abidjan, mai 2009, 77 p.
10. Starenergie 2073, *Business plan_Centrale thermique à cycle combine_version juin 2011*, Abidjan, 2011, p 21-27.
11. T. Keller, *Mémoire de fin d'études HEC : La valorisation énergétique des déchets par incinération*, Paris, 2009, 61 p.
12. World Bank, *Low-carbon Energy Project for Development in Sub-Saharan Africa : Unveiling the Potential, Addressing the Barriers*, Christophe de Gouvello et al., Washington, 2008, p. 70-74.

Sites internet

- <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/Germanischer1288271609.77/view> (10 août 2011)
- <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1222949156.26/view> (10 août 2011)
- <http://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9chet> (30 juillet 2011)
- <http://www.riaed.net/?+-Dechets-+> (30 juillet 2011)
- <http://www.sciencedirect.com/> (05 septembre 2011)
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Trafigura#L.27affaire_du_Probo_Koala (23 juillet 2011)
- http://www.progeco-oi.org/fileadmin/template/main_fr/Publications/Gestion_des_dechets_solides/fiche_FR10_Pdf.pdf (05 septembre 2011)
- <http://www.reglementation-environnement.com/resultat.php?numero=20345&code=547aaa6a7209d1f61ed9386ed6a6f425> (10 septembre 2011)

VIII. ANNEXES

Annexe 1 : Projection démographique du district d'Abidjan de 1975 à 2020

Annexe 2 : Plan de situation topographique de la décharge d'Akouédo

Annexe 3 : La méthode de Décomposition de Premier Ordre ou méthode DPO

Annexe 4 : Estimation du taux de collecte des déchets par le district d'Abidjan (2007)

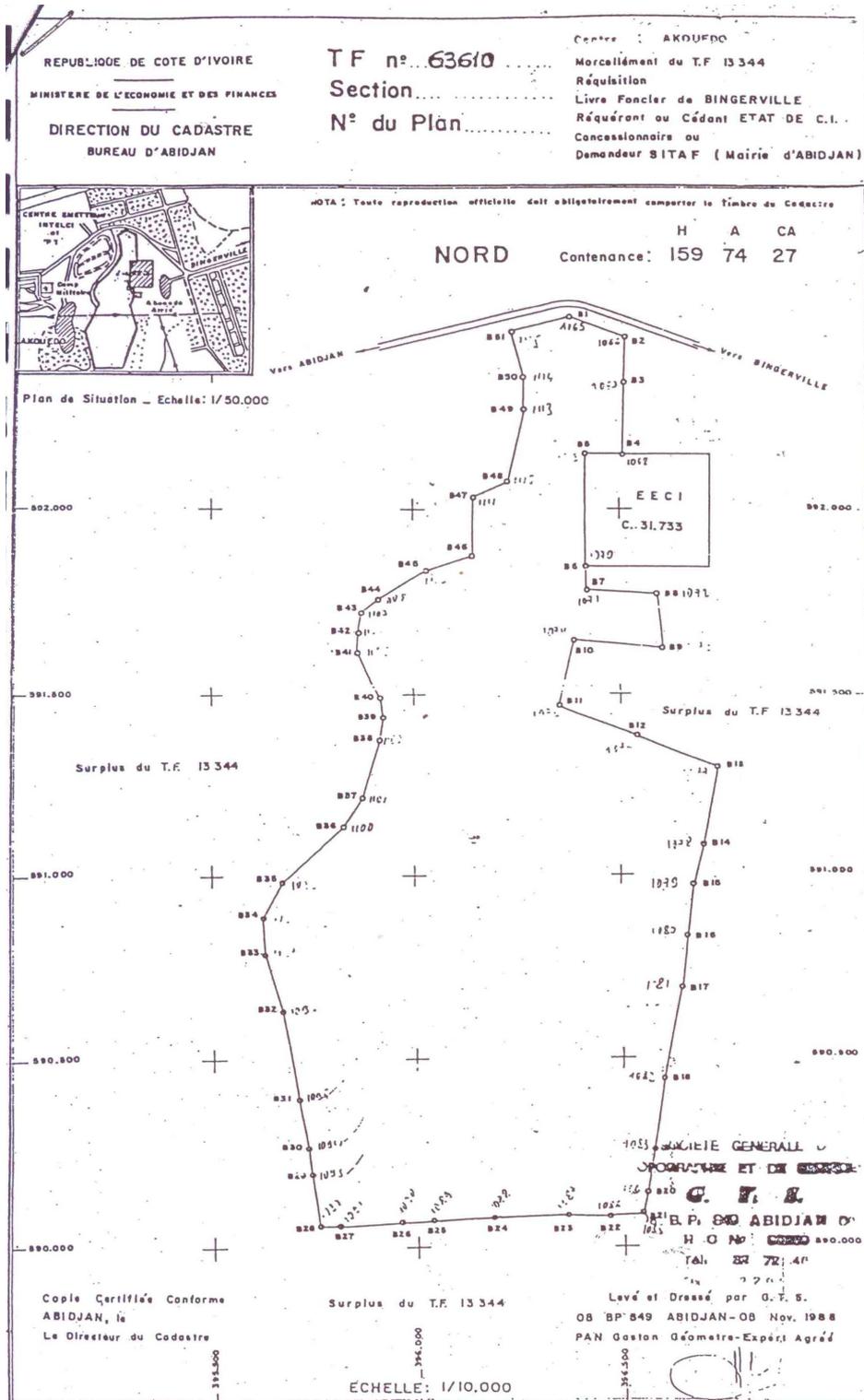
Annexe 5 : Historique des quantités de déchets collectés et mis en décharge de 1965 à 2007

Annexe 1 : Projection démographique du district d'Abidjan de 1975 à 2020

Communes	Superficie	1975	1988	1998	2002	2005	2010	2015	2020
Abobo	120 km ²	141 444	401 211	638 237	647 478	707 517	820 206	950 843	1 102 288
Adjamé	11,2 km ²	158 781	199 720	254 290	263 896	288 366	334 296	387 540	449 265
Anyama	20,8 km ²	31 631	67 467	95 169	105 516	115 300	133 664	154 953	179 633
Attécoubé	68,2 km ²	65 089	163 658	207 586	245 040	267 762	310 409	359 850	417 164
Bingerville	12 km ²	15 681	33 447	47 180	52 309	57 160	66 264	76 818	89 053
Cocody	132 km ²	34 424	128 756	251 741	221 655	242 208	280 786	325 508	377 353
Koumassi	8,7 km ²	146 370	229 963	317 562	303 480	331 621	384 439	445 671	516 654
Marcory	12,5 km ²	81 819	146 098	177 748	195 019	213 103	247 044	286 392	332 007
Plateau	3,9 km ²	17 795	11 647	10 365	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000
Port Bouët	111 km ²	74 270	168 725	211 658	257 140	280 984	325 737	377 619	437 764
Songon	Non parvenu	13 289	28 344	39 982	44 329	48 439	56 154	65 098	75 467
Treichville	8,9 km ²	113 666	110 040	120 526	145 143	158 602	183 863	213 147	247 096
Yopougon	150 km ²	78 700	374 524	688 235	744 016	813 006	942 497	1 092 613	1 266 637
Total Abidjan		972 959	2 063 600	3 060 279	3 237 021	3 536 067	4 097 360	4 748 052	5 502 382

Source : BURGEAP, *Rapport final provisoire : Etude stratégique pour la gestion des déchets solides dans le district d'Abidjan*, Abidjan, 2011, p.12

Annexe 2 : Plan de situation topographique de la décharge d'Akouédo



68759

Lignes directrices du GIEC et Recommandations en matière de bonnes pratiques

Approche et étapes



UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE 5.40

Méthode cinétique théorique du premier ordre (Niveau 2)

- Le niveau 2 tient compte de la décomposition de la matière organique et de la production de méthane sur une longue période.
- Principaux facteurs :
 - Génération de déchets et composition des déchets
 - Variables environnementales (humidité, pH, température et nutriments disponibles)
 - Âge, type et temps écoulé depuis la fermeture de la décharge



UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE 5.48

Équation de base

- $Q_{CH_4} = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt})$
 Q_{CH_4} = taux de production de méthane pendant l'année t (m^3/an)
 L_0 = carbone organique dégradable disponible pour la production de méthane ($m^3/tonne$ de déchets)
 R = quantité de déchets mis en décharge (tonnes)
 k = constante du taux de production de méthane (an^{-1})
 c = temps écoulé depuis la fermeture de la décharge (ans)
 t = temps écoulé depuis la mise en place initiale des déchets (ans)



UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE 5.49

Équation – Bonnes pratiques

- Le temps t est remplacé par $t-x$, coefficient de normalisation qui corrige le fait que l'évaluation pour une année individuelle est une estimation temporelle discrète et non une estimation temporelle continue.
- Méthane émis pendant l'année t (Gg/an) =
$$\sum_x [(A \cdot k \cdot \text{DSM}_T(x) \cdot \text{DSM}_F(x) \cdot L_0(x)) \cdot e^{-k(t-x)}]$$

pour $x =$ année initiale jusqu'à t
- Additionner tous les résultats obtenus pour toutes les années (x)



Équation – Bonnes pratiques

- Où :
 - t = année de l'inventaire
 - x = années pour lesquelles des données d'entrée devront être ajoutées
 - $A = (1 - e^{-k})/k$; coefficient de normalisation corrigeant la somme
 - k = constante du taux de production de méthane
 - $\text{DSM}_T(x)$ = total des déchets solides municipaux produits pendant l'année x (proportionnel à la population totale ou urbaine s'il n'y a pas de collecte de déchets en zones rurales)
 - $L_0(x)$ = potentiel de production de méthane



Constante du taux de production de méthane

- La constante du taux de production de méthane k correspond au temps requis pour que le COD contenu dans les déchets se dégrade jusqu'à la moitié de sa masse initiale (demi-vie).
- $k = \ln 2 / t_{1/2}$
- Cette méthode nécessite des données historiques. On doit inclure des données pour 3 à 5 demi-vies afin d'obtenir un résultat acceptable. Il faut tenir compte des changements dans les pratiques de gestion.



Constante du taux de production de méthane

- Est déterminée par le type de déchets et de conditions
- Valeurs variant de 0,03 à 0,2 par an, ce qui équivaut à une demi-vie d'environ 23 à 3 ans
- Des matériaux facilement dégradables et un taux d'humidité élevé entraînent une diminution de la demi-vie.
- Valeur par défaut de 0,05 par an (demi-vie de 14 ans)



Potentiel de production de méthane

$$L_0(x) = (\text{FCM}(x) * \text{COD}(x)) * \text{CPD}_F * F * 16/12 \text{ (GgCH}_4\text{/Gg de déchets)}$$

où :

FCM(x) = facteur de correction du méthane pour l'année x (fraction)

COD(x) = carbone organique dégradable pour l'année x

COD_F = fraction du COD libéré

F = fraction par volume de méthane dans les biogaz

16/12 = conversion de C en CH_4



Émissions de méthane

- Méthane produit moins méthane récupéré non oxydé
- Équation:
Méthane émis pendant l'année t (Gg/an) = (Méthane produit pendant l'année t (Gg/an) - R(t)) * (1 - Ox)
où :
R(t) = méthane récupéré pendant l'année t (Gg/an)
Ox = facteur d'oxydation (fraction)



On notera que tous les paramètres modèles peuvent changer avec le temps, en fonction de l'évolution des pratiques d'élimination et de gestion des déchets. Les *bonnes pratiques* sont décrites ci-dessous pour chaque paramètre modèle susmentionné.

Facteur de correction de méthane (FCM)

Le facteur de correction de méthane (FCM) prend en compte le fait que les SDDS non contrôlés produisent moins de CH₄ à partir d'une quantité donnée de déchets que les SDDS contrôlés, car une plus grande fraction de déchets se décompose en aérobie dans les couches supérieures des SDDS non contrôlés. En ce qui concerne la gestion des déchets solides, le FCM est spécifique à ce domaine et doit être interprété comme le « facteur de correction de gestion des déchets » qui reflète la gestion à laquelle il se rapporte. Le terme facteur de correction de méthane (FCM) dans ce contexte ne doit pas être confondu avec le facteur de conversion de méthane (FCM) mentionné dans les *Lignes directrices du GIEC* pour les émissions liées à la gestion des eaux usées et du fumier. Les *Lignes directrices du GIEC* présentent des valeurs par défaut pour le FCM, indiquées au Tableau 5.1 ci-dessous.

TABLEAU 5.1 CLASSIFICATION DES SDDS ET FACTEURS DE CORRECTION DE METHANE	
Type de site	Valeurs par défaut pour le facteur de correction de méthane (FCM)
Contrôlé ^a	1,0
Non contrôlé – profond (≥5 m de déchets)	0,8
Non contrôlé – peu profond (<5 m de déchets)	0,4
SDDS n'entrant pas dans une catégorie ^b	0,6

^a Les SDDS contrôlés doivent avoir une disposition contrôlée des déchets (c'est-à-dire que les déchets sont dirigés vers des zones spécifiques de dépôt et qu'il y a un degré de contrôle de la récupération et des feux) et incluent certains des éléments suivants : matériau de couverture, compactage mécanique ou nivelage des déchets.

^b La valeur par défaut de 0,6 pour les SDDS n'entrant pas dans une catégorie, elle peut ne pas être appropriée pour les pays en développement ayant un pourcentage élevé de sites peu profonds non contrôlés, car elle entraînera probablement une surestimation des émissions. Les organismes chargés des inventaires dans les pays en développement devront donc plutôt utiliser 0,4 pour leur FCM, sauf s'ils disposent de données documentées indiquant des pratiques d'élimination contrôlée dans des décharges à ciel ouvert dans leur pays.

Source : Manuel de référence des *Lignes directrices du GIEC*.

Carbone organique dégradable (COD)

Le carbone organique dégradable est le carbone organique susceptible de subir une décomposition biochimique, et doit être exprimé sous forme de Gg C par Gg de déchets. Il est basé sur la composition des déchets et peut être calculé à partir d'une moyenne pondérée de la teneur en carbone des divers composants du flux de déchets. L'équation suivante, présentée dans les *Lignes directrices du GIEC*, estime le COD à l'aide de valeurs par défaut de teneur en carbone :

<p>ÉQUATION 5.4</p> $\text{COD} = (0,4 \cdot A) + (0,17 \cdot B) + (0,15 \cdot C) + (0,3 \cdot D)$

où :

A = Fraction de DSM du papier et des textiles

B = Fraction de DSM des déchets de jardins et de parcs, ou autres déchets organiques non alimentaires putrescibles

C = Fraction de DSM alimentaires

D = Fraction de DSM provenant du bois ou de la paille

Les valeurs par défaut de la teneur en carbone pour ces fractions sont indiquées dans les *Lignes directrices du GIEC* (Tableau 6-3, Manuel de référence).

L'utilisation de valeurs nationales est recommandée si des données sont disponibles. On peut obtenir des valeurs nationales à l'aide d'enquêtes sur la génération de déchets et par l'échantillonnage des SDDS dans un pays. Dans le cas de l'utilisation de valeurs nationales, l'organisme chargé de l'inventaire devra présenter les résultats des enquêtes et de l'échantillonnage. Par ailleurs, il est important que les calculs de COD excluent la lignine si l'on utilise la valeur par défaut (0,77) pour COD_F (voir ci-dessous).

Fraction de carbone organique dégradable libéré (COD_F)

COD_F est une estimation de la fraction de carbone dégradé et libéré dans les SDDS, et reflète le fait que certains carbones organiques ne sont pas dégradables ou se dégradent très lentement dans les SDDS. Les *Lignes directrices du GIEC* proposent une valeur par défaut de 0,77 pour COD_F . Il ressort de la littérature récente que cette valeur par défaut pourrait être une surestimation. Cette valeur ne doit être utilisée que si la lignine C'est exclue de la valeur de COD. Des valeurs expérimentales de 0,5 à 0,6 (lignine C incluse), utilisées aux Pays-Bas (Oonk et Boom, 1995), ont permis d'obtenir des estimations fiables des gaz produits et récupérés dans les décharges à ciel ouvert aux Pays-Bas. De plus, l'utilisation d'une valeur de 0,5 à 0,6 (lignine C incluse) comme valeur par défaut est conforme aux *bonnes pratiques*. On peut utiliser des valeurs nationales pour COD_F ou des valeurs fournies par des pays similaires pour COD_F , mais ces valeurs devront être basées sur des recherches bien documentées.

Fraction de CH_4 dans les gaz de décharges (F)

Les gaz de décharges incluent principalement le CH_4 et le dioxyde de carbone (CO_2). En général, on estime que la fraction F de CH_4 est de 0,5, mais elle peut varier entre 0,4 et 0,6, en fonction de plusieurs facteurs, dont la composition des déchets (carbohydrates et cellulose, etc.). La concentration de CH_4 dans les gaz de décharges récupérés peut être inférieure à la valeur réelle en raison de la dilution atmosphérique potentielle ; par conséquent, les valeurs F estimées ainsi ne seront pas nécessairement représentatives.

Annexe 4 : Estimation du taux de collecte des déchets par le district d'Abidjan (2007)

Tableau Statistique de la Production et du Collecte d'Ordures Ménagères dans le District d'Abidjan
Taux d'Enlèvement

Communes	T/G	Population 2007	Production Annuelle O.M. 2007	Collecte Annuelle O.M. 2006	Taux	croissance	Collecte	Taux
					d'Enlèvement 2006		Annuelle O.M. 2007	d'Enlèvement 2007
Abobo	0,9	1 118 071	362 255,11	161 553,93	46,29%	62 020,55	223 574,48	61,72%
Adjamé	1	441 316	206 535,93	101 818,50	66,52%	39 088,12	140 906,62	68,22%
Anyama	0,9	209 346	67 828,08	20 986,62	32,12%	8 056,76	29 043,38	42,82%
Attécoubé	1	363 651	130 914,30	34 878,63	27,65%	13 389,91	48 268,54	36,87%
Bingerville	0,9	98 441	31 894,82	10 127,64	32,96%	3 888,00	14 015,64	43,94%
Cocody	1,2	441 003	190 513,12	107 750,54	58,71%	41 365,43	149 115,97	78,27%
Koumassi	1	556 308	200 270,81	39 954,94	20,71%	15 338,70	55 293,64	27,61%
Marcory	1,1	311 380	123 306,59	73 687,29	62,03%	28 288,55	101 975,84	82,70%
Plateau	1,5	18 157	10 785,08	13 876,27	146,91%	5 327,10	19 203,37	178,06%
Port-Bouet	1	370 785	133 482,61	66 822,89	51,96%	25 653,31	92 476,20	69,28%
Songon	0,9	41 377	13 406,07	3 885,43	30,08%	1 491,62	5 377,05	40,11%
Treichville	1,1	211 138	83 610,45	58 589,88	72,74%	22 492,65	81 082,53	96,98%
Yopougon	1,1	1 205 658	477 440,47	187 190,86	40,70%	71 862,57	259 053,43	54,26%
TOTAL		5 189 431	2 032 243,43	881 123,42	46,11%		1 219 386,70	60,00%

taux de croissance 38,39%

Annexe 5 : Historique des quantités de déchets collectés et mis en décharge de 1965 à 2007

ANNEE	POPULATION	QUANTITE O.M. Collectée	MONTANT BALAYAGE	MONTANT O.M.	Total montant Balayage - O.M	BUDGET D .A .
1960	198 800	75 730 ,000				
1961	220 300	87 730 ,000				
1962	244 200	104 087,000				
1963	270 650	110 760 ,000				
1964	300 000	123 285 ,000				
1965	332 500	145 620 ,000				
1966	368 500	150 000 ,000				
1967	408 400	159 111 ,000				
1968	452 600	162 000 ,000				
1969	501 600	170 000 ,000				
1970	556 000	175 907 ,000				
1971	616 200	190 000 ,000				
1972	682 900	204 000 ,000				
1973	736 900	215 340 ,000				
1974	838 800	227 900 ,000				
1975	929 700	260 669 ,000				
1976	1 026 600	279 124, 000				
1977	1 133 500	302 140 ,000				
1978	1 251 600					
1979	1 422 436	299 500 ,000				
1980	1 575 000	325 350 ,000				
1981	1 615 000	405 938 ,000				
1982	1 679 000					
1983	1 651 000					

1984	1 650 561	344 054 ,000			3 238 103 944	8 300 000 000
1985	1 788 000	408 234 ,000			4 475 077 416	9 600 000 000
1986	1 813 045	423 921 ,000			3 407 378 357	8 517 000 000
1987	1 869 640	430 234 ,000			3 515 945 391	10 514 269 000
1988	1 928 044	481 517 ,000			3 526 344 080	10 507 269 000
1989	1 988 317	482 279 ,000			3 424 538 885	8 674 460 000
1990	2 060 808	452 440 ,000			3 999 537 268	9 239 340 000
1991	2 143 240				4 142 777 642	9 415 700 000
1992	2 228 970	441 970 ,535			3 368 038 460	9 256 530 000
1993	2 318 129	436 234 ,850			4 286 626 676	8 507 483 000
1994	2 410 854	508 847 ,250	1 741 766 165	3 665 141 689	5 406 907 854	8 451 603 000
1995	2 507 288	555 245 ,410	1 822 447 248	5 785 101 927	7 607 549 175	10 168 178 000
1996	2 607 580	633 071 ,241	1 836 027 000	6 595 969 256	8 431 996 256	9 624 848 774
1997			1 937 651 156	7 102 038 000	9 039 689 156	19 802 238 553
1998	2 877 948	592 883 ,700	1 456 702 300	5 562 538 050	7 019 240 350	7 523 533 705
1999	2 987 999	795 760 ,950	1 368 000 000	8 085 711 962	9 453 711 962	10 556 155 647
2000	3 102 258	712 785 ,270	1 772 175 510	7 140 000 000	8 912 175 510	15 663 696 179
2001	3 246 647	708 721 ,151	1 502 651 417	1 771 802 875	3 274 454 292	
2002	3 628 801	702 799 ,890	1 489 051 707	1 756 999 725	3 246 051 432	
2003	3 817 911	784 547 ,280	2 020 484 846	8 598 047 863	10 618 532 709	
2004	3 914 933	818 839 ,750		8 499 445 613	8 499 445 613	
2005	4 064 948	852 130 ,600		8 777 360 122	8 777 360 122	
2006	4 225 912	898 203 ,870		9 247 970 213	9 247 970 213	
2007	4 372 702	1 042 446 ,410		10 682 620 000	10 682 620 000	