



ETUDE DE LA VALORISATION ENERGETIQUE DES DECHETS D'UNE HUILERIE DE PALME : CAS DE L'USINE DE GAOUSSOUKRO EN COTE D'IVOIRE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET ASSAINISSEMENT

Présenté et soutenu publiquement le 18 Janvier 2017

Kouamé Jean Jacques KOUAME

Travaux dirigés par :

Sylvain AMAN, Ingénieur (Huile Rouge SAS)

Dr Yohan RICHARDSON (2iE-CIRAD)

Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburants

Promotion 2015/2016

DEDICACE

A ma mère, j'aurais tellement souhaité que tu vois ce jour. Sache que je n'oublierai jamais tes sacrifices.

REMERCIEMENTS

Ma reconnaissance est à l'Eternel des armées pour sa grâce et sa bonté dans ma vie

Mes remerciements vont à l'endroit de tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

Du fond du cœur, je remercie sincèrement :

- ❖ Dr **Yohan RICHARDSON** pour sa disponibilité, son soutien et son assistance continue tout au long de la réalisation de l'étude
 - ❖ **Campus France** à travers le projet C2D AMRUGE-CI (Appui à la Modernisation et à la Réforme des Universités et Grandes Ecoles de la Côte d'Ivoire), le **Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique de la Côte d'Ivoire** dont le soutien financier et matériel m'a permis de mener à bien ma formation de Master en ingénierie.
 - ❖ Monsieur **Giuseppe NOCERA, PDG du groupe HUILE ROUGE SAS** pour avoir cru en moi, avec lui toute l'équipe de l'entreprise en particulier Messieurs **Daniele VISANI, Sylain Giscard AMAN et Raul GBOGOU** qui ont contribué par leur soutien et amitié, à la progression de mon travail au dépend souvent de leurs tâches principales.
 - ❖ A tous mes enseignants du cycle de Master à 2iE pour la passion et les connaissances transmises
 - ❖ Le Président de jury et les membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'examiner et de juger ce travail.
 - ❖ La promotion A du Master Eau et Assainissement du 2iE (2015-2016) qui au-delà de la diversité constitue une véritable famille
 - ❖ A la cellule de prière El Victoire pour la communion fraternelle et le soutien constant
- Enfin, mes remerciements vont à l'endroit de ma famille particulièrement **Kouakou Martial KOUAME** et tous mes proches qui m'ont toujours aidé et soutenu dans mes choix

RESUME

La production industrielle de l'huile de palme génère des quantités importantes de déchets principalement les rafles (EFB) et les effluents (POME). Ces derniers sont dans la plupart des cas rejetés sans traitement adéquat quand les EFB sont en grande partie stockés ou incinérés de façon incontrôlée. Le but de cette étude était d'évaluer le potentiel énergétique de ces déchets et de mettre en place une filière de valorisation au sein de l'huilerie de palme de Gaoussoukro en Côte d'Ivoire.

La méthodologie a consisté à caractériser les déchets qui seront produits dans cette usine de production industrielle d'huile de palme d'une capacité de 30 tonnes/heure. En tenant compte des caractéristiques physico-chimiques des déchets et des besoins énergétiques de l'usine, le procédé de valorisation des POME retenue est la digestion anaérobie. Le digesteur est un réacteur à lit de boues UASB ayant un volume utile de 800 m³ suivi d'un groupe électrogène alimenté au biogaz. Pour les EFB, l'option retenue est la combustion dans une chaudière à biomasse puis la valorisation de la vapeur par cogénération dans une turbine à vapeur à contre pression.

Le potentiel méthanogène des POME évalué et la production d'électricité par cogénération à partir de la combustion du biogaz pour la première année sont respectivement de 10,08 m³ de CH₄/m³ et de 1 937 214 kWh. Le PCI des EFB est de 11660 kJ/kg et l'électricité produite par cogénération à partir de la combustion des EFB générés par la trituration d'une tonne de régimes de graines estimée est de 125 kWh soit 5 060 000 kWh la première année.

La valorisation énergétique des déchets de l'huilerie permettra de couvrir les besoins électriques de l'usine. Pour les trois premières années, ces besoins sont estimés à 1 260 000 kWh/an avec un excédent 5735 MWh d'électricité produite par valorisation qui pourra être injecté dans le réseau national suivant les nouvelles dispositions réglementaires. La mise en place de cette filière contribuera en outre à éviter l'émission de 11 772 t_{eq}CO₂ et à réduire le coût de revient du kWh à 12,75 FCFA la première année.

Mots Clés : déchets biomasse, énergie renouvelable, huile de palme, industrie agroalimentaire, valorisation des déchets

ABSTRACT

Industrial production of palm oil generates large amounts of waste mainly Empty Fresh Brunch (EFB) and palm oil mill effluent (POME). The latter is in most of cases released without proper treatment while the EFBs are largely stored or incinerated in an uncontrolled way. The aim of this study was to evaluate the energy potential of these wastes and to set up a valorization process in the oil mill of Gaoussoukro in Ivory Coast.

The methodology consisted of characterizing the wastes that will be produced in a palm oil mill with a capacity of 30 tons / hour. Taking into account the physicochemical characteristics of the waste and the energy needs of the mill, the way of valorization of the POMEs selected is anaerobic digestion in a UASB sludge bed reactor with a useful volume of 800 m³ associated with a biogas fuel generator. For the EFB, the option chosen is the combustion in a biomass boiler associated with the valorization of the steam by cogeneration in a back pressure steam turbine

The methanogenic potential of the POME evaluated and the electricity production by biogas cogeneration are respectively 10.08 m³ of CH₄ / m³ and 1,937,214 kWh. The PCI of the EFBs is 11660 kJ / kg and the electricity produced by cogeneration from the combustion of EFBs generated by crushing one ton of FFB is expected to reach 125 kWh corresponding to a total production of 5 060 000 kWh in the first year.

The energy valorization of the wastes from the palm oil mill will using the technologies proposed in this study will cover the electricity needs of the mill. For the first three years, these needs are estimated to 1,260,000 kWh / year with an excess of 5735 MWh of electricity which can be injected into the national grid in accordance with the new regulations. The implementation of these technologies will also contribute to avoid the emission of 11 228 t_{eq}CO₂ and also to reduce the cost of kWh to 12,75Fcfa the first year.

Key words: biomass waste, renewable energy, palm oil, food industry, waste valorization

LISTE DES ABREVIATIONS

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

AIPH : Association Interprofessionnelle de la filière Palmier à huile

ANARE : Autorité Nationale de la Régulation de l'énergie

BAD : Banque Africaine de Développement

°C : degré Celsius

CIE : Compagnie Ivoirienne d'Electricité

CIPREL : Compagnie Ivoirienne de Production d'Electricité

CNRA : Centre National de Recherche Agronomique

CVA : Charge Volumique Appliquée

DBO : Demande Biologique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

EFB: Empty Fresh Brunch

FFB: Fresh Fruit Brunch

KWh: KiloWatttheure

MES : Matières En Suspension

MS : Matières Sèches

MW: MégaWatt

POME: Palm Oil Mill Effluent

RSE : Responsabilité Sociétale des Entreprises

SK : Force d'irrigation

TSH : Temps de Séjour Hydraulique

UASB: Up- flow anaerobic sludge blanket

VAN : Valeur Actuelle Nette

Table des matières

REMERCIEMENTS	i
RESUME	ii
ABSTRACT	iii
LISTE DES ABREVIATIONS.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : Synthèse bibliographique	3
1.1. L'huile de palme	3
1.1.1. Le palmier à huile	3
1.1.2. Méthodes d'extraction de l'huile de palme	3
1.1.3. Principe de fonctionnement d'une huilerie industrielle	4
1.2. Déchets des huileries de palme.....	5
1.2.1. Déchets solides.....	5
1.2.2. Déchets liquides	6
1.3. Techniques de traitement des déchets des huileries de palme.....	6
1.3.1. Traitements des POME	6
1.3.2. Traitement des EFB.....	9
1.4. Besoins en énergie des huileries de palme.....	10
CHAPITRE II : CADRE DE L'ETUDE ET METHODOLOGIE.....	11
2.1. Zone d'étude.....	11
2.2. Cadre réglementaire de la production, le transport et le dispatching de l'électricité en Côte d'Ivoire.....	12
2.2.1. Principaux acteurs.....	12
2.2.2 Dispositions réglementaires.....	12
2.3. Méthodologie	12
2.3.1. Approche méthodologique de l'étude diagnostique de la gestion des déchets de la filière..	13
2.3.2. Quantification et caractérisation des déchets des huileries de palme	14
2.3.3. Etude de faisabilité technique de la filière de valorisation énergétique des déchets de l'huilerie de palme	18
d) Evaluation théorique de la production de biogaz	21
2.3.4. Etude socio-économique	22
2.3.5. Impact du projet	23
Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION	25
3.1. Etat des lieux de la gestion des déchets dans les huileries de palme	25

3.1.1. Classification des huileries de palme	25
3.1.2. Mode de gestion des déchets et analyse des impacts	25
3.2. Caractérisation des déchets et besoins en énergie de l'usine de Gaoussoukro	26
3.2.1. Estimation du gisement	26
3.2. 2. Résultats des analyses	27
3.2.3. Estimation du besoin en électricité de l'usine	29
3.3. Dimensionnement des procédés de valorisation.....	29
3.3.1. Dimensionnement de la filière de méthanisation	29
3.3.2. Dimensionnement de la filière de valorisation des EFB	32
3.3.3. Comparaison énergie électrique produite – Besoin en énergie électrique.....	33
3.4. Etude économique.....	35
3.4.1. Coût des Investissements.....	35
3.4.2. Compte d'exploitation Prévisionnel	37
3.4.3. Calcul VAN	37
3.4.4. Coût de revient du kWh	38
3.5. Filière de traitement des eaux usées.....	38
3.5.1. Justification du choix lit bactérien.....	38
3.5.2. Objectif de rejet.....	38
3.5.3. Dimensionnement	38
3.6. Analyse des Impacts.....	40
3.6.1. Impacts environnementaux	40
3.6.2. Impact socio-économique.....	42
CONCLUSION	43
RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	44
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	46
ANNEXES.....	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Caractéristiques des eaux usées en fonction du rapport DCO/DBO(Zongo et al., 2012)	17
Tableau II. Performances épuratoires des procédés de méthanisation (Moletta, 2002)	20
Tableau III. Huilerie de palme et dangers liés à la gestion actuelle des déchets	25
Tableau IV. Prévisions quinquennales d'approvisionnement en FFB	26
Tableau V. Quantité des EFB (T)	26
Tableau VI. Quantité de POME (m ³)	27
Tableau VII. Résultats des analyses des EFB	27
Tableau VIII. Résultats des analyses des POME	28
Tableau IX. Volume utile des réacteurs	30
Tableau X. Production théorique de biogaz	30
Tableau XI. Production d'électricité	31
Tableau XII. Caractéristiques de la chaudière	32
Tableau XIII. Cout des investissements Filière de valorisation EFB	35
Tableau XIV. Coût des investissements de la filière de valorisation des POME	36
Tableau XV. Tableau des comptes d'exploitation prévisionnelle	37

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte du village de Gaoussoukro.....	11
Figure 2. Rejet direct de POME.....	13
Figure 3. Bassin Florentin du site de prélèvement (Huilerie d'Adjouan)	14
Figure 4. Production d'énergie à partir des EFB.....	33
Figure 5. Comparaison Electricité produite - Besoins électrique de l'usine	34
Figure 6. Prix de revient du KWhel	38
Figure 7 Emission de GES évitées par la méthanisation en réacteur des POME.....	41
Figure 8. Emissions de GES évitées par la production d'énergie à partir des POME et des EFB.....	42

INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire à l'instar de nombreux pays en voie de développement dont la croissance est essentiellement basée sur l'agriculture a enregistré un ralentissement économique depuis 2012 dû à la baisse de production de ses produits d'exportation (BAD 2013). L'Etat dans son plan national de développement dont le but est de permettre l'émergence de la Côte d'Ivoire à l'horizon 2020 a mis un point d'honneur à la transformation de ses ressources agricoles. Cependant le secteur de l'énergie, pilier de cette révolution industrielle fait face à des difficultés liées à une capacité de production limitée due en partie au vieillissement des équipements de production et de transport qui génère des pertes sur le réseau. Ces pertes pèsent lourdement sur l'offre d'une énergie en quantité suffisante, fiable, durable et à moindre coût. Ainsi la possibilité qu'offre une croissance économique verte est une véritable opportunité pour vaincre cette dépendance aux énergies non conformes aux objectifs du développement durable à travers des investissements plus productifs et plus efficaces (ECA, 2013).

C'est donc à juste titre que l'une des résolutions de la conférence de Copenhague en 2009 a été la mise en place d'un "fonds vert" pour permettre aux pays les plus vulnérables de combattre les effets des changements climatiques. Le programme d'appui aux investissements d'efficacité énergétique et d'énergie renouvelable "SUNREF Afrique de l'Ouest" est une initiative soutenue par le Fonds Français pour l'Environnement Mondial. Elle vise à inciter les entreprises à réduire leur émission de gaz à effet de serre par la production et l'utilisation d'énergie renouvelable.

Si l'énergie photovoltaïque connaît une expansion rapide, les déchets biomasses pourraient offrir une excellente performance environnementale pour les industries.

Les huileries de palme dans leur fonctionnement font face à un défi important, celui de la gestion de leur important gisement de déchets. En Malaisie, la part de l'énergie renouvelable produite à partir des déchets biomasse constitués à 85 % de résidus d'huilerie de palme avoisinait 5% de la production nationale d'énergie en 2010. La proportion de l'énergie renouvelable provenant de la biomasse devrait atteindre environ 2080 MW en 2020 puis une valeur de 21370 MW à l'horizon 2050 (Umar et *al.*, 2013). Dans son plan de réduction des gaz à effet de serre, la Côte d'Ivoire s'est engagée à réduire de 28% ses émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2030 avec une proportion de 42% pour les énergies renouvelables dans le mix énergétique souhaité.

La région du Sud Comoé du pays regorge la majorité des huileries de palme. Dans ces usines, les effluents d'huilerie de palme sont rejetés généralement sans traitement dans les cours d'eaux. La pollution directe due à ces rejets était évaluée à plus de 150 tonnes de DCO/ jour en 1991 (le Développement Durable, 2001) et les déchets solides sont en grande partie stockée ou incinéré sans dispositions particulières. Cette situation s'est considérablement aggravée du fait de l'établissement de plusieurs unités de production qui ne disposent pas pour la grande majorité de systèmes adéquats de traitement de leur déchet (Cheyns et *al.*,2012.). Or une politique environnementale adéquate pourrait bien permettre de résoudre non seulement la mauvaise gestion des déchets et réduire significativement la facture énergétique de l'entreprise

Dans ce contexte, la société HUILE ROUGE SAS a lancé une étude sur les possibilités de production d'énergie renouvelable à partir des déchets que produira sa nouvelle usine en construction de Gaoussoukro.

L'objectif de cette étude est la valorisation énergétique des déchets solides et liquides de l'huilerie de palme de Gaoussoukro à Aboisso en Côte d'Ivoire.

Pour ce faire, il s'agit de façon spécifique de :

- faire l'état des lieux de la gestion actuelle des déchets (solides et effluents) et réalisé une analyse de leur impact environnemental
- quantifier et caractériser les différents types de déchets de l'usine
- étudier la mise en place technique d'un centre de valorisation des déchets
- analyser le coût d'investissement et d'exploitation du centre de valorisation et faire des propositions alternatives en tenant compte de leur impact environnemental

Ce travail est divisé en trois parties. La première partie porte sur les généralités relatives à la l'huile de palme et à la technologie de valorisation énergétique des déchets dans les huileries ensuite la deuxième présente la méthodologie suivie. En dernier lieu, la dernière partie présente les résultats et en fait une discussion.

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

1.1. L'huile de palme

L'huile de palme est extraite du palmier à huile et est l'huile végétale la plus commercialisée dans le monde avec plus de 39% de la production mondiale. L'Indonésie et la Malaisie produisent plus de 87 % de la production mondiale. En Afrique, la Côte d'Ivoire occupe le deuxième rang avec plus de 300 000 tonnes d'huile de palme (Kapseu, 2009) après le Nigéria et envisage une production de 600 000 à l'horizon 2020 (Donnée CNRA, 2015). Jacquemard (2012) estime que la demande mondiale en huile de palme atteindra 2,8%/ an dans les prochaines années du fait de ses multiples utilisations (alimentaires, cosmétiques, énergies renouvelables...) et de la croissance de la population mondiale.

1.1.1. Le palmier à huile

Les deux espèces de palmier à huile d'intérêt économique sont *Elaeis guineensis* et *Elaeis oleifera*. *Elaeis oleifera* est une espèce d'origine sud-américaine sauvage quand *Elaeis guineensis* est une espèce africaine cultivée commercialement depuis le début du XX^e siècle (Jacquemard, 2012). Le matériel actuellement planté est un hybride appelé *Tenera* qui entre en production dès la troisième année et dont le rendement moyen est de 20 tonnes de régimes à l'hectare (Gasselin et al., 2010). Le palmier à huile est la seule plante permettant de produire deux huiles : l'huile de palme et l'huile de palmiste. En Côte d'Ivoire, la filière exploite plus de 300 000 hectares de plantations industrielles et villageoises dont le tiers pour le secteur industriel (Cheyns et al., 2000).

1.1.2. Méthodes d'extraction de l'huile de palme

Il existe deux méthodes de production de l'huile de palme : la production traditionnelle et la production industrielle (Nai et al., 2000).

1.1.2.1. La production traditionnelle

Ce système a été hérité des palmeraies traditionnelles ou des plantations mises en place durant la période du travail forcé. La production traditionnelle est basée sur une pratique pluriculturelle et des appareils de pressage manuel.

1.1.2.2. La production industrielle

Le système est basé sur des pratiques monoculturelles et des équipements de production mécanique.

1.1.3. Principe de fonctionnement d'une huilerie industrielle

L'huilerie de palme regroupe toutes les activités visant à séparer les régimes de palme en rafles, fruits, fibres, noix, jus bruts, huile brute, boues, coques, huile finie et amandes (Jacquemard, 2012).

Cette opération est réalisée suivant plusieurs étapes à savoir (DE THEUX 2004):

- la pesée des régimes
- la stérilisation des régimes
- l'égrappage
- le malaxage
- l'extraction du jus brut
- la clarification

1.1.3.1. Pesée des régimes

La quantité des régimes de graines est déterminée à travers la mesure des poids des camions convoyant les régimes de graines. Le camion chargé entrant dans l'usine est pesé puis après avoir déversé les régimes au niveau du centre de décharge pouvant accueillir jusqu'à 300 tonnes, le poids du camion à vide est de nouveau déterminé. Les pesées sont faites après immobilisation complète sur un pont bascule.

1.1.3.2. Stérilisation des régimes

Les régimes de graines mûres passent à travers un convoyeur dans les stérilisateurs qui sont des récipients métalliques cylindriques horizontaux ou verticaux. Cette phase est importante car elle permet de réduire l'apparition d'acides gras et conditionne significativement la qualité de l'huile. Elle se fait sous vapeur saturée à une pression comprise entre 2,5 et 3 bars. La durée est estimée entre 30 à 60 minutes.

1.1.3.3. Egrappage

Cette opération a pour but de séparer les fruits des rafles. Les régimes sont convoyés dans le tambour égrappoir à rotation (20 à 30 tours/ min) où ils sont entraînés à un point haut avant de chuter sur les barres, les fruits traversent le tambour entre les barres quand les rafles sont évacuées. Les fruits, grâce à un élévateur puis une vis sans fin sont déversés au niveau des différents malaxeurs installés.

1.1.3.4. Malaxage

Cette étape a pour but de libérer l'huile des cellules oléifères et de conditionner la masse pour les étapes suivantes. Elle se fait sous injection de vapeur et d'eau chaude afin d'amener le mélange à une température d'environ 90°C pendant 20 à 40 minutes dans les malaxeurs. Les malaxeurs sont des cylindres verticaux disposant de bras fixés sur l'axe central tournant lentement.

1.1.3.5.Extraction

La pâte obtenue à travers les malaxeurs passe à travers une goulotte avec trempe et arrive au niveau des presses. L'objectif de cette phase est de séparer le jus contenu dans la masse de fruits malaxés. Elle se fait à travers des presses continues généralement à double vis. La sortie de la cage de la presse est partiellement fermée par un vérin commandé par une pompe hydraulique. La pression exercée permet de séparer le jus brut des tourteaux.

1.1.3.6.Clarification de l'huile

Le jus brut obtenu contient environ 35 % d'huile, d'eau et de matières dissoutes. La phase de clarification se fait selon une décantation statique en continu. Le jus passe par un tamis avant d'être déversé dans le décanteur primaire où près de 80 % de l'huile est recueillie. A ce niveau, la température est amenée entre 85 et 95°C pendant un temps de 4 à 5 heures. Le niveau du décanteur est relevé pour récupérer l'huile brute en partie supérieure à travers une crépine. La phase aqueuse décantée est amenée dans le décanteur secondaire sous injection de vapeur pour récupérer encore de l'huile à ce niveau. Le même procédé est réalisé au niveau du décanteur tertiaire. L'huile recueillie au niveau des décanteurs primaires, secondaires et tertiaires est acheminée au niveau d'un bac de décantation, elle est ensuite réchauffée à une température légèrement supérieure à 100 °C dans un déshydrateur. Ensuite l'huile est stockée dans des tanks chauffés à environ 45 °C en attendant leur expédition.

1.2. Déchets des huileries de palme

La production industrielle d'huile de palme génère des déchets solides et des déchets liquides (POME).

1.2.1. Déchets solides

Les déchets solides sont produits essentiellement au cours de l'égrappage (rafles) et de l'extraction (tourteaux de palme). Les tourteaux de palme sont composés de fibres (entre 13 à 15 %), coques (environ 5%), rafles (entre 20 à 25%) et de débris (2.5%) (Jacquemard, 2012)

===

Les tourteaux de pressage sont convoyés à travers la vis émottoir afin d'être émietter. La vis est constamment chauffée par de la vapeur afin d'éviter le bourrage de la vis et de réduire l'humidité du tourteau. Les tourteaux passent à travers le défibreur, une colonne où circule un vent fort ascendant qui entraîne les fibres vers le haut et les noix vers le bas. Les fibres sont généralement collectées dans un cyclone et ensuite dirigées vers le foyer de la chaudière tandis que les noix sont soit stockées au niveau du centre de collecte des noix pour certaines unités ou dirigées vers un tambour polisseur de la palmisterie.

Les rafles en sortie du tambour égrappoir sont transportés à travers un convoyeur à rafles et acheminés vers un espace dédié.

1.2.2. Déchets liquides

Les effluents (POME) générés par la production d'huile de palme sont composés des condensats de stérilisation, des boues de clarification et des eaux de lavage. Jacquemard (2012) évalue la quantité d'effluents à 0.8 m³/ tonne de régimes de graines à traiter.

1.3. Techniques de traitement des déchets des huileries de palme

Les études disponibles ont été réalisées sur des entreprises en Malaisie. Avec plus de 39 % de la production mondiale, la Malaisie occupe le premier rang de pays producteur d'huile de palme.

1.3.1. Traitements des POME

Il existe quatre procédés de traitement des POME : les procédés anaérobies, les traitements aérobies, les procédés physico-chimiques, les procédés de séparation membranaires (Ahmed et al., 2015).

1.3.1.1. Traitement anaérobies

a) lagunage naturel

Le lagunage anaérobie est le procédé de traitement des POME le plus répandu et constitue 85% des filières de traitement installé en Malaisie (Chin et al., 2013). Les procédés de lagunage anaérobie sont constitués de plusieurs bassins jouant chacun un rôle spécifique à savoir pouvant être le refroidissement, le mélange, l'acidification, un bassin anaérobie, facultatif ou aérobie. Le nombre de bassins dépend de la charge organique à traiter. Ce procédé présente toutefois plusieurs avantages et limites :

Avantages

- coût d'investissement faible

-
- système fiable
 - pas de consommation d'énergie
 - + Limites
 - emprise au sol importante
 - production et émission de CH₄, CO₂, H₂S directement dans l'atmosphère
 - temps de séjour des effluents importants (> 50 jours)
 - nécessité d'un bon entretien et d'une bonne surveillance
 - sensibilité des microorganismes à la température et au pH

b) Filtres anaérobies

Le filtre anaérobie est réalisé avec un support fixe, réparti en vrac dans le digesteur. Les filtres anaérobies peuvent être utilisés pour traiter les POME (Ahmad et *al.*, 2016) et éliminer jusqu'à 90% de la DCO de l'effluent. Les temps de séjours hydrauliques applicables varient de 1 à 5 jours sur des charges organiques variant de 5 à 15 kg DCO/ m³.j (Moletta, 2011). Borja et Banks (1994) ont utilisé des filtres anaérobies à flux ascendant pour traiter des POME et ont atteint des taux d'élimination de 90 % de la DCO au bout de 6 jours sur des charges organiques variant entre 1,2 à 11,4 kg de DCO/ m³.j. Ils ont obtenu une production journalière de méthane de 20 à 165 litres. Ce procédé présente toutefois plusieurs avantages et limites :

- + Avantages
 - faible coût de construction, d'exploitation et d'entretien
 - concentration élevée de biomasse
 - efficacité d'élimination de la DCO, DBO et de MES
- + Limites
 - accumulation progressive de solides non biodégradables
 - Fréquence de maintenance élevée
 - faible capacité d'élimination des germes pathogènes et des éléments nutritifs

c) Réacteurs à lit fluidisé

Les réacteurs à lits fluidisés permettent de traiter des charges volumiques très élevées entre 20 et 40 kg de DCO/ m³.j pendant des temps de séjour assez réduits entre 0,2 à 1 jour (Moletta, 2011). Ce type de réacteur présente la particularité d'avoir un support particulaire mis en fluidisation par un courant de type ascendant ou descendant.

Borja et Banks (1995) ont démontré que les lits fluidisés présentent une meilleure performance pour le traitement des POME. Les résultats ont montré des taux d'élimination de 78 % de la

DCO pendant un temps de séjour de 6 heures sur des charges organiques de 40 g de DCO/dm³.j. Les réacteurs à lit fluidisé présentent de nombreux avantages et aussi des limites :

✚ Avantages

- absence de risque de colmatage
- surfaces spécifiques importantes
- charges appliquées importantes

✚ Limites

- consommation d'énergie
- Instable

d) Réacteurs UASB (Up-flow anaerobic sludge blanket)

Cette technologie très rustique a prouvé son efficacité dans de nombreux pays (Moletta, 2011). Les réacteurs UASB sont remplis partiellement d'un lit de boues constitués en grande partie par des floccs de microorganismes. L'effluent est réparti au bas du réacteur et est basé sur la formation de granules. Les réacteurs UASB peuvent supporter des charges allant jusqu'à 20 kg de DCO/m³.j pour des temps de séjour hydraulique variant de 0,5 à 2 jours.

Les essais réalisés par Borja et Banks (1995) dans des réacteurs UASB pour le traitement des POME ont montré une efficacité d'élimination de la DCO de 98,4 % pendant un temps de séjour hydraulique de 4 jours pour des charges organiques d'environ 10,63 kg de DCO/m³.j. Les réacteurs UASB présentent aussi des avantages et limites :

✚ Avantages

- concentration élevée de biomasse dans le réacteur
- haut degré de stabilisation des déchets
- Capacité de supporter des conditions mésophiles et thermophiles
- exigence faible en éléments nutritifs

✚ Limites

- long temps de démarrage
- risque de formation de mousses et de boue de flottaison

1.3.1.2. Traitements aérobies des POME

Les procédés aérobies sont des systèmes biologiques d'épuration des eaux usées. En présence d'oxygène, les bactéries hétérotrophes vont transformer la matière organique en CO₂, H₂O et en biomasse active. Les réacteurs aérobies généralement utilisés pour le traitement de

POME sont : les boues activées, les lits bactériens, le disque rotatif, les réacteurs séquentiels discontinus (Ahmed et al., 2015)

a) Boues activées

L'application des boues activées pour le traitement des POME a permis d'atteindre des taux d'élimination de 98,4 %, 97,7 %, 99,2 %, 93,2 % et de 87,5 % respectivement pour la DBO, la DCO, les solides en suspensions, les huiles et graisses (Ho et Tan, 1988).

b) Réacteur séquentiel discontinu

Des taux d'abattement de 95%, 97% et de 98 % ont pu être atteints respectivement pour la DCO, DBO et de MES (Chan et al., 2010)

c) Disque biologique

Les travaux de Najafpour et al. (2005) pour traiter des effluents contenant une charge d'environ 16 kg de DCO/ m³.j ont permis d'atteindre des taux d'abattement de la DCO et de la DBO₅ respectivement de 88% et de 91 % pendant un temps de séjour de 55 h avec une vitesse de rotation des disques de 1,1 .10⁻³ m³/ h.

d) Lit bactérien

L'utilisation des lits bactériens permet d'atteindre des taux d'abattement de la DCO et de la DBO variant entre 83 et 90% (Ahmad et al., 2016). Ils ont pour cela réalisé en premier lieu une phase de décantation et de coagulation chimique afin de réduire la charge à appliquer au filtre.

1.3.1.3. Traitements physico-chimique des POME

Les POME peuvent être traités par des procédés physicochimiques. Ahmed et al. (2015) rapporte divers procédés physicochimiques utilisés tels que la coagulation-floculation, l'électrocoagulation, la flottation, la sédimentation et centrifugation, l'adsorption et les procédés de séparation membranaire.

1.3.2. Traitement des EFB

L'incinération et l'épandage dans les plantations sont les voies de valorisation rencontrées dans les huileries (Jacquemard, 2012). L'épandage consiste après broyage et essorage à composté les rafles qui peuvent être mélangés aux effluents. L'incinération non contrôlée a été interdite dans divers pays (Malaisie, Indonésie) car produisant des quantités importantes de fumées. C'est la pratique la plus rencontrée dans les pays en voie de développement.

1.4. Besoins en énergie des huileries de palme

L'énergie utilisée dans les huileries de palme est composée d'énergie thermique (vapeur d'eau) et d'énergie mécanique (électricité). Ces besoins sont difficiles à évaluer. Tounon (1996) estime les besoins énergétiques par tonnes de régimes traitées à 18 KWh_{e1} et 0,45 tonnes de vapeur. D'autres auteurs ont évalué ces mêmes besoins à 27 KWh_{e1} et entre 0,55 à 0,60 tonnes de vapeur (Hussain et *al.*, 2003; Arrieta et *al.*, 2007)

2.2. Cadre réglementaire de la production, le transport et le dispatching de l'électricité en Côte d'Ivoire

Le but de l'étude juridique était de disposer d'informations sur le secteur de l'énergie en Côte d'Ivoire. La Loi n° 85-583 du 29 juillet 1985 organisant la production, le transport et la distribution de l'énergie électrique en Côte d'Ivoire stipulait que l'état disposait du monopole pour le transport, la distribution et la commercialisation. Les rencontres avec les acteurs de l'ANARE et la consultation des textes, nous ont permis de dégager clairement le cadre réglementaire prévu.

2.2.1. Principaux acteurs

L'état joue un rôle de premier plan dans le secteur de l'énergie en Côte d'Ivoire. Il est le propriétaire de toutes les infrastructures hydro-électriques dont il a confié la gestion à la CIE. La CIE assure depuis 1960 la production, le transport, le dispatching et la commercialisation de l'électricité. L'état a mis en place plusieurs structures. La Société des énergies de Côte d'Ivoire CI- Energies en charge de la gestion du patrimoine du secteur électrique, de la planification et de la maîtrise d'œuvre des investissements, et l'Autorité nationale de régulation du secteur de l'électricité (ANARE) qui joue le rôle de régulateur. Le second groupe est constitué d'opérateurs privé dont le plus ancien est la compagnie ivoirienne d'électricité (CIE), en charge de l'exploitation du secteur électrique. Les structures CIPREL et AZITO ont un contrat de type BOOT (Build Own Operate Transfer) et AGGREKO bénéficie d'une convention de location de deux ans.

2.2.2 Dispositions réglementaires

Si toutes les sources de production de l'énergie ont été autorisées par la loi du 29 juillet 1985, elle n'ouvrait que seulement le secteur de la production au secteur privé. Cependant, la loi N° 2014-132 portant modification du code de l'électricité autorise les opérateurs privés à produire, transporter, distribuer et commercialiser l'électricité, il en exclut néanmoins le dispatching.

2.3. Méthodologie

Dans cette partie nous traiterons de la méthodologie suivie tout au long de l'étude. La collecte des données, visites de terrain et entretiens ont constituées la première étape et permis de faire l'état des lieux de la gestion des déchets de la filière. L'étude de faisabilité technique de la valorisation énergétique des déchets de l'huilerie sera présentée en second lieu, elle traite du choix des échantillons, leur caractérisation physico- chimique, des procédés de valorisation retenus et de la détermination du potentiel énergétique du gisement. Par la suite, une analyse environnementale et financière du projet sera faite en n'omettant pas de présenter le cadre réglementaire.

2.3.1. Approche méthodologique de l'étude diagnostique de la gestion des déchets de la filière

Le but de cette phase était la compréhension du secteur de l'huile de palme et les différents modes de gestion des déchets de cette industrie en Côte d'Ivoire. Elle s'est déroulée en trois étapes

2.3.1.1. Recherche documentaire

La recherche documentaire a porté principalement sur la recherche bibliographique et la collecte de documents utiles à la compréhension du secteur de l'huile de palme. Les sources privilégiées lors de cette étude ont été les données de l'AIPH et celles recueillies sur internet.

2.3.1.2. Visites de terrain et entretien

Cette étape fondamentale a consisté principalement à la visite des unités de production d'huile de palme. Au cours des visites, les différents chefs de production et certaines fois les responsables qualité, hygiène, sécurité, environnement ont été rencontrés. Ils ont décrit le procédé de production industrielle de l'huile de palme, la récupération des déchets et les différentes possibilités envisagées pour l'amélioration. Les difficultés rencontrées étaient nombreuses notamment la réticence des différents responsables des unités sélectionnées due principalement aux derniers événements survenus dans la filière.

2.3.1.3. Analyse environnementale des huileries de palme

A partir des informations recueillies dans la littérature et des observations faites lors des différentes visites, une analyse des probables impacts environnementaux liés aux différents modes de gestion des déchets sur l'air, les eaux de surface et les eaux souterraines a été effectuée. La figure 2 présente le mode de rejet des POME d'une huilerie. Les travaux d'Aké et *al.* (2009) et Anani et *al.* (2012) ont permis d'analyser la vulnérabilité de la zone d'étude et de comprendre les risques liés aux différents modes de gestion des déchets.



Figure 2. Rejet direct de POME

2.3.2. Quantification et caractérisation des déchets des huileries de palme

2.3.2.1. Echantillonnage et estimation du gisement

a) Echantillonnage

Le but de cette étape était de permettre la caractérisation des déchets de l'huilerie de palme.

Pour le choix du site, il a été tenu compte du procédé de production de l'usine qui devait être similaire à l'unité envisagée. Une attention particulière a été accordée au point de prélèvement des POME localisé en sortie du bassin florentin qui est installé dans les moyennes huileries. L'autre aspect était la représentativité des échantillons. Elle a été délicate à mettre en œuvre du fait de la période du stage au cours de laquelle la majorité des unités de production profite pour faire des maintenances techniques. La raison principale évoquée était le manque de matières premières. L'huilerie d'Adjouan a donc ainsi été choisie du fait qu'elle n'a pas subi d'arrêt prolongé durant cette période. En outre, un fonctionnement continu préalable durant une période minimum de deux semaines a été observé.

Les échantillons de POME ont été conditionnés dans deux flacons stérilisés à l'aide d'acide sulfurique de 500 cl. Les prélèvements ont été effectués en sortie du bassin florentin en prenant soin de ne pas les remplir. Deux échantillons de rafles ont ensuite été prélevés à leur sortie du convoyeur à rafles et emballé à l'aide de papier aluminium. La figure 3 montre le bassin florentin du site de prélèvement.



Figure 3. Bassin Florentin du site de prélèvement (Huilerie d'Adjouan)

b) Estimation du gisement

Le projet de valorisation des déchets est basé sur la disponibilité du gisement composé de déchets solides (fibres, coques, rafles et débris) et des effluents. La quantité des rafles est

estimée à 23 % de la quantité des régimes de graines (Fresh Fruit Brunch), quand la quantité des effluents est estimée à 0,8 m³ par tonnes de régimes de graines traitées (Jacquemard, 2012). Dans les huileries de palme, une partie des rafles est mélangée aux débris, fibres et coques vides pour alimenter le foyer de la chaudière, ainsi les quantités de déchets considérés pour l'étude sont de 2/3 des EFB générés et la totalité des effluents. L'estimation du gisement a été faite en tenant compte des données prévisionnelles d'exploitation de l'huilerie envisagée. Ces valeurs varient de 60 000 Tonnes/an pendant les trois premières années pour atteindre 100 000 Tonnes/an à partir de la cinquième.

2.3.2.2. Caractérisation des déchets

Le potentiel énergétique des déchets a été déterminé à partir de l'analyse des paramètres physico-chimiques des échantillons.

Le taux d'humidité, la teneur en cendres et le pouvoir calorifique inférieur ont été analysés pour les EFB et les paramètres analysés pour les effluents POME sont le PH, les matières en suspension, l'azote total, la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biochimique en oxygène (DBO5).

a) Taux d'humidité

Le taux d'humidité correspond à la teneur en eau des échantillons par rapport à leur masse humide. Elle a été mesurée par séchage à la température de 105 °C jusqu'à un poids constant. Le pourcentage d'humidité des différents déchets organiques a été déterminé par la différence de poids de l'échantillon avant et après séchage jusqu'à l'obtention d'un poids constant selon la formule suivante :

$$\% H = (M_0 - M_1) \cdot 100 / M_0$$

$$et : \% MS = 100 - \% H$$

Où :

M₀ : masse initiale de l'échantillon EFB avant séchage

M₁ : masse finale de l'échantillon EFB après séchage

MS : matière sèche

% H : pourcentage d'humidité

b) Taux de cendres

Le taux de cendres a été déterminé par la norme ISO 6884 2012 applicable à tous les corps gras d'origine animale et végétale.

Il est obtenu par détermination du poids de l'échantillon après 6 h dans un incinérateur à une température de 850 °C. Le résultat est obtenu par la formule :

$$\%MM = \frac{M_{850^{\circ}C}}{M_1} * 100$$

Où :

% MM : Taux de cendres

$M_{850^{\circ}C}$: Masse de l'échantillon calciné à 950°C

c) Pouvoir calorifique inférieur (PCI)

Le PCI a été déterminé par mesure directe à l'aide d'une bombe calorimétrique en présence d'oxygène. Le pouvoir calorifique supérieur est donc déterminé à volume constant à partir de l'élévation de température constatée compte tenu des réactions chimiques secondaires et éventuellement des pertes thermiques. Le pouvoir calorifique inférieur est calculé par la suite à partir d'une décomposition élémentaire de l'échantillon de EFB (ADEME, 2001).

d) Matières en suspension (MES)

La teneur en matière en suspension a été déterminée à partir de la norme NF EN872: 2005. À l'aide d'un équipement de filtration sous vide ou sous pression, l'échantillon est filtré sur un filtre en fibres de verre. Le filtre a ensuite séché à (105 ± 2) °C et la masse du résidu retenu sur le filtre a été déterminée par pesée.

e) Teneur en azote total (NTK)

La méthode Kjeldahl (NFEN25663) a été utilisée pour déterminer la teneur en azote total. Cette méthode est effectuée en trois étapes. La première étape est la digestion ou minéralisation de l'échantillon dont le but a été de dégrader la matière organique azotée sous la forme de sel d'ammonium à l'aide du sulfate de cuivre et d'acide sulfurique.

Elle s'est faite à haute température (421°C). La distillation de l'ammoniac, la deuxième étape s'est faite après avoir libéré l'ammoniac sous la forme du sel $(NH_4) SO$ par l'addition d'une solution concentrée de NaOH en excès: L'ammoniac a ensuite été distillé par la vapeur d'eau et piégé dans une solution d'acide borique. L'ammoniac réagit avec l'acide borique pour former

des sels borates d'ammonium. Ensuite l'ammoniac sous la forme de borates d'ammonium a été titré directement à l'aide d'une solution standardisée d'acide(HCl) et d'un indicateur coloré.

Un blanc a ensuite été réalisé par l'ajout de tous les réactifs sauf l'échantillon, pour soustraire l'ammoniac contenu dans les réactifs de l'ammoniac contenu dans l'échantillon.

f) Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en Oxygène a été déterminée selon la norme NFT90-101: 2001. Une prise d'essai de l'échantillon a été portée à reflux, en milieu acide, en présence d'une quantité connue de dichromate de potassium, de sulfate d'argent jouant le rôle de catalyseur d'oxydation et de sulfate de mercure (II) permettant de complexer les ions chlorures. L'excès de dichromate est déterminé avec une solution titrée de sulfate de fer (II) et d'ammonium (sel de Mohr). Le calcul de la DCO s'est fait à partir de la quantité de dichromate de potassium réduite.

Dans le cas des effluents, ce paramètre est souvent utilisé pour caractériser la matière organique car il présente le double avantage d'être un indicateur de la pollution et peut être suivi en considérant la DCO de l'eau traitée et celle sortant sous forme de biogaz (Moletta, 2002).

g) Demande biologique en oxygène (DBO₅)

La demande biologique en oxygène a été déterminée selon la norme NFEN 1899-1: 1998. Après dilution avec différentes quantités d'eau enrichie en oxygène dissous, un ensemencement de micro-organismes aérobies été réalisé après suppression de la nitrification puis les flacons entièrement remplis et fermés ont été incubés à 20°C pendant une durée de 5 jours. Par la suite, la masse d'oxygène consommée par litre d'échantillon a été calculée par détermination de la concentration en oxygène dissous avant et après incubation.

h) Détermination de la Biodégradabilité

Le rapport DCO/ DBO₅ donne une valeur qui permet de déterminer la biodégradabilité des eaux usées (Zongo et al., 2012). Le tableau I présente la classification des eaux usées selon le rapport R.

Tableau I. Caractéristiques des eaux usées en fonction du rapport DCO/DBO (Zongo et al., 2012)

DCO/DBO ₅	Type d'eaux usées
R < 1,66	Eaux facilement traitables biologiquement
1,66 < R < 2,55	Eaux traitables biologiquement
2,55 < R < 5	Eaux devant subir un traitement biologique après adaptation
R > 5	Eaux toxiques et non traitables

i) Rapport DCO/ N

Pour optimiser la digestion anaérobie, la carence en substances nutritives peut inhiber l'action des bactéries. Les proportions idéales des nutriments se rapportent aux rapports DCO :N :P. Zongo et *al.* (2012) estime que des rapports DCO : N de 400 :7 et 1000 :7 sont suffisants pour le traitement de faibles et fortes charges.

2.3.3. Etude de faisabilité technique de la filière de valorisation énergétique des déchets de l'huilerie de palme**2.3.3.1. Choix des Procédés de valorisation**

Plusieurs options sont disponibles et permettent la valorisation énergétique des déchets. Une première sélection est basée tout d'abord sur les caractéristiques physico-chimiques du déchet (Dufour et *al.*, 2007). L'option du traitement biologique est généralement à envisager pour une biomasse très humide. Les différents traitements biologiques sont la fermentation aérobie et la fermentation anaérobie qui regroupe la fermentation alcoolique et la méthanisation.

Pour la biomasse plutôt sèche c'est-à-dire ayant des taux d'humidité inférieurs à 40%, il est généralement recommandé les traitements thermochimiques tels que la pyrolyse, la gazéification et la combustion.

D'autre part, le choix du procédé de valorisation est aussi conditionné par la nature de l'énergie que l'on souhaite produire, il a donc été tenu compte de la possibilité de production d'électricité par les produits générés par les différentes technologies.

a) Choix du procédé de valorisation des POME

Les eaux usées des industries agroalimentaires ont la particularité de contenir une pollution essentiellement organique et biodégradable dépourvues de substances toxiques qui fait qu'elles sont facilement traitables par voies biologique (Moletta, 2002). Par ailleurs, L'option de la méthanisation a été choisie pour la valorisation des POME contrairement au compostage car elle offre la possibilité de production de biogaz directement utilisable pour les besoins énergétiques de l'usine (Dufour et *al.*, 2007). La digestion anaérobie présente plusieurs avantages comparativement aux procédés aérobies telles que (Cresson, 2006):

- la réduction du volume de boues produites par un facteur 5 à 10.
- la valorisation potentielle du biogaz produit
- la diminution du coût énergétique par suppression du transfert d'oxygène ;
- la possibilité de traiter des charges organiques élevées de 2 à plus de 80 kg de DCO par mètre cube de réacteur et par jour avec des taux d'épuration de 80 à 98% ;

- la possibilité de traiter des effluents déséquilibrés ou limités en azote et en phosphore.

b) Choix du procédé de valorisation des EFB

Les EFB étant des déchets biomasse de type solide, les voies possibles de leur valorisation énergétique pour la production d'électricité sont :

- la combustion directe en chaudière suivie d'une turbine à vapeur couplée à un alternateur
- la gazéification qui produit un gaz combustible suivie d'un système de conditionnement du gaz et d'un groupe électrogène (moteur à gaz)

Afin de choisir le procédé de valorisation des déchets EFB, ces différents procédés ont été comparés en tenant compte de plusieurs critères :

- la valeur énergétique des produits générés
- les caractéristiques physicochimiques des EFB
- la facilité d'utilisation des produits générés
- le bilan environnemental de la technologie
- le coût de la technologie
- la maturité et la disponibilité de la technologie
- la facilité d'usage, de maintenance
- la nature des besoins énergétiques de l'usine

2.3.3.2. Dimensionnement méthanisation POME

Parmi tous les procédés de valorisation énergétique des déchets liquides, la méthanisation offre plus de possibilités aux industries agroindustrielles du fait essentiellement de la diversité d'utilisation des produits générés.

a) Choix de la technologie

Le choix de la technologie est un paramètre important pour la digestion anaérobie, il permet de déterminer la charge à appliquer et le temps de séjour hydraulique. (Moletta, 2002). Par ailleurs, il dépend:

- des caractéristiques de l'effluent
- du niveau de technologie demandé
- la situation climatique du pays

Notre choix s'est porté sur les réacteurs UASB compte tenu de leurs performances et de leur facilité d'adaptation à tout type de conditions climatiques. Le tableau II présente les performances épuratoires de différents procédés de digestion anaérobie

Tableau II. Performances épuratoires des procédés de méthanisation (Moletta, 2002)

Digesteur	Charge appliquée (kg de DCO.m ³ de réacteur.j ⁻¹)	Temps de séjour Hydraulique (j ⁻¹)
Lagune anaérobie	0,1 à 1	10 à 60
Contact anaérobie	1 à 5,5	5 à 10
Filtre anaérobie	5 à 15	1 à 5
Hybride	10 à 20	1 à 4
Lit Fluidisé	20 à 40	0,2 à 1
UASB	5 à 20	0,5 à 2
A Compartiments verticaux	9 à 15	2 à 3
A recirculation interne	0,1 à 1	10 à 60

b) Temps de rétention hydraulique (TSH)

Le temps de séjour hydraulique (TSH) représente le temps de séjour moyen que le déchet à traiter passe dans le réacteur. Il est défini par :

$$TSH (j) = \frac{\text{Volume utile du réacteur (m}^3\text{)}}{\text{Flux journalier (m}^3 \cdot \text{j}^{-1}\text{)}}$$

Pour $V > 600 \text{ m}^3$, Noyola (2011) recommande de diviser le digesteur en modules. V , volume utile du réacteur

c) Charge volumique appliquée (CVA)

La charge volumique appliquée est le flux de matière traitée ramenée à l'unité de volume du réacteur. Dans le cas des effluents, le flux de matière à traiter s'exprime souvent en DCO (Moletta, 2002).

$$CVA = \frac{\text{Kg DCO introduits par Jour (kg/j)}}{\text{volume du digesteur (m}^3\text{)}}$$

Pour les effluents

CVA : en kg DCO/ m³.j

Dans le cas des déchets solides, le flux de matière à traiter à partir de la quantité de matières volatiles qui définit la matière organique. n_p

$$CVA = \frac{\text{Kg MO introduits par Jour (kg/j)}}{\text{volume du digesteur (m}^3\text{)}}$$

Pour les solides

CVA : en kg MO/ m³.j

d) Evaluation théorique de la production de biogaz

La production de biogaz a été estimée en tenant compte des données de littérature.

Le potentiel méthanogène équivaut généralement à 350 litres de méthane par kg de DCO dégradée quelle que soit la matière organique (Zongo et *al.*, 2012). Cependant la technologie utilisée et la nature de l'effluent influencent significativement cette production. Une teneur de 65 % de méthane a été considérée dans la composition du biogaz.

e) Valorisation du digestat

Le procédé de digestion anaérobie n'entraîne pas de perte en eau (Berger et *al.*, 2008). Il permet en outre de rendre les éléments minéraux (azote et phosphore) plus assimilables par les plantes du fait de la minéralisation durant le procédé.

Les deux voies de traitement sont le traitement aérobie de ces effluents et la valorisation agronomique.

- Valorisation agronomique

La société HUILE ROUGE SAS dispose d'un réseau de près de 5000 planteurs qui reçoivent chaque année des quantités importantes de fertilisants. La valorisation agronomique des digestats a été retenue pour 1/4 du digestat liquide. Par ailleurs, les cendres provenant de la combustion des EFB peuvent être valorisées en agriculture.

- Traitement du digestat de méthanisation

A la sortie du digesteur, la quantité de DCO résiduelle est faible mais reste supérieure aux normes de rejet (Moletta, 2002). Pour cela il est généralement recommandé de faire un post traitement aérobie.

Pour notre part notre choix s'est penché sur les lits bactériens

f) Dimensionnement du réacteur UASB

Noyola (2011) indique que les éléments principaux du procédé sont l'organisation de la distribution du débit sur le fond du réacteur, le dispositif GLS, le système de récupération de l'effluent, la purge de boues et la récupération du biogaz.

Après la détermination du volume utile du réacteur UASB, les autres paramètres déterminés pour le dimensionnement du réacteur UASB sont la hauteur du réacteur, la surface du réacteur, la vitesse ascendante, le nombre de points d'alimentation selon la procédure générale de

conception de base des réacteurs UASB. Une valeur de $0,75 \text{ m.h}^{-1}$ a été considérée pour la vitesse ascensionnelle de l'effluent.

Le second aspect du dimensionnement a concerné le dispositif de séparation GLS et les autres accessoires tels les déversoirs et les déflecteurs.

L'option de valorisation du biogaz retenue est la cogénération dans un moteur à gaz.

2.3.3.3. Détermination des besoins en énergie de l'huilerie de palme

Les besoins énergétiques ont été déterminés à partir de la liste des moteurs de l'usine présentée en annexe II.

Le dimensionnement des moteurs est basé sur la période de pointe où on considère que l'usine fonctionne 24 H/ 24 durant 6,5 jours / semaine avec trois équipes de travail d'une durée journalière de huit heures. En saison creuse, la production est discontinuë (1 jour/2). Sur l'année, il a été considéré un fonctionnement moyen de 18 heures/ jour pendant 6,5 jours/ semaine.

Le rendement optimal du moteur considéré est de 75 % de sa puissance. Par ailleurs, nous avons tenu compte de la durée de fonctionnement des moteurs. Un fonctionnement de 675 h sur tous les moteurs de l'usine a été considéré à l'exception des moteurs 7 ; 8 ; 11 ; 12 ; 15 ; 16 dont la durée de fonctionnement considéré est de 720 h le mois de pointe.

2.3.4. Etude socio-économique

2.3.4.1. Le coût de revient du kWh

L'étude économique a été focalisée sur le coût de revient du kWh. Elle se calcule à partir de la quantité de kWh produite et du coût d'investissement de la filière de valorisation. Dans notre cas, le coût d'investissement annuel comprend les charges d'exploitations annuelles et l'amortissement du coût global du projet. Les économies réalisées sur la facture énergétique permettront d'évaluer les recettes.

$$\text{Coût de revient} = \frac{\text{Amortissement annuel} + \text{charges d'exploitation}}{\text{Quantité kWh}}$$

2.3.4.2. Les recettes

Les besoins énergétiques ont été difficiles à évaluer, tant les valeurs diffèrent. Les besoins en électriques ont été déterminé en tenant compte de la consommation électrique des équipements, la valeur des besoins électriques a ensuite été évalué en tenant compte du coût

du kilowatt heure électrique. Les recettes sont composées des économies réalisées sur la facture électrique en tenant compte des nouveaux coûts définis par l'arrêté interministériel n° 325/ MPE/ MPMEF/ MPMB du 26 juin 2015 portant modification des tarifs de l'électricité en Côte d'Ivoire.

2.3.4.3. La valeur actuelle nette (VAN)

La valeur actuelle nette (VAN) est un indicateur qui permet de prendre la décision quant à la rentabilité d'un projet d'investissement. Il est calculé en comparant les gains d'un projet à son investissement initial.

$$VAN = -C + \sum_{p=1}^N \frac{CF}{\left(1 + \frac{t}{100}\right)^p}$$

C : le coût de l'investissement

CF : le flux de trésorerie

t : le taux d'actualisation

N : le nombre total d'annuité

P : le nombre d'annuités

Si la VAN est positive, le projet est rentable.

2.3.5. Impact du projet

L'analyse des impacts a été axée principalement sur les aspects environnementaux et socio-économiques.

2.3.5.1. Analyse des impacts environnementaux

L'analyse des impacts environnementaux a porté sur les ressources naturelles telles les cours d'eaux et la nappe.

Par une méthode simplifiée, les émissions évitées de gaz à effet de serre ont été calculée en se basant sur les données de production de l'électricité en Côte d'Ivoire après avoir déterminé un scénario de référence et les sources d'émissions de gaz à effet de serre.

Ensuite, nous avons fait une analyse des impacts de la valorisation énergétique des déchets de l'huilerie de palme sur les ressources naturelles à savoir les cours d'eaux, le sol, la biodiversité.

2.3.5.2. Analyse des impacts socio-économiques

Les retombées de la mise en place du projet ont été analysées pour la communauté, l'entreprise. Elles ont été évaluées en termes de création d'emplois, coût de production pour les retombées directes et des possibilités qu'offre cette filière pour l'entreprise

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

Dans ce chapitre les résultats obtenus suivant la méthodologie adoptée seront présentés. Ces résultats seront interprétés et permettront de définir la filière de valorisation la plus pertinente pour chaque type de déchets. Les analyses des échantillons ont été réalisées par le laboratoire Enval à Abidjan.

3.1. Etat des lieux de la gestion des déchets dans les huileries de palme

3.1.1. Classification des huileries de palme

Les industries de production industrielle d'huile de palme peuvent être classées en trois groupes suivant la capacité de trituration des régimes de graines C. Les huileries de palme peuvent être subdivisées comme indiquée ci-dessous :

- les petites huileries de palme ($C < 25$ t/h)
- les moyennes huileries ($25 < C < 50$)
- les grandes huileries ($C > 50$ t/h)

Le procédé d'extraction d'huile de palme est resté inchangé depuis plus de 50 ans.

3.1.2. Mode de gestion des déchets et analyse des impacts

La majorité des entreprises disposent de chaudières à biomasse qui permettent la combustion d'une partie des déchets solides pour la production de vapeur utilisée dans le procédé d'extraction de l'huile. Les grandes usines telles que Dekel Oil, Sania et Palmci disposent de turbines à vapeur pour la cogénération biomasse (Pasquinou et Randimbivololona, 2012), dans les autres usines des gisements importants de fibres et de rafles restent entassés. Le tableau III présente les procédés de traitement des déchets rencontrés dans différentes huileries de palme en Côte d'Ivoire et les dangers liés à ces pratiques

Tableau III. Huilerie de palme et dangers liés à la gestion actuelle des déchets

	Mode de gestion des EFB	Mode de gestion des POME	Dangers liés au mode de gestion
Palmci	- 4 sites disposent de chaudières à vapeur et turbines à vapeur (cogénération biomasse) (Pasquinou et Randimbivololona, 2012) -	Rejet direct Projet en cours de réalisation pour traitement par bassin de lagunage.	Pollution des eaux Déséquilibre de l'écosystème aquatique Pollution de l'air
DekelOil	Combustion partielle dans une chaudière biomasse (Pasquinou et Randimbivololona, 2012),	Traitement physico chimique et réutilisation de l'eau pour les besoins de	

	enrichissement des tourteaux pour alimentation de bétail	l'usine et des pépinières	
Palmafrique	Combustion partielle dans une chaudière biomasse (Pasquinou et Randimbivololona, 2012)	Rejet à la sortie du bassin florentin	Pollution des eaux Déséquilibre de l'écosystème aquatique
Adam Afrique	Combustion partielle dans une chaudière biomasse (Pasquinou et Randimbivololona 2012)	Rejet à la sortie du bassin florentin	Pollution des eaux Déséquilibre de l'écosystème aquatique Pollution de l'air
Agrivaar	Combustion partielle dans une chaudière biomasse	Filtration sur lit de sable	Pollution de l'air
TrizOil	Combustion partielle dans une chaudière biomasse	Rejet direct dans la rivière à la sortie du bassin florentin	Pollution des eaux Déséquilibre de l'écosystème aquatique Pollution de l'air

3.2. Caractérisation des déchets et besoins en énergie de l'usine de Gaoussoukro

3.2.1. Estimation du gisement

Les résultats détaillés des quantités de déchets sont présentés en annexe IV.

Les quantités de graines varient selon les années et les mois. Le tableau IV présente les prévisions quinquennales de la société.

Tableau IV. Prévisions quinquennales d'approvisionnement en FFB

	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
Quantité (T)	60000	60000	60000	80000	100000

Les déchets générés varient selon la quantité de graines traitées.

✚ Quantité EFB générés

Les quantités de déchets EFB générés par la production d'huile de palme sont dans le tableau V.

Tableau V. Quantité des EFB (T)

	Avril	Octobre	Total
An 1	2 300	460	13 800
An 2	2 300	460	13 800
An 3	2 300	460	13 800
An 4	3 067	613	18 401
An 5	3 833	767	23 000

Les quantités sont en tonnes, elles varient selon la quantité de graines traitées et atteignent leur pic en Avril. Pendant les mois d'Octobre et de Novembre, les quantités sont les moins importantes. L'évolution des déchets due à l'augmentation des quantités de FFB traitées s'explique par l'entrée en production de la plantation industrielle de la compagnie.

Quantité de POME

Les quantités de POME provenant de la production d'huile de palme sont présentées dans le tableau VI.

Tableau VI. Quantité de POME (m^3)

	Avril	Octobre	Total
An 1	8 000	1 600	48 000
An 2	8 000	1 600	48 000
An 3	8 000	1 600	48 000
An 4	10 667	2 133	64 002
An 5	13 333	2 667	80 002

Les quantités de POME sont en m^3 .

3.2. 2. Résultats des analyses

3.2.2.1. EFB

Les résultats des analyses des échantillons de EFB sont consignés dans le tableau VII.

Tableau VII. Résultats des analyses des EFB

Paramètres (Unité)	Résultats
Humidité (%)	14
Cendres (%)	12
Pouvoir calorifique Inférieur (kj/kg)	11660
Matières sèches (%)	85,72
Carbone fixe (%)	18,25
Matières volatiles (%)	74

Les résultats de l'analyse des EFB sont conformes à ceux rapportés par divers auteurs (Chang, 2014). La combustion directe est un procédé connu permettant la production de chaleur en vue de la production de vapeur et d'électricité par cogénération. Son principal inconvénient est la formation de gaz polluants si la combustion n'est pas optimale (Kiesse, 2013). D'autre part,

pour les biomasses très riches en cendres, le problème de formation de mâchefers peut se présenter et engendrer à long terme des problèmes de corrosion des équipements de la chaudière. Cependant, c'est le procédé le plus répandu et éprouvé à l'échelle industrielle. La gazéification permet de produire un gaz combustible riche en CO et H₂ pouvant servir à produire de l'électricité par combustion du gaz dans un moteur à gaz. Cependant, bien que ce procédé soit très intéressant pour la production d'électricité à petite échelle, il est à l'heure actuelle peu éprouvée à l'échelle industrielle (Kristensen, 2002).

L'option de la combustion directe des déchets EFB a été retenue compte tenu de son accessibilité, de sa maturité industrielle et de sa facilité d'usage et de maintenance. Aussi, le pouvoir calorifique inférieur mesuré sur la matière brute de 11660 kJ / kg et le faible taux d'humidité permettent d'opter pour un traitement thermique d'auto-combustion sans mesure d'appoint préalable. Par ailleurs, il pourra être intégré convenablement au process actuel de production d'huile de palme dans lequel l'on utilise des chaudières à biomasse pour la production de vapeur par l'incinération des débris, fibres et une partie des EFB. Ainsi cette voie de valorisation permettra d'éviter des coûts supplémentaires. Kiese (2013) recommande néanmoins la mise en place d'un dispositif de contrôle atmosphérique.

3.2.2.2. POME

Les valeurs de la DBO et la DCO présentés dans le tableau VIII sont légèrement inférieures à celles recommandées par divers auteurs (Tong et Jaafar, 2006) ; (Norfadilah, et al.,2016). Cet écart peut s'expliquer par la différence des différents procédés de gestion des POME. En effet, ces études ont porté sur dans de grandes huileries dans lesquels les effluents ne séjournent pas dans les bassins florentins. Durant ce temps qui peut parfois durer 48 h s'amorce la dégradation de la matière organique.

Tableau VIII. Résultats des analyses des POME

Paramètres	Résultats
PH	4,63
Température (°C)	35
MES (mg/l)	17,8
NTK (mgN/l)	649
DCO (mgO ₂ /l)	38,4 10 ³
DBO ₅ (mgO ₂ /l)	18,3 10 ³

Le rapport DCO/ DBO₅ de 2,09 indique que le POME peut subir un traitement biologique (Zongo et al., 2012). Par ailleurs, le rapport DCO : N indique que les effluents ne sont pas en carences de substances nutritives.

De plus, du fait de la charge organique élevée (DCO > 20 000 mg DCO/ l), notre choix s'est porté sur un procédé de méthanisation à haute performance (CARRERE, 2006)

Parmi tous les procédés de méthanisation à haute performance, le réacteur UASB est celui qui a fait ses preuves dans différentes conditions climatiques. Cette facilité d'adaptation justifie principalement son choix.

3.2.3. Estimation du besoin en électricité de l'usine

Les besoins en électricité calculés le mois de pointe en se basant sur la puissance des équipements et du régime de fonctionnement sont de 21 kWh/ tonnes de FFB traités et est présenté en annexe III. Cette valeur est différente de celles indiquées par Husain et al. (2003) ; Arrieta et al. (2007). Cette différence peut s'expliquer par le régime de fonctionnement de 24h /24 h considéré par ces auteurs durant la période de pointe.

3.3. Dimensionnement des procédés de valorisation

3.3.1. Dimensionnement de la filière de méthanisation

Le dimensionnement a été fait suivant le mois de pointe selon les hypothèses suivantes :

- une production de 0,35 NL de CH₄ / kg de DCO dégradée (Moletta, (2002) ; Zongo et al., (2012)).
- le biogaz produit est composé à 65% de CH₄

3.3.1.1. Technologie retenue

Un système monoétape à haute performance épuratoire a été choisi afin de réduire le temps de séjour hydraulique. Le réacteur à lit fluidisé a permis de réduire le temps de séjour à 3 jours.

3.3.1.2. Volume utile

Pour un temps de séjour de 3 jours et un débit de pointe de 267 m³/ j, le volume utile du réacteur est déterminé suivant la relation

$$V_u = TSH * Q_p$$

TSH : Temps de séjour hydraulique

Q_p : débit de pointe

Le tableau IX présente le volume utile du réacteur nécessaire à la méthanisation de tous les effluents pendant les cinq premières années.

Tableau IX. Volume utile des réacteurs

	V _{mp}	V _{jp}	V _u
An 1	8000	267	800
An 2	8000	267	800
An 3	8000	267	800
An 4	10667	356	1067
An 5	13333	444	1333

V_{mp} : Volume du mois de pointe

V_{jp} : Volume journalier de pointe

3.3.1.3. Charge volumique appliquée

La charge journalière à traiter est de :

$$CVA = \frac{267 * 38,4}{800}$$

La charge volumique appliquée est de 12,8 kg DCO/ m³.j. La première année, l'unité de méthanisation sera composée de deux réacteurs ayant chacun un volume utile de 400 m³ soit une

3.3.1.4. Evaluation théorique production de biogaz.

L'objectif de la dégradation est de 80 % de la DCO dont 5 % sert à la croissance des microorganismes.

La production de biogaz calculée est de 10,08 m³ de CH₄/ m³ de POME soit 15,5 m³ de biogaz / m³ de POME. Le tableau X présente les volumes de biogaz produits pendant les cinq premières années.

Tableau X. Production théorique de biogaz

	V _{pome} (m ³)	V _{jp}	V _{CH4} (m ³)	V _{biogaz} (m ³)	V _{annuelCH4} (m ³)	V _{biogaz annuel} (m ³)
An 1	8 000	267	2 688	4 135	483 840	744 369
An 2	8 000	267	2 688	4 135	483 840	744 369
An 3	8 000	267	2 688	4 135	483 840	744 369
An 4	10 667	356	3 584	5 514	645 140	992 523
An 5	13 333	444	4 480	6 892	806 420	1 240 646

V_{jp} : volume journalier de pointe

V_{CH_4} et $V_{biogaz}(m^3)$: respectivement volume journalier de méthane et de biogaz produit

3.3.1.5. Pré et Post analyse

Le biogaz produit va subir un traitement d'épuration afin d'éliminer les composés toxiques ou corrosifs tels que le sulfure d'hydrogène, l'eau, le gaz carbonique.

L'utilisation d'un filtre à soufre permettra de piéger le sulfure d'hydrogène. Par ailleurs, il est recommandé d'installer des torchères afin d'empêcher le méthane de se dégager dans l'atmosphère.

3.3.1.6. Option de valorisation

Le biogaz produit et épuré va être valorisé par cogénération à travers un moteur de cogénération pour produire de la chaleur et de l'électricité pour les besoins de l'usine. Le PCI du méthane est de 9,94 kWh/m³. En considérant une teneur de 65% dans le biogaz produit, il a été admis une perte 5% pour assurer une bonne alimentation, l'énergie valorisable est de 25383 kWh/jour.

Le moteur doit fonctionner à une charge nominale comprise entre 50 et 100 % et avoir rendement optimum autour de 75 % soit environ 1410 kW.

Le constructeur Gaz Engine nous propose des moteurs Jenbacher de type 4 dont la puissance est de 1487 kW. Nous aurons ainsi une charge de 71%. Les caractéristiques de ce moteur sont :

- Rendement thermique : 42,8 %
- Rendement électrique : 42,4 %
- Taux de pertes : 14,8%

La production annuelle d'électricité et de chaleur pour les cinq premières années calculée est présentée dans le tableau XI

Tableau XI. Production d'électricité

	$V_{\text{annuel}CH_4}$	Energie valorisable (kWh/an)	Production électrique (kw _e /an)	Production thermique (kw _{th} /an)
An 1	483 840	4 568 901	1 937 214	1 955 490
An 2	483 840	4 568 901	1 937 214	1 955 490
An 3	483 840	4 568 901	1 937 214	1 955 490
An 4	645 140	6 092 059	2 583 033	2 607 401
An 5	806 420	7 615 026	3 228 771	3 259 231

3.3.1.7. Réacteur UASB

Pour une hauteur de 6 m comprenant 0,5 m de longueur pour chaque bord libre, la surface du digesteur calculée est $A = 80 \text{ m}^2$

La vitesse ascensionnelle fixée étant de 0,75 m/h, le débit d'alimentation des points d'alimentations Q est de $60 \text{ m}^3/\text{h}$

Pour une densité de 1 point d'alimentation pour 4 m^2 , le nombre de points d'alimentations calculé est de 20.

3.3.2. Dimensionnement de la filière de valorisation des EFB

La filière de valorisation énergétique des déchets EFB est basée sur la combustion biomasse des déchets avec l'option de cogénération de la chaleur et de l'électricité. Les principaux équipements nécessaires sont une chaudière biomasse et une turbine à vapeur et un alternateur. Les turbines à contre pression sont généralement celles utilisées dans les huileries de palme (Nasrin et al., 2011), la vapeur produite par la chaudière a une pression comprise entre 30 et 50 bars est détendue à une pression d'environ 2 à 6 bars à des températures de 130 à 160 °C. Le dimensionnement a été effectué avec l'hypothèse d'une chaudière biomasse fournit par le catalogue de la compagnie Zangzhou boiler Group dont les caractéristiques ont regroupés dans le tableau XII.

Tableau XII. Caractéristiques de la chaudière

Caractéristiques	Valeurs
Pression de timbre (bar)	50
Capacité (T/h)	160
Température de la vapeur saturée	265
Rendement thermique (%)	85

En considérant une turbine à contre pression avec un rendement thermique et électrique respectivement de 78 % et de 12 % la production d'électricité sur la base du PCI déterminé à partir des EFB provenant du traitement d'une tonne de FFB est de 125 kWh. La figure 4 montre la production d'énergie générée à partir de la combustion des EFB.

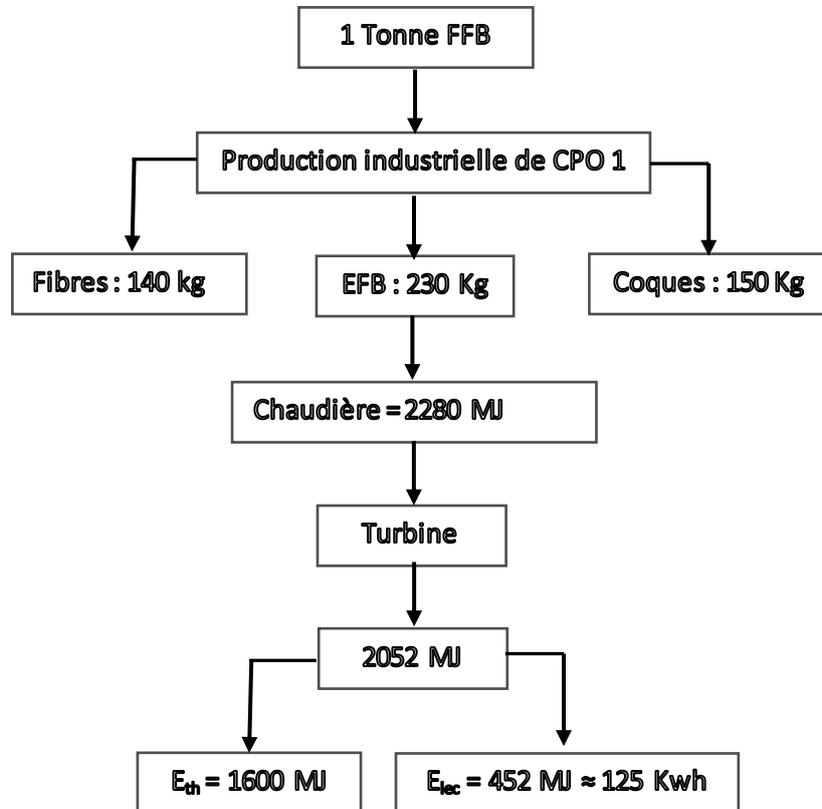


Figure 4. Production d'énergie à partir des EFB

3.3.3. Comparaison énergie électrique produite – Besoin en énergie électrique

L'électricité produite par la valorisation énergétique des déchets permettra de satisfaire totalement les besoins de l'usine, par ailleurs il pourra produire un excédent important variant de 5 737 214 kWh la première année à près de 10 millions de kWh à partir de la cinquième année. Cet accroissement est essentiellement dû à l'augmentation des quantités de déchets générés en tenant compte de la variation des quantités de régimes de graines à traiter tel que rapporté dans le tableau des prévisions quinquennales en Annexe IV..

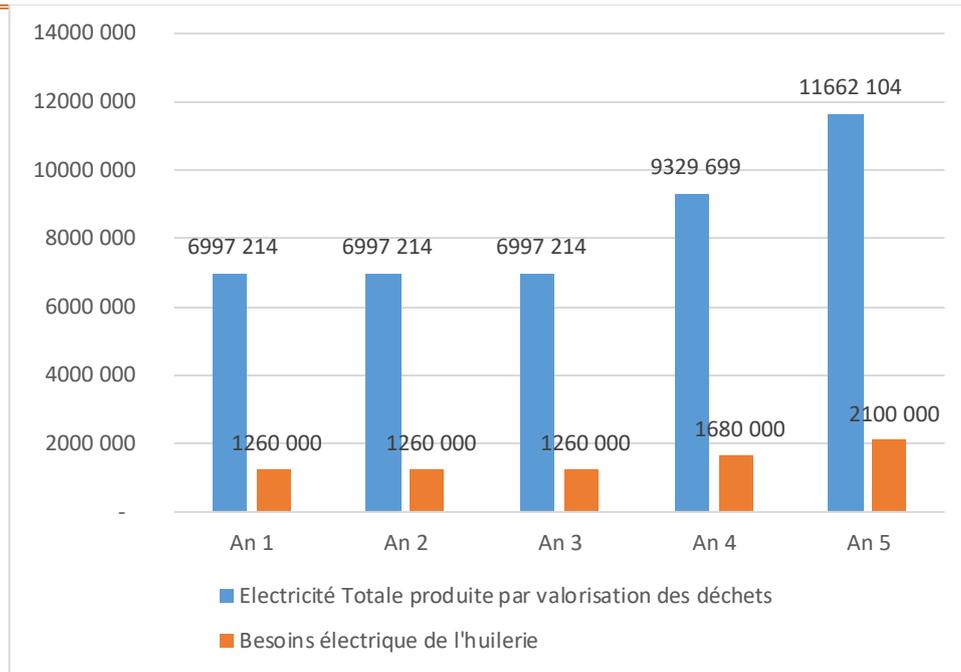


Figure 5. Comparaison Electricité produite - Besoins électrique de l'usine

Cette production va s'accroître de façon significative si l'on tient compte des déchets qui seront produits à l'entame de la production d'huile de palmiste.

3.4. Etude économique

3.4.1. Coût des Investissements

3.4.1.1. Coût de la filière de valorisation des EFB

Le tableau XIII présente le coût d'investissement nécessaire à la mise en place de la filière de valorisation des EFB.

Tableau XIII. Cout des investissements Filière de valorisation EFB

		PU H/ TVA	Qté	TOTAL EUR H/ TVA	TOTAL FCFA H/ TVA
Prétraitement des raffles					
	Dalle	100	30	3 000	1 967 871
	Convoyeur à raffles	75	10	750	491 968
	Moteur du convoyeur	5 000	1	5 000	3 279 785
	Broyeur	600	1	600	393 574
Stockage					
	Silo tampon	2 000	1	2 000	1 311 914
Instrumentation					
		-			
	Humidimètre	3 000	1	3 000	1 967 871
	Régulateur de vitesse	8 000	1	8 000	5 247 656
Combustion					
	Chaudière biomasse (Moteur, ventilateur, pompes d'alimentation)	60 000	1	60 000	39 357 420
	Petits outils (Brouettes, pelles ...)	1 000	1	1 000	655 957
Consommation de la vapeur					
	Turbine à vapeur	100 000	1	100 000	65 595 700
	Alternateur	20 000	1	20 000	13 119 140
	Condensateur	10 000	1	10 000	6 559 570
Raccordement (grue, commande électrique...)					
		30 000	1	30 000	19 678 710
Imprévus				12 168	7 981 357
TOTAL				498 868	327 235 629

3.4.1.2. Coût de la filière de valorisation des POME

Le tableau XIV présente le coût d'investissement nécessaire à la mise en place de la filière de valorisation des POME.

Tableau XIV. Coût des investissements de la filière de valorisation des POME

		PU H/ TVA	Qté	TOTAL EUR H/ TVA	TOTAL FCFA H/ TVA
Digestion					
	Béton	230	270	62 100	40 734 930
	Fer	1 000	20	20 000	13 119 140
	Isolant polyuréthane 40 mm	12	1 100	13 200	8 658 632
	Moule de coffrage	7 000	5	35 000	22 958 495
	Composants du digesteur et tuyaux de vannes	1 107	5	5 535	3 630 722
	Gazomètre fibre et couvercle	712	5	3 560	2 335 207
	Tuyaux et raccords	12 280	1	12 280	8 055 152
	Support bactérien	40	1 000	40 000	26 238 280
	Système d'agitation	3 000	1	3 000	1 967 871
	Pompe avec automatisme	4 700	1	4 700	3 082 998
Démarrage	Inoculum	25	100	2 500	1 639 893
Filtration stockage			-		
	Ballon de 100 m3	2 000	1	2 000	1 311 914
	Serre brise vent (protection ballon)	2 000	2	4 000	2 623 828
	Filtre à soufre 400 m3/jour	2 334	2	4 668	3 062 007
	Pompe biogaz	2 993	1	2 993	1 963 279
Consommation du gaz			-		
	Turbine à Gaz	171 106	1	171 106	112 238 178
Instrumentation				-	-
	Compteur biogaz BF 3000	2 980	1	2 980	1 954 752
	Piège à eau et filtre H2S	15 000	1	15 000	9 839 355
	Analyser PH	112	1	112	73 467
	Analyseur de Température	640	1	640	812
Installation			-		
	Transport, grue, raccordement, tableau de commande	60 000	1	60 000	39 357 420
				465 374	305 265 333

Imprévus		23 269	15 263 267
TOTAL		488 643	320 528 600

3.4.2. Compte d'exploitation Prévisionnel

Les charges d'exploitations décennales sont présentées en annexe V.

Le tableau XV présente le compte d'exploitation des trois premières années. Le flux de trésorerie varie de 13 488 870 à 18 670 979 Fcfa

Tableau XV. Tableau des comptes d'exploitation prévisionnelle

Recettes	Année 1	Année 2	Année 3
Economie Facture énergétique	136 080 000	136 080 000	136 080 000
Vente excédent d'énergie	57 372 141	57 372 141	57 372 141
Total recettes	193 452 141	193 452 141	193 452 141
Charges d'exploitation			
Salaire techniciens	7 200 000	7 200 000	7 200 000
Frais de maintenance et d'entretien	12 000 000	12 000 000	12 000 000
Assurance	2 400 000	2 400 000	2 400 000
Formation professionnelle	2 000 000	2 000 000	2 000 000
Amortissement	64 776 363	64 776 363	64 776 363
Autres services extérieurs	900 000	900 000	900 000
Total charge d'exploitation	89 276 363	89 276 363	89 276 363
Résultats brut d'exploitation	104 175 778	104 175 778	104 175 778
Impôt BIC 25%	-	-	-
Bénéfice net	104 175 778	104 175 778	104 175 778
Amortissement	64 776 363	64 776 363	64 776 363
Remboursement du prêt	90 686 908	88 095 854	85 504 799
Cash-Flow	13 488 870	16 079 924	18 670 979

3.4.3. Calcul VAN

Le cash- Flow a été déterminé sur une période de dix années. Les recettes sont constituées des économies réalisées sur la facture énergétique en tenant compte de la variation des quantités annuelles de graines traitées.

Un taux de croissance de 5% a été appliqué sur les charges d'exploitations toutes les années puis un plan d'amortissement linéaire présenté en annexe VI.

En utilisant un taux d'actualisation de 10%, la valeur actuelle nette trouvée est de 50 871 280 Fcfa. Le projet est donc rentable

3.4.4. Coût de revient du kWh

En première année, la production d'électricité est estimée à 12,75 FCFA pour atteindre une valeur de 8 FCFA à partir de la cinquième année. Ce prix de revient du kWh est largement inférieur à celui pratiqué actuellement pour les industries qui est de 84 FCFA par l'arrêté interministériel n° 325/ MPE/ MPMEF/ MPMB du 26 juin 2015 portant modification des tarifs de l'électricité en Côte d'Ivoire.

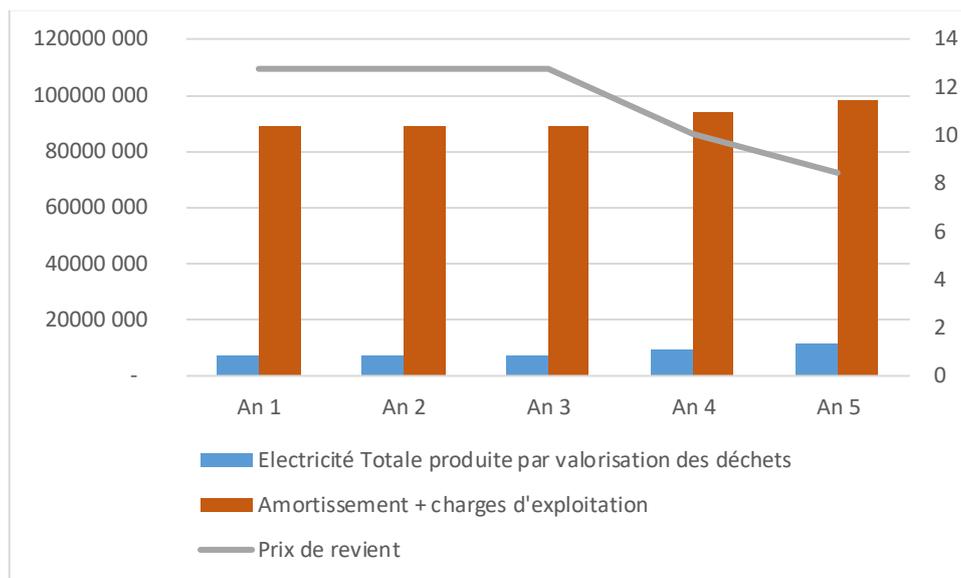


Figure 6. Prix de revient du kWh

3.5. Filière de traitement des eaux usées

3.5.1. Justification du choix lit bactérien

3.5.2. Objectif de rejet

L'effluent (digestat liquide) obtenu après méthanisation reste chargé et ne permet pas un rejet direct selon les normes de rejet présentés en Annexe VII. Les valeurs résiduelles de DCO et de DBO après la méthanisation sont estimées respectivement à 9,525 gO₂/l et 7,32 gO₂/l avec l'hypothèse que la méthanisation permettra une élimination de 75% de la DCO et 60 % de la DBO₅.

L'objectif de rejet correspond à une DBO résiduelle inférieure à 35 mg/l conformément aux recommandations de l'union européenne (PERERA et BAUDOT, 2001).

3.5.3. Dimensionnement

3.5.3.1. Base de dimensionnement

Les recommandations de l'union européenne indique les valeurs ci-dessous pour l'élimination de la pollution par lit bactérien.

- Charge organique kg DBO₅/ m³.j : 0,7
- Hauteur du matériau minimum : 4 m
- Charge hydraulique minimum (m³/ m².h) : 2,2
- Taux de recirculation minimum (%) : 2

3.5.3.2. Volume apparent des matériaux

Le volume apparent des matériaux pour une charge de 0,7 Kg DCO/ m³.j est de 2792 m³. En choisissant le flocor RC comme support de garnissage, la hauteur totale du lit bactérien calculée est de 8,5 m.

3.5.3.3. Section horizontale

Pour une charge hydraulique de 2,5 m³/ m².h pour un débit horaire de 14, 83 m³/ h, la section horizontale correspondante du lit est de 5,93 m².

Le rayon du lit bactérien sera de 1, 4 m.

3.5.3.4. Force d'irrigation

La force de rinçage SK correspond à la chute d'eau en mm lors du passage d'un bras d'aspersion. Elle est définie selon la relation suivante :

$$SK = \frac{1000 (q + r)}{60.a.n}$$

SK : intensité de l'arrosage instantané mm d'eau / passage de bras

q + r : charge hydraulique m³/ m².h

a : nombre de bras du sprinkler

n : vitesse de rotation t/ mn

La valeur du SK doit être optimale afin d'assurer un meilleur fonctionnement du lit. Force (1998) propose des valeurs en tenant compte de la charge organique appliquée. Les deux valeurs de SK recommandées sont le design SK et le Flushing, SK. Dans la pratique la valeur design SK est la valeur faible utilisée la journée qui permet un mouillage optimal du lit tout en maintenant un long temps de séjour alors que le flushing SK est généralement utilisé la nuit et permet de réguler l'épaisseur du biofilm. Elles peuvent être déterminées selon la relation suivante (Albertson 1995):

$$\text{Flushing } SK = 240 + 125 L_B$$

$$\text{Design } SK = \text{Flushing } SK / 15$$

où L_B : charge organique appliquée

les valeurs trouvées sont :

$$\text{Flushing } SK = 328 \text{ mm/ tour}$$

$$\text{Design } SK = 21,9 \text{ mm/ tour}$$

Pour un sprinkler ayant quatre (04) bras, la vitesse de rotation n varie d'une valeur minimale de 0,03 t/ min et une valeur maximale de 0,4 t/min.

3.6. Analyse des Impacts

3.6.1. Impacts environnementaux

3.6.1.1. Pollution des cours d'eaux et de la nappe phréatique

Outre la pollution évidente du fait du rejet direct des effluents des huileries de palme, les gisements de rafles génèrent des quantités importantes de lixiviats qui peuvent contaminer les cours d'eaux et la nappe phréatique.

Le village de Gaoussoukro est situé dans la zone du bassin sédimentaire ivoirien caractérisé par des nappes phréatiques sujette à la pollution (Aké et *al.* (2009) ; Anani et *al.*(2012).

La cogénération des EFB et du biogaz produit par la digestion anaérobie des POME va éviter la pollution de la nappe phréatique et des cours d'eaux très sollicités par les villageois.

Par ailleurs, les effluents étant chauds et acides, leur rejet direct entraînerait des conséquences sur l'écosystème aquatique ainsi le traitement des POME permettra donc de préserver la biodiversité animale et végétale.

3.6.1.2. Emissions évitées

a) Scénario de référence

Dans les huileries de palme, les EFB sont brûlés dans les chaudières dans une proportion de 1/3 de la quantité totale. Les POME après un temps de séjour dans le bassin florentin sont directement rejetés dans des cours d'eaux

b) Identification des sources d'émissions de gaz à effet de serre

Les sources de pollution considérées sont :

- les émissions dues au rejet direct des POME dans les cours d'eaux :
- les émissions dues à l'utilisation de l'électricité de la CIE pour les besoins électriques de l'usine

c) Limites

Les émissions dues à la production d'électricité à partir du biogaz et de la combustion des EFB n'ont pas été comptabilisées dans cette étude de même que celles liées au stockage des EFB. En effet le CO₂ émis lors de la production d'énergie renouvelable est considéré comme n'ayant pas d'impact sur l'effet de serre car il est intégré dans le cycle du carbone végétal plus court que le cycle du CO₂ d'origine fossile. En outre, les émissions lors du rejet direct des POME sont largement inférieures aux émissions de méthane produit par le réacteur de méthanisation la production et la valorisation du biogaz.

d) Calcul des émissions évitées

- ✚ Emissions évitées par la méthanisation en réacteur des POME au lieu de leur rejet direct

La méthanisation en réacteur des POME permet d'éviter les émissions directes de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ainsi pour la première année, la méthanisation en réacteur permettra de réduire les émissions de 483 840 Nm³ de méthane soit 346 tonnes de méthane. Le pouvoir de réchauffement global du méthane équivalent 28 fois à celui du CO₂, la méthanisation en réacteur des POME engendre une réduction des gaz à effet de serre de 8876 teqCO₂ en ne considérant pas les émissions de CO₂ dues à la combustion du biogaz.

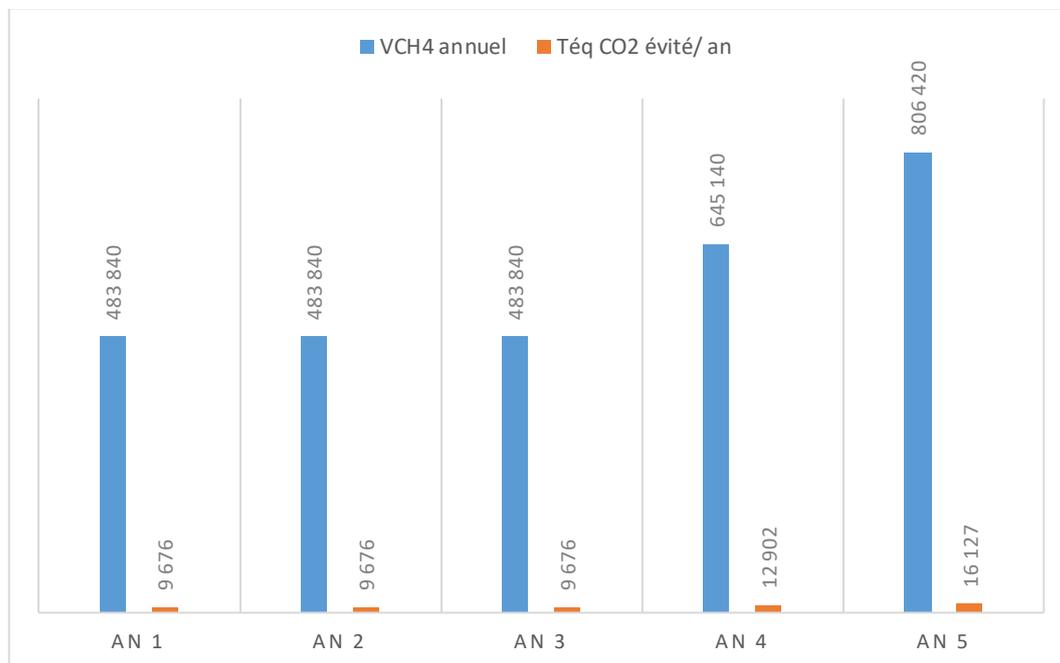


Figure 7 Emission de GES évitées par la méthanisation en réacteur des POME

- ✚ Emissions évitées dues la production d'énergie renouvelable pour l'alimentation de l'huilerie au lieu de l'utilisation de l'électricité du réseau public.

La réduction des émissions due aux économies réalisées sur la consommation électrique est déterminée à partir de la production d'électricité et du facteur d'émission moyen de l'électricité produite en Côte d'Ivoire de 0,408 teqCO₂/ MWh (Thiombiano et al., 2011).

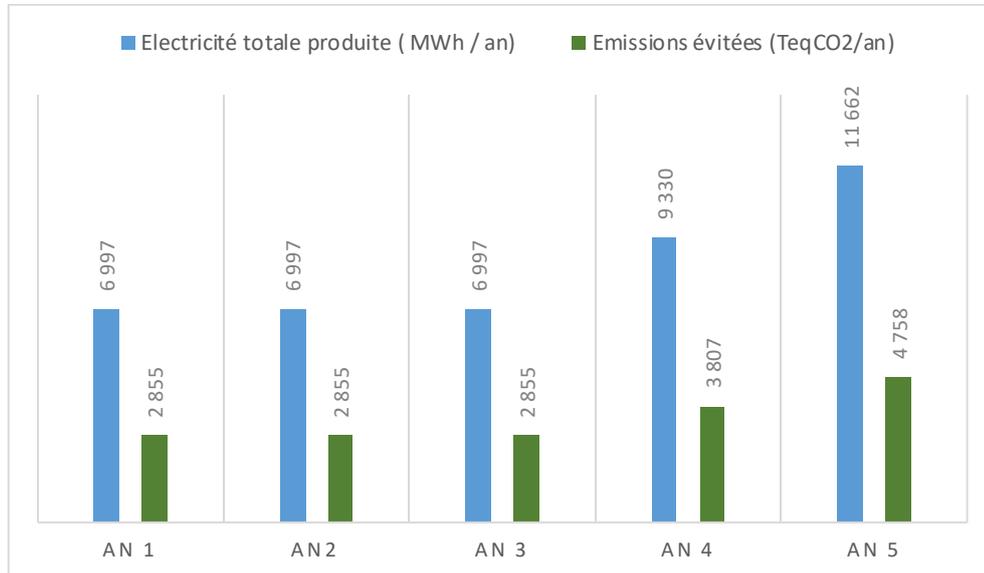


Figure 8. Emissions de GES évitées par la production d'énergie à partir des POME et des EFB

3.6.2. Impacts socio-économiques.

Le choix de la valorisation agronomique des digestats et des cendres permettra de répondre aux sollicitations des planteurs de disposer d'engrais n'agissant pas négativement sur la structure des sols. Les digestats liquides ayant une bonne phytodisponibilité permettront d'offrir des produits biologiques.

En outre, la valorisation des déchets de l'huilerie de palme permettra de créer de nombreux emplois et pourrait susciter un élan de bonne gestion environnementale auprès des industries agroalimentaires en général et en particulier dans le secteur de l'huile de palme.

Ce volet est conforme à la politique RSE de l'entreprise

CONCLUSION

La gestion des déchets industriels est un défi majeur pour nos autorités eu égard au plan national de réduction des gaz à effet de serre. Le coût de la gestion des quantités importantes de déchets des industries doit pousser l'Etat à les encourager par des mesures incitatives afin de les amener à opter à la valorisation énergétique des déchets.

L'objectif de notre étude était la valorisation énergétique des déchets de l'huilerie de palme de la société Huile Rouge située à Gaoussoukro. Cette valorisation est conforme à la politique de transition écologique de l'Etat ivoirien qui vise à donner une place de choix aux énergies renouvelable visant à diminuer les émissions de GES.

A l'issue des résultats physico-chimiques et l'évaluation du potentiel de production d'électricité les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- les huileries de palme ont la capacité d'assurer leur autonomie en électricité par la valorisation énergétique de leurs déchets.
- les procédés intensifs de méthanisation tel que le réacteur UASB doivent être de plus en plus développé dans les industries car permettant de s'affranchir des difficultés liées à l'emprise aux sols de procédé tel que le lagunage.

Sur la base de l'étude économique réalisée, la valorisation énergétique des déchets des industries peut générer une plus-value à l'entreprise par un faible coût de revient et la possibilité qu'offre la vente de l'excédent d'électricité produit.

RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Les résultats de notre étude se basent d'une part sur des échantillons prélevés dans une autre usine et d'autre part sur une évaluation théorique de certains paramètres tels le potentiel méthanogène des POME et les rendements des équipements tels la chaudière et la turbine à vapeur. Ainsi, au chef de la division industrielle nous recommandons par prudence :

- la mise en place d'un essai pilote afin de confirmer ou d'ajuster les paramètres de dimensionnement à savoir le temps de séjour des effluents dans le réacteur, la composition en biogaz, les besoins électriques de l'usine en tenant compte des besoins des bureaux et annexes.
- la mise en place de bassins tampon pour réguler le débit d'alimentation du réacteur, abaisser la température des POME avant leur introduction dans le réacteur et faire une inoculation en cas de carences nutritionnelles.
- une construction progressive des digesteurs pour s'adapter à la montée en charge de l'usine tenant compte de l'évolution des besoins énergétiques, liée aux productions prévisionnelles.
- L'utilisation agronomique des digestats de méthanisation après analyse de la composition en nutriments. Cette option peut être appliquée par voie de fertirrigation

Par ailleurs, à la direction générale nous recommandons le renforcement des capacités du personnel dans l'optique de la mise en place de système intégré de qualité, environnement qui permettra de déboucher sur diverses certifications. Aussi, l'équipement adéquat du laboratoire permettra un contrôle aisé de l'installation.

En outre, les perspectives pouvant être envisagées sont nombreuses et peuvent permettre d'améliorer la filière de valorisation retenue des EFB et des POME. Il s'agit :

- La possibilité de la mise en œuvre d'un cycle combiné et ainsi d'accroître le rendement de production d'électricité
- le choix d'un procédé de gazéification pour la valorisation des EFB en produisant du gaz pourrait après épuration, être introduit dans le moteur à combustion du biogaz et ainsi réduire le coût d'investissement de la filière de valorisation. La gazéification pourrait en outre permettre de s'affranchir des risques de corrosion liés à la fusion de cendres dans les chaudières à biomasse des températures plus faibles obtenues dans le

réacteur de gazéification. Cependant la faisabilité de cette option technologique doit
être au préalable étudiée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahmad, Ashfaq, AzizulBuang, et AH Bhat. 2016. « Renewable and sustainable bioenergy production from microalgal co-cultivation with palm oil mill effluent (POME): A review ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 65: 214-34.
- Ahmed, Yunus, Zahira Yaakob, Parul Akhtar, et Kamaruzzaman Sopian. 2015a. « Production of biogas and performance evaluation of existing treatment processes in palm oil mill effluent (POME) ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42: 1260-78.
- . 2015b. « Production of biogas and performance evaluation of existing treatment processes in palm oil mill effluent (POME) ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42: 1260-78.
- Albertson, Orris E. 1995. « Excess biofilm control by distributor-speed modulation ». *Journal of Environmental Engineering* 121 (4): 330-36.
- Arrieta, FRP, Flavio Neves Teixeira, E Yáñez, E Lora, et E Castillo. 2007. « Cogeneration potential in the Columbian palm oil industry: Three case studies ». *Biomass and Bioenergy* 31 (7): 503-11.
- BAD. 2013. « Côte d'Ivoire - Document combiné de stratégie pays 2013-2017 et de revue du portefeuille 2013 (Version brouillon) - Côte d'Ivoire - Document combiné de stratégie pays 2013-2017 et de revue du portefeuille 2013 (Version brouillon).pdf ». <http://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Project-and-Operations/pdf>.
- Borja, Rafael, et Charles J Banks. 1994. « Treatment of palm oil mill effluent by upflow anaerobic filtration ». *Journal of chemical technology and biotechnology* 61 (2): 103-9.
- . 1995. « Comparison of an anaerobic filter and an anaerobic fluidized bed reactor treating palm oil mill effluent ». *Process Biochemistry* 30 (6): 511-21.
- CARRERE, Mme H. 2006. « Etude du démarrage de procédés intensifs de méthanisation ».
- Chan, Yi Jing, Mei Fong Chong, et Chung Lim Law. 2010. « Biological treatment of anaerobically digested palm oil mill effluent (POME) using a Lab-Scale Sequencing Batch Reactor (SBR) ». *Journal of environmental management* 91 (8): 1738-46.
- Chang, Siu Hua. 2014. « An overview of empty fruit bunch from oil palm as feedstock for bio-oil production ». *Biomass and Bioenergy* 62: 174-81.
- Cheyns, Emmanuelle, Francis Akindes, et Frédéric AkaAdie. 2000. « La filière palmier à huile en Côte d'Ivoire 3 ans après la privatisation: état des lieux d'un procès de recomposition institutionnelle ». *Oléagineux, Corps gras, Lipides* 7 (2): 166-71.
- Cheyns, Emmanuelle, Jean-Philippe Colin, et RUF François. s. d. « COTE-D'IVOIRE ».
- Chin, May Ji, PhaikEongPoh, BengTiTey, Eng Seng Chan, et Kit Ling Chin. 2013. « Biogas from palm oil mill effluent (POME): Opportunities and challenges from Malaysia's perspective ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26: 717-26.
- Cresson, Romain. 2006. « Etude du démarrage de procédés intensifs de méthanisation. Impact des conditions hydrodynamiques et de la stratégie de montée en charge sur la formation et l'activité du biofilm ».
- DE THEUX, Barthélémy. 2004. « Utilisation de l'huile de palme comme combustible dans les moteurs à Diesel ».
- Développement Durable, Sur le. 2001. « SECTEUR INDUSTRIEL ET DEVELOPPEMENT DURABLE EN COTE D'IVOIRE ».
- Dufour, Anthony, P Girods, E Masson, Y Rogau, S Normand, I Da Costa, et A Zoulalian. 2007. « Optimisation de la production d'hydrogène par conversion du méthane dans les procédés de pyrolyse/gazéification de la biomasse ».
- Durand-Gasselín, Tristan, Lisa Blangy, Christian Picasso, Hubert de Franqueville, Frederic Breton, Philippe Amblard, Benoit Cochard, Claude Louise, et Bruno Nouy. 2010. « Sélection du palmier à huile pour une huile de palme durable et responsabilité sociale ». *Oléagineux, Corps gras, Lipides* 17 (6): 385-92.
- ECA, WA. 2013. « economie_verte_quinte_french_fev_11_2014.pdf ». http://www.uneca.org/sites/default/files/uploaded-documents/SROs/WA/economie_verte_quinte_french_fev_11_2014.pdf.

- Force, Joint Task. 1998. « Design of Munnicipal Wastewater Treatment Plants: WEF Manual of Practice No. 8 ». *Alexandria, Water Environment Federation*.
- Ho, CC, et YK Tan. 1988. « The treatment of anaerobically digested palm oil mill effluent by pressurised activated sludge ». *Journal of chemical technology and biotechnology* 41 (1): 75-84.
- Husain, Z, ZA Zainal, et MZ Abdullah. 2003. « Analysis of biomass-residue-based cogeneration system in palm oil mills ». *Biomass and Bioenergy* 24 (2): 117-24.
- Jacquemard, Jean-Charles. 2012. *Le palmier à huile*. Editions Quae.
- Kapseu, César. 2009. « Production, analyse et applications des huiles végétales en Afrique ». *Oléagineux, Corps gras, Lipides* 16 (4-5-6): 215-29.
- Kiesse, Silao Esperance Senga. 2013. « Valorisation énergétique des déchets de bois traités par voies thermo-chimiques (pyrolyse et hydroliquéfaction): Application aux bois traités aux sels de CCB (cuivre-chrome-bore) ».
- Kristensen, O. 2002. « Gasification of CCA impregnated wood ». In .
- Moletta, René. 2002. *La méthanisation (2e ed.)*. Lavoisier..
- . 2011. « Technologies de la méthanisation de la biomasse Déchets ménagers et agricoles ». *La méthanisation (2e ed.)*, 177.
- Nai, Serge, Emmanuelle Cheyng, et François Ruf. 2000. « Adoption du palmier à huile en Côte d'Ivoire - ocl200072p155.pdf ». <http://www.ocl-journal.org/articles/oc1/pdf/2000/02/oc1200072p155.pdf>.
- Najafpour, Ghasem, Hii Ai Yieng, Habibollah Younesi, et Aliakbar Zinatizadeh. 2005. « Effect of organic loading on performance of rotating biological contactors using palm oil mill effluents ». *Process Biochemistry* 40 (8): 2879-84.
- Nasrin, AB, N Ravi, WS Lim, YM Choo, et AM Fadzil. 2011. « Assessment of the performance and potential export renewable energy (RE) from typical cogeneration plants used in palm oil mills ». *J. Eng. Applied Sci* 6 (6): 433-39.
- Norfadilah, Nik, Abdul Raheem, et Razif Harun. 2016. « Bio-hydrogen production from palm oil mill effluent (POME): A preliminary study ». *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Noyola, Adalberto. 2011. « Technologies de traitement des effluents urbains dans les pays chauds ». *La méthanisation (2e ed.)*, 155.
- Pasquinou, Valentin, et Prisca Randimbivololona. 2012. « RECP-synthese-bioelectricite-2012.pdf ». <http://www.afd.fr/webdav/site/afd/shared/PORTAILS/SECTEURS/ENERGIE/pdf/RECP-synthese-bioelectricite-2012.pdf>.
- PERERA, Prudencio, et Bernard BAUDOT. 2001. « PRÉFA ».
- Tong, SL, et A Bakar Jaafar. 2006. « POME Biogas capture, upgrading and utilization ». *Palm Oil Engineering Bulletin* 78 (7).
- Tounon, K. 1996. « Expérience de la société palmindustrie dans l'utilisation des déchets industriels pour la production d'énergie ». *Liaison énergie francophonie*, n° 33: 24-31.
- Umar, MohdShaharin, Philip Jennings, et Tania Urme. 2013. « Strengthening the palm oil biomass Renewable Energy industry in Malaysia ». *Renewable energy* 60: 107-15.
- Zongo, Inoussa, Martine Diallo-Koné, Kalifa Palm, Ablasse Tientoré, Oumar Sanogo, Edouard Guiguemdé, François Lapique, et Jean-Pierre Leclerc. 2012a. « REVIEW OF WASTEWATER FROM THE CITY OF OUAGADOUGOU: SELF-PURIFICATION CAPACITY FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS BILAN DES EAUX USEES DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU: CAPACITE AUTO-EPURATOIRE EN VUE DE LA PRODUCTION DE BIOGAZ ».

ANNEXES



ANNEXE I : VUE 3D DU SITE DE L'USINE





ANNEXE II : LISTE DES EQUIPEMENTS DE L'USINE ET LEURS CARACTERISTIQUES

	Equipements	Qté	Puissance	Unité	Puissance installée (kW)/ moteur	Puissance totale installée (KW)
1.	Tambour égrappoir 7h/h dia 2000, long 4000 20 tr/mm	1,0	60	ch	44,1	44,1
2.	Vis à fruits sous égrappoir (vers élévateur à fruits, long 5500; dia 300	1,0	30	ch	22,1	22,1
3.	Elévateur à Fruits 30 T/ H	1,0	20	ch	14,7	14,7
4.	Vis sur malaxeur 15 T/ H dia 300	2,0	10	ch	7,4	14,7
5.	Convoyeur à Rafles à racleur	1,0	100	ch	73,6	73,6
6.	Malaxeur 1000 IHaut 1500 dia 980, 25 Tr/ min	2,0	30	ch	22,1	44,1
7.	Presses continues à vis 15 T/h	2,0	30	ch	22,1	44,1
8.	Tamis Vibrant à toile métallique	1,0	3	ch	2,2	2,2
9.	Bac à jus paralépidique + pompe 2m3/H	1,0	3	ch	2,2	2,2
10.	Bac de purge du 2 ème décanteur vers le premier	1,0	3	ch	2,2	2,2
11.	Bac de purge vers le premier décant, primaire	1,0	3	ch	2,2	2,2
12.	Déshydrater-Ventilateur 3000 tr/min	1,0	3	ch	2,2	2,2
13.	Station de dépotage + pompe 30-40 m/h	1,0	3	ch	2,2	2,2
14.	Pompes alimentaires	4,0	10	ch	7,4	29,4

15.	Chaudières 4 t/h 6-8 bar	1,0	60	ch	44,1	44,1
16.	ventilateur de tirage	1,0	2,2	kW	2,2	2,2
17.	ventilateur air primaire	1,0	2,2	kW	2,2	2,2
18.	ventilateur air secondaire	1,0	2,2	kW	2,2	2,2
19	Ventilateur alimentation combustible	1,0	2,2	kW	2,2	2,2
20.	Elévateur stérilisateur	1,0	30	ch	22,1	22,1
21.	Souffleur	1,0	20	ch	14,7	14,7
22.	Défibreur	1,0	20	ch	14,7	14,7

ANNEXE III : BESOINS ENERGETIQUES DE L'USINE

Equipements	Puissance totale installée (Kw)	Puissance consommée (kW)	Nb h mois de pointe	Conso Mensuelle (avril) en kWh
Tambour égrappoir 7h/h dia 2000, long 4000 20 tr/mm	44,1	33,1	675,0	22 340,8
Vis à fruits sous égrappoir (vers élévateur à fruits, long 5500; dia 300)	22,1	16,5	675,0	11 170,4
Elévateur à Fruits 30 T/ H	14,7	11,0	675,0	7 446,9
Vis sur malaxeur 15 T/ H dia 300	14,7	11,0	675,0	7 446,9
Convoyeur à Rafles à racleur	73,6	55,2	675,0	37 234,7
Malaxeur 1000 l Haut 1500 dia 980, 25 Tr/ min	44,1	33,1	720,0	23 830,2
Presses continues à vis 15 T/h	44,1	33,1	720,0	23 830,2
Tamis Vibrant à toile métallique	2,2	1,7	675,0	1 117,0
Bac à jus parallépidique + pompe 2m3/H	2,2	1,7	675,0	1 117,0
Bac de purge du 2 ème décanteur vers le premier	2,2	1,7	720,0	1 191,5
Bac de purge vers le premier décant, primaire	2,2	1,7	720,0	1 191,5
Déshydrater-Ventilateur 3000 tr/min	2,2	1,7	675,0	1 117,0
Station de dépotage + pompe 30-40 m/h	2,2	1,7	675,0	1 117,0
Pompes alimentaires	29,4	22,1	720,0	15 886,8
Chaudières 4 t/h 6-8 bar	44,1	33,1	720,0	23 830,2
ventilateur de tirage	2,2	1,7	675,0	1 113,8
ventilateur air primaire	2,2	1,7	675,0	1 113,8
ventilateur air secondaire	2,2	1,7	675,0	1 113,8
Ventilateur alimentation combustible	2,2	1,7	675,0	1 113,8
Elévateur stérilisateur	22,1	16,5	675,0	11 170,4
Souffleur	14,7	11,0	675,0	7 446,9
Défibreur	14,7	11,0	675,0	7 446,9
TOTAL	404,5	303,4		210 387,6

ANNEXE IV : PREVISIONS QUINQUENNALES DE GRAINES ET DES DECHETS
GENERES

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total/an
Qté FFB (T)	4 000	6 000	9 000	10 000	9 000	8 000	4 000	-	2 000	2 000	3 000	3 000	60 000
EFB (T)	920	1 380	2 070	2 300	2 070	1 840	920	-	460	460	690	690	13 800
POME (m3)	3 200	4 800	7 200	8 000	7 200	6 400	3 200	-	1 600	1 600	2 400	2 400	48 000
CPO 1 (T)	800	1 200	1 800	2 000	1 800	1 600	800	-	400	400	600	600	12 000
Coques	120	180	270	300	270	240	120	-	60	60	90	90	1 800
Besoin eau	6 000	9 000	13 500	15 000	13 500	12 000	6 000	-	3 000	3 000	4 500	4 500	90 000
ANNEE 3 - ANNEE 4													
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total/an
Qté FFB (T)	5 333	8 000	12 000	13 333	12 000	10 667	5 336	-	2 667	2 667	4 000	4 000	80 000
EFB (T)	1 227	1 840	2 760	3 067	2 760	2 453	1 227	-	613	613	920	920	18 401
POME (m3)	4 267	6 400	9 600	10 667	9 600	8 533	4 269	-	2 133	2 133	3 200	3 200	64 002
CPO1 (T)	1 067	1 600	2 400	2 667	2 400	2 133	1 067	-	533	533	800	800	16 001
Coques	160	240	360	400	360	320	160	-	80	80	120	120	2 400
Besoin eau	8 000	12 000	18 000	20 000	18 000	16 000	8 004	-	4 000	4 000	6 000	6 000	120 005
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total/an
Qté FFB (T)	6 667	10 000	15 000	16 667	15 000	13 334	6 667	-	3 334	3 334	5 000	5 000	100 000
EFB (T)	1 533	2 300	3 450	3 833	3 450	3 067	1 533	-	767	767	1 150	1 150	23 000
POME (m3)	5 333	8 000	12 000	13 333	12 000	10 667	5 333	-	2 667	2 667	4 000	4 000	80 002
CPO1 (T)	1 333	2 000	3 000	3 333	3 000	2 667	1 333	-	667	667	1 000	1 000	20 000
Coques	200	300	450	500	450	400	200	-	100	100	150	150	3 000
Besoin eau	10 000	15 000	22 500	25 000	22 500	20 001	10 000	-	5 001	5 001	7 500	7 500	150 003

ANNEXE V : CHARGES D'EXPLOITATION PREVISIONNELLES

Recettes	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Année 7	Année 8	Année 9	Année 10
Economie Facture énergétique	136 080 000	136 080 000	136 080 000	181 440 000	226 800 000	226 800 000	272 160 000	272 160 000	340 200 000	340 200 000
Vente excédent d'énergie	57 372 141	57 372 141	57 372 141	76 496 995	95 621 042	95 621 042	114 744 281	114 744 281	143 430 352	143 430 352
Total recettes	193 452 141	193 452 141	193 452 141	257 936 995	322 421 042	322 421 042	386 904 281	386 904 281	483 630 352	483 630 352
Charges d'exploitation										
Salaire techniciens	7 200 000	7 200 000	7 200 000	7 560 000	7 938 000	8 334 900	8 751 645	9 189 227	9 648 689	10 131 123
Frais de maintenance et d'entretien	12 000 000	12 000 000	12 000 000	12 600 000	13 230 000	13 891 500	14 586 075	15 315 379	16 081 148	16 885 205
Assurance	2 400 000	2 400 000	2 400 000	2 520 000	2 646 000	2 778 300	2 917 215	3 063 076	3 216 230	3 377 041
Formation professionnelle	2 000 000	2 000 000	2 000 000	2 100 000	2 205 000	2 315 250	2 431 013	2 552 563	2 680 191	2 814 201
Amortissement	64 776 363	64 776 363	64 776 363	64 776 363	64 776 363	64 776 363	64 776 363	64 776 363	64 776 363	64 776 363
Autres services extérieurs	900 000	900 000	900 000	945 000	992 250	1 041 863	1 093 956	1 148 653	1 206 086	1 266 390
Total charge d'exploitation	89 276 363	89 276 363	89 276 363	93 740 181	98 427 190	103 348 550	108 515 977	113 941 776	119 638 865	125 620 808
Résultats brut d'exploitation	104 175 778	104 175 778	104 175 778	164 196 814	223 993 852	219 072 492	278 388 304	272 962 506	363 991 487	358 009 544
Impôt BIC 25%	-	-	-							
Bénéfice net	104 175 778	104 175 778	104 175 778	164 196 814	223 993 852	219 072 492	278 388 304	272 962 506	363 991 487	358 009 544
Amortissement	64 776 363	64 776 363	64 776 363	64 776 363	64 776 363	64 776 363	64 776 363	64 776 363	64 776 363	64 776 363
Remboursement du prêt	90 686 908	88 095 854	85 504 799	82 913 744	80 322 690	77 731 635	75 140 581	72 549 526	69 958 472	67 367 417
Cash-Flow	13 488 870	16 079 924	18 670 979	81 283 069	143 671 162	141 340 857	203 247 724	200 412 979	294 033 015	290 642 127

ANNEXE VI : TABLEAU D'AMORTISSEMENT DU PRET

Année	Capital Restant à Rembourser	Intérêt	Amortissement	Annuité
0	647763628,7			
1	647 763 629	25 910 545	64 776 363	90 686 908
2	582 987 266	23 319 491	64 776 363	88 095 854
3	518 210 903	20 728 436	64 776 363	85 504 799
4	453 434 540	18 137 382	64 776 363	82 913 744
5	388 658 177	15 546 327	64 776 363	80 322 690
6	323 881 814	12 955 273	64 776 363	77 731 635
7	259 105 451	10 364 218	64 776 363	75 140 581
8	194 329 089	7 773 164	64 776 363	72 549 526
9	129 552 726	5 182 109	64 776 363	69 958 472
10	64 776 363	2 591 055	64 776 363	67 367 417

ANNEXE VII : NORMES DE REJET DES EAUX USEES EN COTE D'IVOIRE

CHIMIE TECHNOLOGIE Représentant IMPROCHEM (Ex SÛD-CHEMIE / CLARIANT Afrique du sud)	Département Traitement des eaux	
Enregistrement : Fiche de contrôle des eaux	Version : 01	Page 1 / 3

Analyse N° LAB CT 12 / 2016
Date : 30 / 05 / 2016

Agréée CIAPOL, Décision N°0080/MINESUDD/CIAPOL du 19 Juin 2015

Nature des échantillons :	Eaux Usées Usine
Analyses effectuées par :	CHIMIE TECHNOLOGIE
Lieu de prélèvement :	AIRONE
Echantillon prélevé par :	AIRONE
Date de prélèvement :	20 / 05 / 2016
Date d'analyse :	23 / 05 / 2016
Analyse N° :	LAB CT 12/ 2016

A l'attention de :

	Résultats des analyses			Réglementation des rejets ivoiriens	Méthodes
	Salle Emboitage	Salle Cuisson	Unités		
PARAMETRES PHYSICO – CHIMIQUES					
<i>pH</i>			-	5,5 – 8,5	Sonde multiparamétrique
<i>Température</i>			° C	≤ 40	Sonde multiparamétrique
<i>DCO</i>			mg/l O ₂	< 500	Digestion au dichromate
<i>DBO₅</i>			mg/l O ₂	< 150	Incubation à 20°C / 5 Jours
<i>COT</i>			mg/l O ₂	< 50	Spectrophotométrie
<i>MES</i>			mg/l	< 150	Filtration sur papier GF/C
<i>Azote Total</i>			mg/l	< 50	Spectrophotométrie
MICROPOLLUANTS ORGANIQUES					
<i>Huiles et Graisses</i>			mg/l	< 30	Extraction et Gravimétrie

Agrément CIAPOL
N° 0080/MINESUDD/CIAPOL

CHIMIE TECHNOLOGIE
15 BP 1147 ABIDJAN 15
Tél: 21 27 22 76 - Fax: 21 27 30 22