



**RENTABILITE DE LA SUBSTITUTION DE L'ENERGIE
ELECTRIQUE D'ORIGINE THERMIQUE PAR UNE
PRODUCTION ELECTRIQUE ISSUE DES DERIVES
DE L'HUILERIE-SAVONNERIE / CAS DE L'USINE
SIAT GABON DE LAMBARENE**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER2 GESTION DES INFRASTRUCTURES ET SERVICES
OPTION : ENERGIES RENOUVELABLES

Présenté par :

Christophe César ALLELA ROVARIA

Promotion [2013 / 2014]

REMERCIEMENTS

J'ai effectué mon stage de fin de cycle à la société SIAT Gabon, dont les portes m'ont été ouvertes par Mr Pierre Antoine COUVREUR, directeur des opérations. Qu'il soit remercié pour avoir marqué son accord de m'accueillir dans cette entreprise.

Mes remerciements vont également à mes encadreurs techniques sur le terrain MM. Daniel MEULEMANS et Marc NYARE BILONG qui n'ont ménagé aucun effort aussi bien pour mon intégration dans les différentes équipes que pour la fourniture de divers documents et explications techniques des procédés de production de l'huile de palme.

Je tiens à remercier la fondation 2IE, l'équipe dirigeante et le corps professoral de la formation professionnelle en ligne (FPL) pour l'opportunité qui nous est offerte de suivre une formation de qualité reconnue sur le plan international, tout en maintenant nos activités professionnelles dans nos pays respectifs.

Je souhaite témoigner toute ma gratitude au Dr François PINTA, enseignant chercheur CIRAD/2IE, dont les conseils avisés et les recommandations pertinentes m'ont permis de mieux structurer ce mémoire.

A mes chers amis de la cohorte C1013, particulièrement Francisco DOLEY, Julien BULGO WENPENG, Patrice Baudelaire MAKONGO, soyez remerciés pour l'entente cordiale et les échanges féconds que nous avons eus durant cette scolarité.

Mes remerciements vont enfin à mon épouse, Firmine ALLELA, pour la patience et la compréhension durant cette longue période d'études pendant laquelle j'ai souvent été moins présent, moins attentionné, mais aussi et surtout pour les pics, les encouragements, les nombreuses marques d'attention à mon endroit par rapport à ce master2. Merci encore FYNE.

A Salif, Cathy, Ericka, Ibrahim « le champion du monde », mes moufflets.

RESUME

L'accès à l'énergie électrique est le gage de tout développement économique. Cependant, la production d'électricité en Afrique subsaharienne est majoritairement réalisée avec des groupes thermiques fonctionnant au gas oil.

La grande disponibilité des énergies renouvelables en Afrique (Hydraulique, solaire, biomasse notamment) devraient inciter les pays africains à résolument s'orienter vers l'utilisation des énergies renouvelables.

L'étude que nous avons menée à la SIAT Gabon à Lambaréné porte sur la détermination de la rentabilité financière d'un projet de substitution du combustible gas oil par de l'huile de palme qui est une ressource renouvelable.

Pour démontrer la rentabilité du projet, nous avons utilisé quatre (4) indicateurs : la valeur actuelle nette (VAN), le taux de rentabilité interne (TRI), l'indice de profitabilité (IP), et le délai de récupération des fonds investis (DRFI).

La méthodologie mise en œuvre nous a permis de démontrer que pour l'utilisation du nouveau groupe ABC, la substitution du combustible gas oil par l'huile de palme sera totale.

La production mensuelle de stéarine de palme du complexe est de 264 180 Kg, pour couvrir les besoins mensuels en énergie électrique du complexe qui sont de 313 745 KWh, le groupe ABC consomme 66 062 Kg de stéarine de palme.

Ce projet de substitution de combustible, d'un montant de 918 400 000 F CFA, permet à la SIAT Gabon de réaliser des économies annuelles de 389 818 000 F CFA pour l'achat du gas oil, et de 64 080 000 F CFA pour les frais de maintenance.

La production d'énergie par le groupe ABC fonctionnant à la stéarine de palme permet d'éviter annuellement le rejet dans l'atmosphère de 1321, 76 tonnes de CO₂.

Mots clés :

-
1. Huile végétale carburant
 2. Huilerie de palme
 3. Production d'électricité
 4. Energies renouvelables
 5. Rentabilité

ABSTRACT

Access to electrical energy is the guarantee of any economic development. However, electrical production in sub-Saharan Africa is mainly realized with thermal groups running on gas oil.

The great availability of renewable energy in Africa (hydraulic, solar, biomass in particular) should encourage African countries to resolutely move towards the use of renewable energy. The study we conducted at SIAT Gabon Lambaréné concerns the determination of the financial profitability of a substitution project of the fuel gas oil by palm oil, which is a renewable resource.

To demonstrate project profitability, we used four (4) indicators: the net present value (NPV), internal rate of return (IRR), profitability index (PI), and the payback period of invested funds (PPIF).

The implemented methodology allowed us to demonstrate that for the use of the new group ABC, the substitution of the fuel gas oil by palm oil will be total.

The monthly production of complex palm stearin is 264.180 kg, to cover the monthly electrical power needs of complex that are of 313.745 KWh, the ABC group consumes 66.062 kg of palm stearin.

This fuel switch project in the amount of 918 400 000 FCFA, allows SIAT Gabon to make annual savings of 389 818 000 F CFA for the purchase of gas oil, and 64 080 000 F CFA for the expenses of maintenance.

Energy production by ABC group operates in palm stearin provides annually avoiding atmospheric release of 1321.76 tons of CO₂.

Key Words:

1. Vegetable Oil Fuel
2. Palm Oil Mill
3. Electrical production
4. Renewable energies
5. Profitability

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

HVC	Huile Végétale Carburant
ABC	Anglo Belgian Corporation
DRFI	Délai de Récupération des Fonds (du capital) investis
PCI	Pouvoir calorifique inférieur
SIAT	Société Internationale pour l'Agriculture Tropicale
CPO	Crude Palm Oil
RBDO	Raffiné, blanchi, dégomme, oil
EGR	Exhaust Gas Recirculation
PME	Petites et Moyennes Entreprises
VAN	Valeur Actualisée Nette
TRI	Taux de Rentabilité Interne
IP	Indice de profitabilité
FPL	Formation professionnelle en ligne
BVMAC	Bourse des Valeurs Mobilières de l'Afrique Centrale
SEEG	Société d'Energie et d'Eau du Gabon
CIRAD	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
LBEB	Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburants
2IE	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
AIE	Agence Internationale de l'Energie
tpm	tours par minute

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	4
1.2 Contexte	6
1.3 Objectifs de l'étude	7
1.4 Présentation de l'entreprise	8
II. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	9
2.1 Présentation du processus de fabrication de l'huile de palme.....	9
2.2 Production de l'huile de palme brute.....	9
2.3 Raffinage de l'huile de palme.....	13
2.4 Utilisation à SIAT Gabon des fractions obtenues.....	15
2.5 Inconvénients de l'utilisation de l'huile de palme comme carburant.....	16
III. MATERIELS ET METHODES	18
3.1 Méthodologie et hypothèses retenues pour l'évaluation de la rentabilité du projet.....	18
3.2 Etude de sensibilité.....	25
IV. RESULTATS	26
4.1 Calcul détaillé de la consommation en huile de palme du groupe.....	26
4.2 Evaluation économique du projet.....	27
4.3 Etude de sensibilité.....	28
4.4 Détermination de la quantité de CO ₂ épargnée par la mise en œuvre du projet.....	31
V. ANALYSES ET DISCUSSIONS	32
5.1 Substitution des moyens de production.....	32
5.2 Rentabilité de l'investissement.....	32
5.3 Etude de sensibilité du projet.....	32
VI. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	36
VII. BIBLIOGRAPHIE	38
VIII. ANNEXES	39

LISTE DES TABLEAUX

- TABLEAU_1 : CARACTERISTIQUES GAS OIL / HUILE DE PALME
TABLEAU_2 : CONSOMMATIONS ET COUTS D'OPERATION DES INSTALLATIONS
TABLEAU_3 : PRODUCTIONS DE LA RAFFINERIE
TABLEAU_4 : QUANTIFICATION DES BESOINS EN MATIERE PREMIERE DU
GROUPE ABC
TABLEAU_5 : INVESTISSEMENTS, CHARGES ET REVENUS LIES AU GROUPE
ABC

LISTE DES FIGURES

FIGURE_1 : WAGONNETS DE REGIMES DE PALME POSITIONNES DEVANT DEUX
STELIRISATEURS

FIGURE_2 : OLEINE DE PALME

FIGURE_3 : STEARINE DE PALME

SCHEMA_1 : ETAPES DU TRAITEMENT DE L'HUILE BRUTE

SCHEMA_2 : CIRCUIT DE TRAITEMENT DE L'HUILE DE PALME BRUTE EN USINE

SCHEMA_3 : ETAPES DU RAFFINAGE DE L'HUILE BRUTE

I. INTRODUCTION

L'industrialisation des pays d'Afrique subsaharienne est fortement tributaire de l'énergie électrique dans ses trois composantes que sont:

- Qualité

Les machines utilisées dans nos pays sont importées d'occident, elles sont fabriquées pour fonctionner selon des normes occidentales que nous n'avons souvent pas la possibilité de mettre en place et de respecter.

Il en est ainsi des plages de fourniture de l'énergie électrique pour un fonctionnement optimal des appareils raccordés au réseau électrique.

- Quantité

Les besoins croissants des populations urbaines en énergie électrique sont rarement satisfaits toute la journée entière. Il est fréquent que les sociétés nationales de production d'électricité procèdent à des délestages tournants pour « satisfaire » tout le monde.

Pour un industriel dont la production doit se faire selon un rythme régulier, cette situation oblige souvent à recourir à des groupes électrogènes diesel, ce qui engendre d'autres problèmes et d'autres coûts au sein de l'entreprise.

- Coût

La production d'énergie électrique étant majoritairement assurée par des moyens de production thermique qui utilisent le gas oil, produit pétrolier d'importation, le coût de l'électricité est unanimement reconnu comme étant l'un des principaux freins à une industrialisation massive du continent.

Le développement et la mise en œuvre de moyens alternatifs de production, n'utilisant pas les énergies fossiles, est l'une des voies qui permettrait de baisser les coûts de vente de l'électricité, ce qui permettrait d'augmenter le nombre des industries africaines et d'améliorer leur compétitivité. La facture d'électricité est souvent l'un des postes le plus important dans

la structure du coût de production des biens fabriqués par les petites et moyennes entreprises (PME) en Afrique.

Ce mémoire se focalise sur l'étude de la rentabilité économique de la mise en œuvre d'une production d'énergie électrique utilisant un combustible alternatif au gas oil, combustible provenant d'une matière première renouvelable : le palmier à huile.

1.2 Contexte

La fabrication de l'huile de palme raffinée peut être scindée en deux étapes:

- Production
- Raffinage

Chacune des étapes produit des déchets spécifiques qui peuvent être utilisés pour la production de l'énergie électrique.

1.2.1 Production

La partie production intègre les processus qui vont de l'arrivée des régimes de palme à l'usine jusqu'à la sortie du crude palm oil (CPO) ou huile de palme brute, encore appelée huile rouge.

1.2.2 Raffinage

Le raffinage reçoit l'huile brute qui va être traitée pour la mise en commercialisation. On peut avoir les deux unités de traitement sur un même site cote à cote, ou sur des sites différents. Il y a plusieurs avantages à regrouper toutes les unités sur le même site, cela permet notamment :

- Une utilisation de l'ensemble des résidus issus des différentes unités aux fins de produire l'énergie électrique, ce qui en fonction de la taille de l'installation permet une autonomie totale en électricité pendant les cycles de production
- Une absence de coût de transport de l'huile de palme brute
- L'acquisition de moyens logistiques propres moins importants

Dans le cas de la société SIAT GABON, la production et le raffinage sont faits sur deux sites différents distants de 80 Km environ : Makouké et Lambaréné.

Dans ce contexte, le travail présenté dans ce mémoire est une analyse de l'impact économique et financier de l'utilisation des résidus de la raffinerie de Lambaréné pour la production de l'énergie électrique.

Nous allons présenter les coûts d'opération et de maintenance de la production d'énergie électrique à la raffinerie dans la situation initiale avec utilisation d'une centrale à gas oil, présenter les coûts engendrés par l'acquisition et le fonctionnement du nouveau groupe avec utilisation de l'huile végétale, pour enfin vérifier si cette opération de substitution de moyen de production est rentable pour l'entreprise.

1.3 Objectifs de l'étude

Les objectifs spécifiques de la présente étude réalisée sur le site de Lambaréné sont :

- Faire un état des lieux des coûts de la production thermique utilisant le gas oïl
- Quantifier les besoins en matière première du nouveau groupe par rapport à la consommation du complexe industriel pour établir si la substitution de production est partielle ou totale
- Faire une évaluation économique de la rentabilité de l'opération de substitution de la production d'électricité d'origine fossile qui alimente le site de l'usine de Lambaréné par une production électrique à partir de la fraction stéarique de l'huile de palme.

1.4 Présentation de l'entreprise

SIAT (Société Internationale Pour l'Agriculture Tropicale) est une société anonyme de droit belge constituée en 1991 dont les activités sont principalement :

- Investir dans des projets agro-industriels
- Gérer des projets et des sociétés agro-industriels
- Fournir des services techniques et des conseils pour l'implantation de projets agricoles et agro-alimentaires
- Apporter un appui logistique à ses filiales

SIAT a des filiales au Nigeria, au Ghana et au Gabon.

Au Gabon, SIAT détient 98% de SIAT Gabon qui exploite 8000 ha de plantation d'hévéa, 8000 ha de plantation de palmiers à huile et un ranch de 100000 ha avec actuellement 2000 bovins.

SIAT Gabon a été créée le 05 avril 2004 suite à la reprise des actifs agro-industriels des sociétés Agrogabon (Ancienne société d'état en charge de la production-commercialisation de l'huile de palme au Gabon), Hevegab (Ancienne société d'état en charge de la production-commercialisation des gommages de caoutchouc), et le ranch de la Nyanga (élevage bovins).

Les activités de SIAT Gabon portent essentiellement sur la création et l'exploitation de plantation de palmiers à huile, de l'hévéaculture et de l'élevage bovin. Il s'agit d'activités agronomiques, industrielles et commerciales. Ces activités sont réparties sur quatre provinces au Gabon :

- Le Woleu Ntem et l'Estuaire : Activités d'hévéaculture
- Le Moyen Ogooué : Activités du palmier à huile
- La Nyanga : Activités d'élevage bovin

II. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 Présentation du processus de fabrication de l'huile de palme

La première étape en production, qui ne rentre pas dans le processus de transformation de la matière première, consiste à peser à vide et chargés les véhicules qui transportent les régimes de palme afin de calculer la quantité de matière brute rentrée dans l'usine.

Cette étape est fondamentale pour déterminer les différents ratios de production de l'usine.

2.2 Production de l'huile de palme brute

La qualité de l'huile de palme dépend de la qualité des régimes livrés. Pour éviter toute dégradation, il convient de traiter aussitôt que possible les régimes coupés. La norme à SIAT Gabon est un traitement au plus tard dans les deux jours qui suivent la coupe.

Les principales étapes du processus de production de l'huile de palme brute sont les suivantes :

2.2.1 Stérilisation

Le but de cette opération est de tuer les microorganismes et stopper l'acidification des fruits. Elle est réalisée dans des stérilisateur horizontaux de grands diamètres dans lesquels on fait entrer des wagonnets de cages de régimes de palme.

Un cycle de stérilisation dure en moyenne 90 minutes et se fait avec de la vapeur saturée entre 2,5 et 3 bar. Il faut en moyenne 600 Kg de vapeur et 15 à 20 KWh par tonne de régimes traités.

Cette opération facilite également le détachement des fruits qui a lieu au cours de l'étape suivante [3].



FIGURE_1 : WAGONNETS DE REGIMES DE PALME POSITIONNES DEVANT DEUX STERILISATEURS [18]

2.2.2 Egrappage

Les régimes stérilisés sont introduits dans la cage de l'égrappoir qui tourne à faible vitesse pour séparer les fruits de la rafle. La rafle vide est envoyée à la chaudière à vapeur pour servir de combustible.

2.2.3 Malaxage

Le malaxage, opéré mécaniquement pendant une durée de 20 à 40 minutes à une température voisine de 100° C, sépare les fibres des noix.

Ce malaxage qui prépare la matière pour l'étape suivante de pression, permet la libération de l'huile par la dilacération des fruits et assure la séparation des fibres et des noix [3].

2.2.4 Extraction

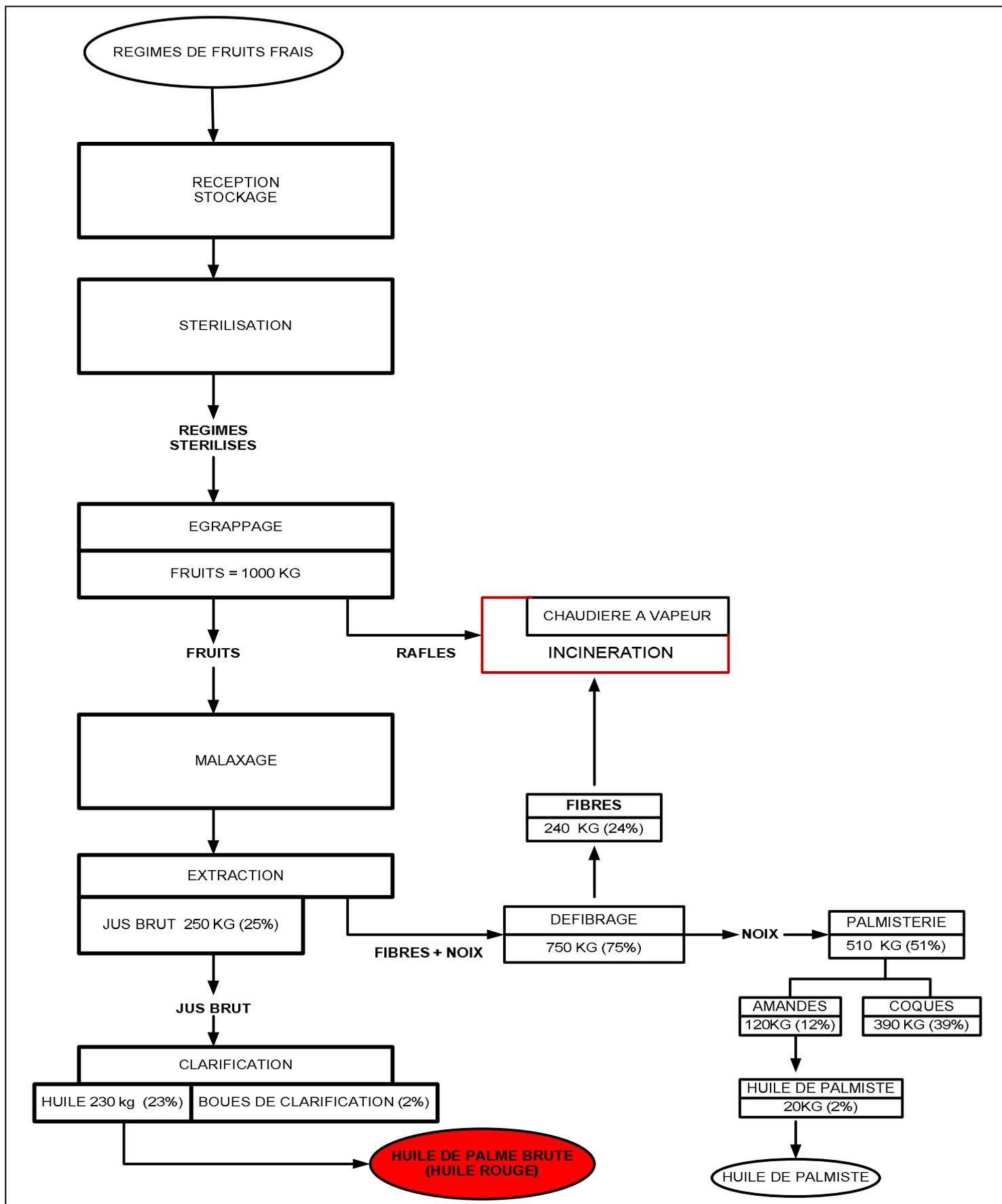
Les fruits malaxés sont pressés en continu dans une presse à vis avec cage perforée. Le jus brut s'écoule au travers de la cage et les tourteaux composés de fibres et de noix sont récupérés en sortie de presse [3].

Les fibres sont utilisées comme combustible en chaufferie pour la production de la vapeur, les noix sont orientées vers la palmisterie pour la production d'huile de palmiste.

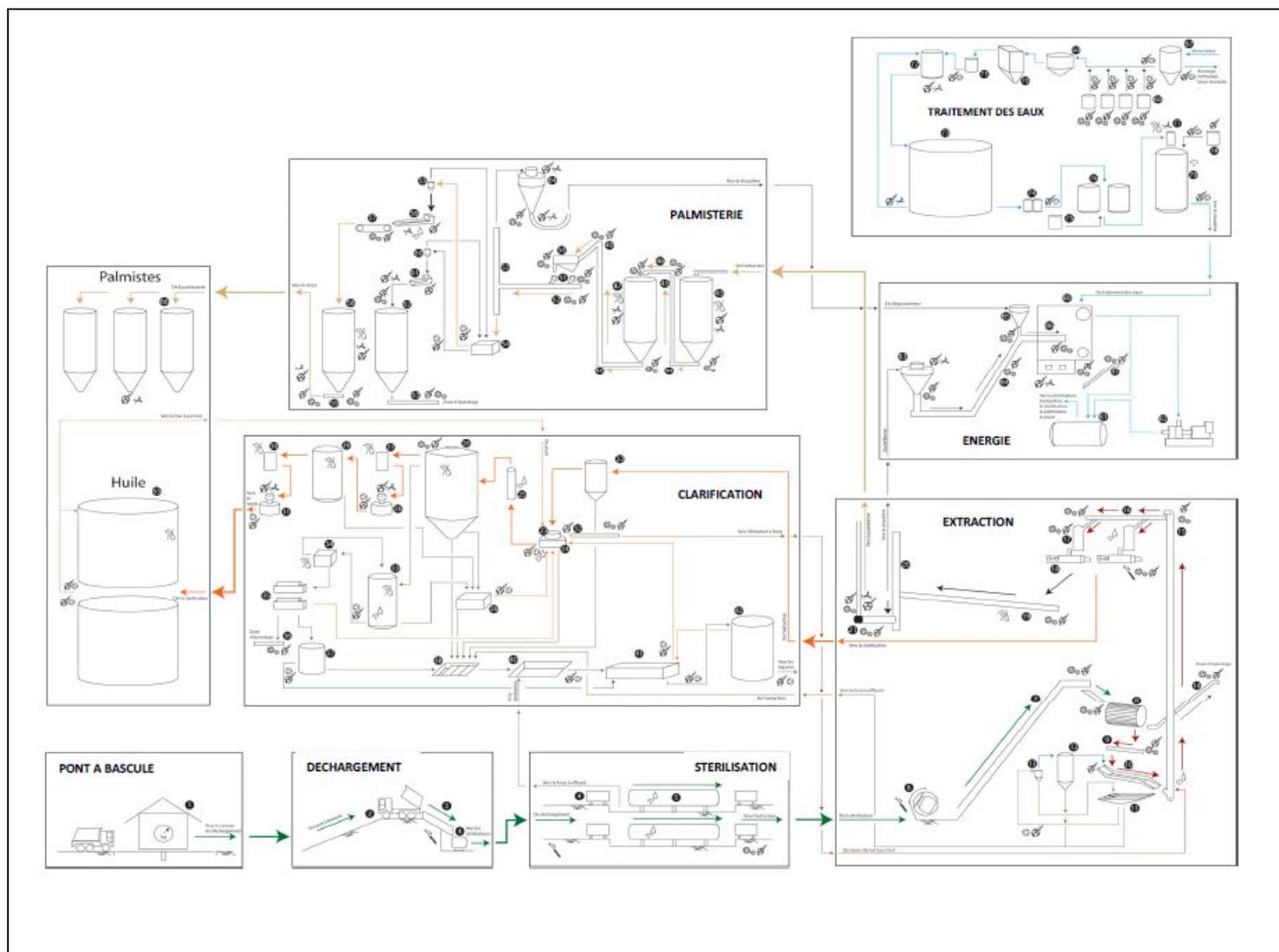
2.2.5 Clarification

Le jus brut provenant de l'extraction contient de l'huile, de l'eau, des matières dissoutes et en suspension [3]. La clarification permet de séparer l'huile des autres composants.

L'huile obtenue après clarification est l'huile de palme brute qui sera envoyée à la raffinerie pour la suite du processus de fabrication.



SCHEMA_1 : ETAPES DU TRAITEMENT DE L'HUILE BRUTE [3]



SCHEMA_2 : CIRCUIT DE TRAITEMENT DE L'HUILE DE PALME BRUTE EN USINE [19]

2.3 Raffinage de l'huile de palme

L'huile de palme brute transportée vers la raffinerie subit divers traitements chimiques afin d'obtenir une huile raffinée consommable.

Les étapes successives du traitement sont les suivantes :

2.3.1 Dégommage

Le dégommage de l'huile brute consiste à appliquer un traitement à l'eau et à l'acide citrique (1%) afin d'éliminer les phospholipides et les matières mucilagineuses [3].

Dans les procédés de dégommage, les phospholipides précipités sont séparés de l'huile brute par centrifugation.

2.3.2 Neutralisation

Les huiles sont débarrassées de leurs acides gras libres par saponification. On introduit dans l'huile dégommée une quantité calculée de soude.

Outre la neutralisation des acides gras libres contenus dans l'huile, ce traitement à la soude élimine les phospholipides, certains résidus indésirables (composés phytosanitaires, métaux) et réduit la couleur de l'huile par destruction partielle des pigments [3].

2.3.3 Décoloration

La décoloration procède par traitement avec un adjuvant puis séparation par filtration. L'adjuvant employé est la terre décolorante activée qui va emprisonner les pigments rouges contenus dans l'huile brute.

Il s'en suit une double filtration pour débarrasser l'huile des terres chargées de pigments par l'utilisation de filtre métallique NIAGARA, et filtration supplémentaire de sécurité par des filtres de 25 μ .

La décoloration a aussi un rôle nettoyant essentiel dans la purification de l'huile en ce qu'elle permet également de débarrasser l'huile de différents composés indésirables tels que : composés d'oxydation, traces métalliques, traces de phospholipides, de savon, résidus de pesticides [3].

2.3.4 Désodorisation

Le principe de la désodorisation est l'injection de vapeur d'eau dans l'huile chauffée à haute température (180 à 260° C), et le tirage sous vide de poussée de la vapeur chargée des agents odorants et gustatifs.

Ce traitement permet également l'élimination de composés indésirables tels que les résidus de pesticides légers et les produits d'oxydation [3].

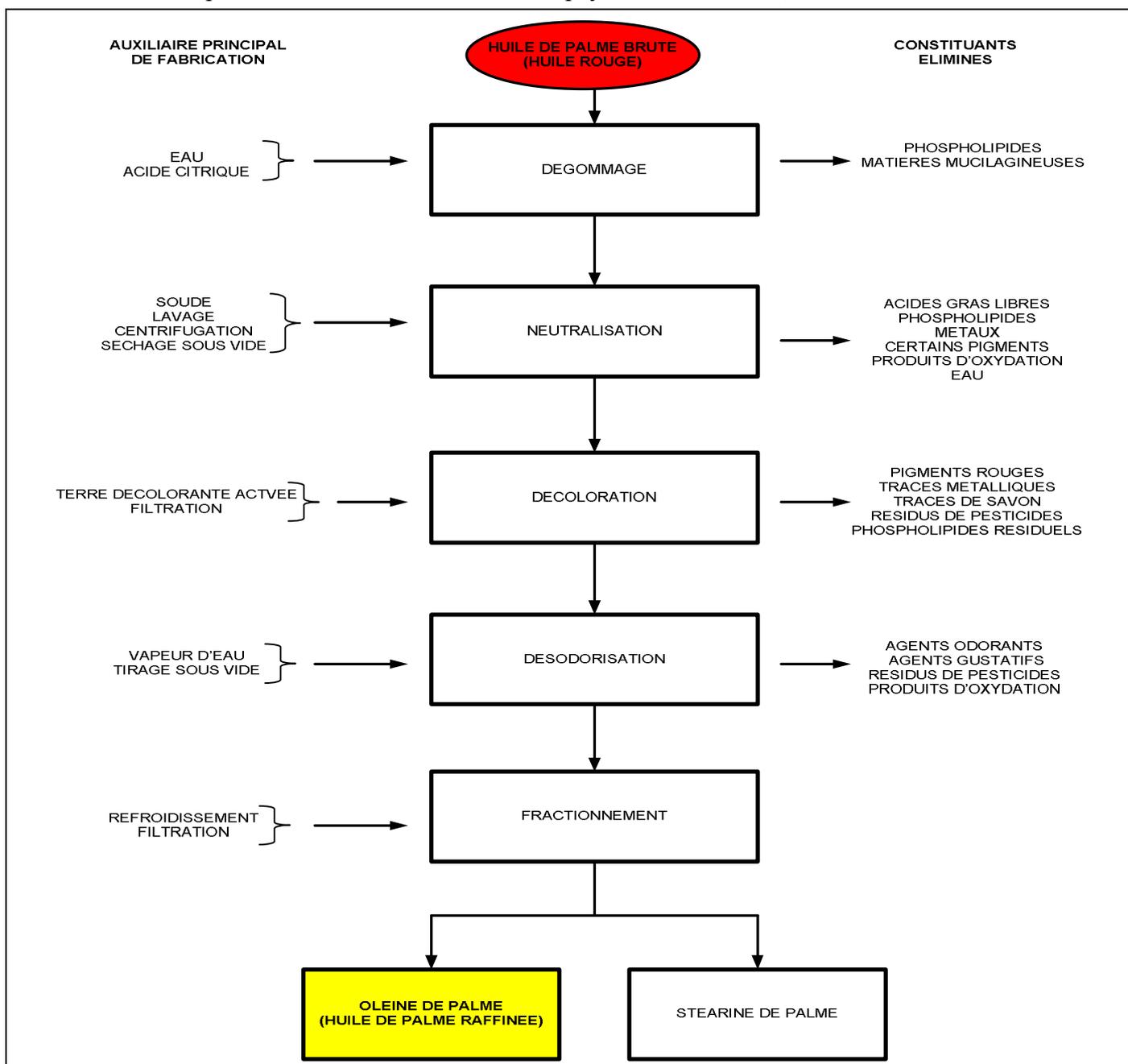
2.3.5 Fractionnement

Cette opération permet de séparer une fraction fluide appelée OLEINE DE PALME et commercialisée en tant que huile de cuisson et assaisonnement dans notre pays, d'une fraction concrète appelée **STEARINE DE PALME** qui est principalement utilisée en savonnerie.

Par simple fractionnement et séparation par filtrage à 18° C, il est possible d'obtenir environ 70% d'oléine de palme et 30% de **concret de palme ou stéarine** [3].

2.3.6 Conditionnement

L'oléine de palme est conditionnée dans notre pays en bidons de 1L, 2L et 5 L.



SCHEMA_3 : ETAPES DU RAFFINAGE DE L'HUILE BRUTE [3]

2.4 Utilisation à SIAT Gabon des fractions obtenues

2.4.1 Oléine de palme

L'oléine de palme obtenue est commercialisée comme huile de table.

2.4.2 Stéarine de palme

La stéarine est, pour une infime quantité compte tenu de l'étroitesse du marché Gabonais, utilisée pour la production du savon.

La plus grande partie est jetée faute de débouché économique. Il est arrivé que la raffinerie soit mise à l'arrêt parce qu'on était confronté à un problème de stockage de la stéarine.

D'où la mise en place à la raffinerie d'un groupe projet pour réfléchir aux possibilités de valoriser cette matière dans le cycle de production de l'usine.

La réflexion du groupe projet, en liaison avec le bureau d'étude du groupe SIAT à Bruxelles, a débouché sur l'utilisation de la stéarine comme combustible pour un groupe « DUAL FUEL » spécialement fabriqué pour fonctionner aussi bien avec de l'huile végétale que du gas oil.

C'est le constructeur Belge ANGLO BELGIAN CORPORATION(ABC) qui a été retenu pour la fourniture du nouveau groupe de la raffinerie de Lambaréné. Cette entreprise fabrique depuis de nombreuses années des groupes qui fonctionnent avec des carburants alternatifs tels que :

- Huile végétale
- Graisse animale
- Bio-gas
- Résidus d'huile industrielle

Une étude technique a donc été menée pour définir les spécifications techniques et les conditions de mise en œuvre de ce nouveau groupe à la raffinerie.

Tous les aspects techniques ayant été bouclés avant mon arrivée en stage, il m'a donc été proposé d'étudier les aspects économiques et financiers du projet.



FIGURE 2 : OLEINE DE PALME



FIGURE 3 : STEARINE DE PALME

2.5 Inconvénients de l'utilisation de l'huile de palme comme carburant

L'utilisation des huiles végétales comme carburant (HVC) dans un moteur diesel entraîne des problèmes techniques.

Les moteurs sont conçus pour carburer avec des dérivés du pétrole. Les caractéristiques physico-chimiques du carburant de référence pour un moteur diesel par exemple vont être celles du gas oil.

L'utilisation des huiles végétales ayant des caractéristiques physico-chimiques différentes de celles du carburant de référence va avoir des conséquences tant sur le fonctionnement du moteur (performances, rendement, etc.) que sur sa durée de vie.

Nous présentons ci-dessous certains paramètres pour lesquels la différence de valeur par rapport au carburant de référence va avoir une incidence directe sur le moteur :

2.5.1 Pouvoir calorifique inférieur (PCI)

Le pouvoir calorifique d'un combustible se définit comme étant l'énergie libérée au cours de sa combustion dans un milieu en excès d'oxygène.

2.5.2 Indice de cétane

L'indice de cétane représente la capacité d'un carburant à s'auto-enflammer dans des conditions de pression normalisées. Plus l'indice est élevé, plus le carburant s'enflamme facilement [6].

2.5.3 Point éclair

Le point éclair d'un liquide se définit comme la température la plus basse à laquelle la concentration de vapeurs émises est suffisante pour produire une déflagration au contact d'une flamme ou d'une étincelle [5].

2.5.4 Viscosité

La viscosité peut être définie comme une résistance à l'écoulement.

Par rapport à la définition de chacun de ces paramètres, nous voyons que le fait qu'un carburant de substitution ait des valeurs différentes de celles du carburant de référence va engendrer des problèmes spécifiques.

En comparant le gas oil à l'huile de palme par exemple (Voir tableau ci-dessous), nous constatons que ces deux produits ont des PCI très proches, mais avec un indice de cétane plus faible et une viscosité plus élevée pour l'huile de palme.

TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUES GAS OIL / HUILE DE PALME

	PCI (KJ/L)	INDICE DE CETANE	VISCOSITE A 40°C (mm ² /s)
GAS OIL	36 000	51	2
HUILE DE PALME	32 000	42	40
Références	[5]	[6]	[5]

Il s'en suit que l'huile de palme à l'état brut va être plus difficile à pomper, à injecter et à brûler dans la chambre de combustion d'un moteur. Cela entraîne des problèmes de dépôt dans la chambre de combustion, de filtres colmatés, de pompes d'injection cassées, de colmatage des filtres et de formation de dépôts dans la chambre due à une mauvaise combustion des HVC [11].

Il y a eu de nombreux travaux de recherche sur les moyens à mettre en œuvre pour remédier aux problèmes engendrés par une utilisation des huiles végétales comme carburant. Parmi les solutions proposées, celles qui ont été le plus souvent expérimentées sont les suivantes :

- Mélange des huiles végétales avec le gas oil à différente teneur [10]
- Préchauffage des HVC avant introduction dans le moteur [10]
- Mise en œuvre de kit de bicarburation gas oil / HVC [10]
- Réinjection des gaz d'échappement (EGR) dans le moteur dans le but d'assurer une température plus élevée lors de la fin de compression, et d'obtenir une température moyenne dans la chambre de combustion plus importante [5]
- Modification de piston et de chambre de combustion en matériaux « ferrotherm ». Ce matériau spécial permet de garder une température suffisamment élevée pour garantir une combustion optimale, également à bas régime [5].
- Fabrication de moteur spécifiquement adapté à l'utilisation des HVC [5].

Nous constatons que le choix de la société SIAT Gabon est en phase avec les recommandations de ces travaux de recherche.

SIAT Gabon a opté pour un moteur spécialement fabriqué pour un fonctionnement avec des huiles végétales, le moteur admet un certain taux d'impuretés dans le combustible (Voir annexe 3) ce qui est caractéristique des huiles végétales carburants. Les groupes électrogènes ABC sont semi-lents (720-1000 tpm ; 750 tpm pour le groupe de Lambaréné), cette caractéristique donne plus de temps au combustible pour brûler, ce qui est un avantage par rapport à l'utilisation des huiles végétales dont l'un des inconvénients peut être dans certaines conditions une combustion incomplète.

Les matériaux choisis pour la fabrication du moteur sont spécifiques, ABC utilise des métaux (Nimonic) ayant des caractéristiques de résistance à la corrosion à chaud dans les composants du moteur [20].

Les procédés technologiques mis en œuvre en fabrication permettent d'obtenir une meilleure efficacité de refroidissement pour abaisser la température de surface des composants du moteur (pour minimiser les possibilités de dépôts des cendres) [20].

III. MATERIELS ET METHODES

3.1 Méthodologie et hypothèses retenues pour l'évaluation de la rentabilité du projet

L'évaluation de la rentabilité du projet va se baser sur l'analyse de l'ensemble des coûts supportés par le projet.

Les coûts d'investissement intègrent les coûts de développement, de construction de bâtiment et autres infrastructures, d'installation et de mise en service du groupe à la raffinerie de Lambaréné.

Les coûts d'exploitation intègrent les coûts d'opération et de maintenance des installations de production.

Il n'y a pas eu d'augmentation de personnel lors de la mise en place du groupe fonctionnant à l'huile végétale. Le personnel affecté à l'ancienne installation a été muté vers la nouvelle installation. L'ancienne installation de production n'est pas démantelée, le nouveau groupe ABC vient s'ajouter à l'installation existante qui va continuer à être utilisée pour fournir l'énergie électrique au complexe industriel pendant les périodes de révision des différents sous ensembles de la raffinerie lors des arrêts annuels de maintenance. Pendant cette période, seuls les bureaux sont alimentés en électricité. Nous ne prenons donc pas en compte, dans l'évaluation de la rentabilité du projet, les coûts de main d'œuvre.

La consommation d'huile de graissage et de filtres à huile et à air est prise en compte dans le coût mensuel de maintenance du groupe ABC.

Il n'a pas été nécessaire de recourir à un personnel externe à la raffinerie lors de la phase d'installation et de mise en service du groupe. Les seules personnes qui sont arrivées dans cette période sont les agents du fournisseur du groupe ABC. Tous les frais inhérents à leur déplacement et séjour sont intégrés dans les coûts d'investissement.

L'investissement a été réalisé sur fonds propres, il n'y aura donc pas d'intérêt d'emprunt pris en compte. Le projet a duré 14 mois de la commande à la mise en service, nous prendrons en compte l'inflation en république Gabonaise lors du calcul des critères de rentabilité qui intègrent la notion d'actualisation.

L'énergie électrique produite n'est pas commercialisée, elle est destinée à l'usage interne du complexe industriel. Nous ne prendrons donc pas en compte l'impôt sur le bénéfice dans l'élaboration du tableau du compte prévisionnel du résultat de ce projet.

La durée de vie du groupe est estimée à 20 ans par le constructeur, nous avons convenu avec le tuteur de stage que l'évaluation serait faite sur une période de 10 ans, parce que l'accès aux données d'inflation en république Gabonaise ne nous était possible que pour une période de 10 ans d'une part, et qu'il aurait été assez hasardeux de se projeter d'avantage par rapport aux variations des prix dans le contexte de notre pays où l'économie est fortement tributaire du cours de différentes matières premières (pétrole et manganèse notamment) d'autre part.

La mesure de la rentabilité économique de l'investissement consistera donc à comparer les recettes d'exploitation que le projet génère ou les coûts d'exploitation qu'il permet de sauver, par rapport aux dépenses qu'il entraîne pour faire apparaître les flux nets de trésorerie.

TABLEAU 2 : CONSOMMATIONS ET COUTS D'OPERATION DES INSTALLATIONS DIESEL

PARAMETRES	VALEUR
<i>PARAMETRES TECHNIQUES</i>	
CONSOMMATION ELECTRIQUE DU COMPLEXE	313745 KWh/MOIS
CONSOMMATION EN GAS OIL DU COMPLEXE	2900 L/J
<i>PARAMETRES FINANCIERS</i>	
PRIX DU LITRE DE GAS OIL	470 F CFA/L
COUT DE LA MAINTENANCE	10.000.000 F CFA/MOIS

Consommation électrique du complexe

C'est la consommation moyenne mensuelle d'énergie du complexe industriel de Lambaréné lors de la campagne de raffinage (périodes de fonctionnement de l'usine). Cette quantité d'énergie devra être produite par le groupe ABC en utilisant la stéarine de palme comme combustible.

Consommation en gas oïl du complexe

C'est la consommation moyenne journalière des anciens groupes thermiques fonctionnant au gas oïl, pour fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement du complexe industriel.

Prix du litre de gas oïl

Coût d'un litre de gas oïl en république Gabonaise. C'est le prix public qui est pratiqué à la pompe dans les stations, et qui est payé par tous les industriels tels que SIAT ou la société nationale d'électricité. Il n'existe pas au Gabon de régime fiscal préférentiel de type gas oïl de production subventionné.

Coût de la maintenance

C'est le coût mensuel moyen de maintenance des anciens groupes thermiques fonctionnant au gas oïl, coût qui intègre l'huile de graissage, les filtres, les kits des pièces de rechange spécifiques aux différents paliers de maintenance préventive (révisions 500h-2000h-8000h, grande visite et révision générale) préconisés par le constructeur, ainsi que tous les coûts des prestations induites par des opérations de maintenance lourde.

TABLEAU 3 : PRODUCTIONS DE LA RAFFINERIE

PARAMETRES	VALEUR
<i>PARAMETRES DE PRODUCTION</i>	
HUILE BRUTE RBDO	880600 Kg/MOIS
OLEINE DE PALME	600000 Kg/MOIS
STEARINE DE PALME	264180 Kg/MOIS
DECHETS	16420 Kg/MOIS

Huile brute RBDO

Raffiné, Blanchi, Dégommé, Oïl : c'est de l'huile brute qui a subi ces divers traitements, et est sur le point de subir l'étape du fractionnement qui permet de séparer l'oléine de palme de la stéarine de palme.

Cette huile est quantifiée en l'état avant l'étape du fractionnement pour le suivi des statistiques et autres ratios de production de la raffinerie.

Oléine de palme

Fraction liquide issue du RBDO, c'est la production moyenne mensuelle d'huile de palme de la raffinerie.

Stéarine de palme

Fraction solide issue du RBDO, c'est la production moyenne mensuelle de stéarine de palme de la raffinerie.

Déchets

Résidus obtenus suite au fractionnement du RBDO.

TABLEAU 4 : QUANTIFICATION DES BESOINS EN MATIERE PREMIERE DU GROUPE ABC

PARAMETRES	VALEUR
PARAMETRES TECHNIQUES	
GAS OIL	<u>Valeurs calorifiques du carburant de référence</u>
Pouvoir calorifique inférieur massique [5]	42500 KJ/Kg
Pouvoir calorifique inférieur volumique à 20°C [5]	36000 KJ/L
	<u>Consommation du groupe</u>
Consommation en gas oïl [20]	188g/KWh
HUILE DE PALME	
Pouvoir calorifique inférieur massique [5]	35600 KJ/Kg
Pouvoir calorifique inférieur volumique à 20°C [5]	32100 KJ/L

Consommation en gas oïl

Le groupe ABC acquis par SIAT Gabon est un groupe dual fuel, qui fonctionne soit avec du gas oïl, soit avec de l'huile végétale.

Le carburant de référence pour ce groupe est le gas oïl, la consommation donnée par le constructeur (188 g/KWh) est spécifique au carburant de référence.

La consommation en huile végétale du groupe doit être déterminée par rapport à la consommation du carburant de référence.

Détermination de la consommation en huile végétale du groupe

Pour déterminer la quantité d'huile végétale mensuelle que doit consommer le groupe ABC, nous allons utiliser les données suivantes :

- Le rapport entre le pouvoir calorifique inférieur du carburant de référence et celui de l'huile végétale
- La consommation spécifique du groupe avec le carburant de référence
- La quantité d'énergie électrique mensuelle consommée par le complexe industriel

Dans la mesure où nous utilisons un groupe « DUAL FLUEL » spécialement conçu pour fonctionner indifféremment avec du gas oïl ou de l'huile végétale, nous allons considérer que le rendement énergétique du groupe est le même que l'on utilise le gas oïl ou l'huile végétale.

Le groupe a été dimensionné pour fonctionner quasiment à pleine charge (70 – 100%). Pour ces taux de charge des études menées au laboratoire biomasse énergie et biocarburants (LBEB) du 2IE [16,17] montrent que même pour un groupe non modifié fonctionnant à 100% à l'huile végétale, le rendement énergétique se rapprochait de celui du même groupe fonctionnant avec du gas oïl.

TABLEAU 5 : INVESTISSEMENTS, CHARGES ET REVENUS LIES AU GROUPE ABC

PARAMETRES	VALEUR
PARAMETRES ECONOMIQUES ET FINANCIERS	
INVESTISSEMENT COUT D'ACQUISITION DU GROUPE ABC	918.400.000 F CFA
CHARGES MAINTENANCE ANNUELLE	5% de l'investissement
INFLATION, ACTUALISATION INFLATION ANNUELLE TAUX D'ACTUALISATION	4,6% 7%
REVENUS PRIX DU GAS OIL EPARGNE COUTS DE MAINTENANCE ANNUELLE EPARGNES	470 F CFA/L 64.080.000 f CFA/AN

Cout d'acquisition du groupe abc

C'est le coût global de l'investissement qui intègre notamment les coûts de développement, de construction, d'installation et mise en service.

Maintenance annuelle

Lors de la marche semi-industrielle du groupe ABC, le coût mensuel de la maintenance oscillait entre 2 500 000 F et 3 500 000 F CFA. Nous retenons le taux de 5% du coût de l'investissement, qui intègre bien toutes ces plages de variation des coûts de maintenance pour un fonctionnement à un rythme industriel (3 quarts de 8 h/J pendant 6 jours/semaine) lors de la campagne de production.

Inflation annuelle

C'est la moyenne de l'inflation annuelle sur une période de 10 ans, que nous avons obtenue des services compétents au Gabon, à titre d'exemple l'inflation était de 5,3% lors de l'année de marche semi-industrielle du groupe ABC.

Taux d'actualisation

C'est le taux pratiqué au Gabon par la bourse des valeurs mobilières de l'Afrique centrale (BVMAC) qui est assez représentatif par rapport à des opérations d'investissement, de financement d'outils de production dans des entreprises.

Nous allons utiliser ce taux pour les calculs des indicateurs de rentabilité qui prennent en compte l'actualisation des coûts.

Prix du gas oïl épargné

Le fonctionnement du groupe ABC à la stéarine de palme fait économiser tous les jours le coût du gas oïl utilisé par l'ancienne installation. Cette somme sera comptabilisée comme un revenu dans le cadre du projet.

Coûts de maintenance annuelle épargnés

Le groupe ABC a des coûts mensuels de maintenance plus faibles que ceux de l'ancienne installation thermique fonctionnant au gas oïl. Cette différence de coût, qui constitue un gain lié à la mise en œuvre de ce projet, sera également comptabilisée comme un revenu.

Evaluation économique du projet

L'investissement réalisé par la société SIAT Gabon peut être classé dans la catégorie des investissements de productivité dont l'objectif principal est la réduction des coûts.

Tout investissement induit :

- Des flux positifs, c'est adire :
 - ✓ Des produits d'exploitation nouveaux
 - ✓ Des recettes supplémentaires
 - ✓ Des coûts d'exploitation épargnés
- Des flux négatifs :
 - ✓ Des charges nouvelles (Maintenance, dépenses nouvelles en charges de personnels, etc.)

La mesure de la rentabilité économique de l'investissement portera sur l'évaluation des flux de trésorerie qu'il génère.

Critères de l'évaluation de la rentabilité économique

La rentabilité économique de l'investissement sera évaluée à l'aide de quatre (4) indicateurs : la valeur actualisée nette (VAN), le taux de rentabilité interne (TRI), l'indice de profitabilité (IP), et le délai de récupération des fonds investis (DRFI).

- La VAN d'un investissement est la somme des flux nets de liquidité (ou flux nets de trésorerie) actualisés générés par cet investissement durant sa durée de vie [2].
- La VAN est calculée de la manière suivante :

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^{10} \frac{\text{Cashflow année } n}{(1+t)^n}$$

- ✓ I_0 est l'investissement initial
- ✓ t est le taux d'actualisation retenu
- ✓ n le nombre d'années sur lesquels le calcul de la VAN est réalisé
- ✓ le cash-flow dans notre cas correspond au résultat (produit – charges)

Une fonction EXCEL permet de calculer la VAN (FONCTION VAN).

- Le TRI est le taux d'actualisation qui rend nul le bénéfice actualisé sur la durée de vie économique du projet. Plus le taux est supérieur au coût d'emprunt du capital, plus l'investissement est intéressant [1].

Une fonction EXCEL permet également de calculer le TRI (FONCTION TRI).

- L'indice de profitabilité exprime le rapport entre les flux nets de trésorerie actualisés et le montant de l'investissement [2]. Une façon de calculer l'indice de profitabilité est la suivante :
 - ✓ $IP = (VAN / I_0) + 1$; I_0 étant l'investissement initial

Critères d'appréciation

- ✓ $IP > 1$: Investissement rentable
- ✓ $IP = 1$: Taux de rentabilité = taux d'actualisation
- ✓ $IP < 1$: Investissement non rentable
- Le délai de récupération des fonds investis (DRFI) indique la période nécessaire pour que la somme des cash-flows passe par zéro. C'est la durée nécessaire au projet pour que les produits cumulés compensent juste les dépenses [1].

Un projet est considéré comme rentable lorsque la VAN est positive, le TRI est supérieur au taux d'actualisation retenu, l'indice de profitabilité est supérieur à 1. Un projet est d'autant plus intéressant que le DRFI est court.

3.2 Etude de sensibilité

Par rapport à ce projet déjà réalisé, le seul paramètre qui pourrait subir des variations importantes est le coût de la maintenance annuelle.

Cela peut survenir à tout moment au cours de l'exploitation d'une machine tournante, soit par un glissement dans l'application des différents délais de révision préconisés par le constructeur en fonction des heures de marche, soit par la défaillance d'une protection coté alternateur et / ou coté moteur, soit par la non prise en compte des spécifications techniques du constructeur relatives au matériel (fournitures consommables et outils de travail) à utiliser pour les révisions de ses machines.

Les matériels du constructeur de la machine sont souvent perçus en exploitation comme étant « trop chers » par rapport à des fournitures de fabricant générique.

Il pourrait donc s'en suivre différentes avaries plus ou moins graves qui peuvent aller d'une culbuterie cassée à un vilebrequin cassé, toutes choses qui auront des répercussions financières importantes sur le résultat de l'entreprise.

Nous allons matérialiser ces variations possibles dans cette étude par différents taux du coût de la maintenance annuelle en fonction de l'investissement.

Pour analyser la sensibilité de la rentabilité de ce projet, nous allons faire des simulations pour les taux de coût de la maintenance annuelle suivants :

- 8%
- 10%
- 15%

IV. RESULTATS

4.1 Calcul détaillé de la consommation en huile de palme du groupe

Pour ce calcul, nous allons utiliser le pouvoir calorifique inférieur (PCI) volumique du carburant de référence (le gas oil) et celui de l'huile de palme, parce que le PCI volumique intègre la densité spécifique de chaque produit.

PCI volumique

DIESEL : 36 000 KJ/L
HUILE DE PALME : 32 100 KJ/L

$$\text{➤ RAPPORT DE CONVERSION : } 36\,000 / 32\,100 = 1,12 \quad (1)$$

Pour produire l'énergie électrique mensuelle nécessaire à l'alimentation du complexe industriel de Lambaréné avec le combustible de référence (le gas oil), le nouveau groupe ABC consommerait :

$$\begin{aligned} \text{➤ Consommation mensuelle de gas oil} &= 313\,745 \text{ KWh} \times 188 \text{ g / KWh} \\ &= 58\,984\,060 \text{ g} \\ &= 58\,984 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Pour produire la même quantité d'énergie avec le combustible huile de palme, le nouveau groupe ABC consommerait :

$$\begin{aligned} \text{➤ Consommation mensuelle d'huile de palme} &= 1,12 \times 58\,984 \text{ Kg} \\ &= 66\,062 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Ce résultat s'explique par le fait que l'huile de palme ayant un PCI plus faible que celui du gas oil, il faut d'avantage de combustible huile de palme pour produire la même quantité d'énergie que le combustible gas oil.

4.2 Evaluation économique du projet

Calcul des coûts de maintenance et de gas oil épargnés

- Quantité mensuelle de gas oil épargné = $2\,900 \text{ L/J} \times 26 \text{ J}^* = 75\,400 \text{ Litres}$
- Coût mensuel du gas oil épargné = $75\,400 \times 470 = 35\,438\,000 \text{ F CFA}$
- **Coût annuel du gas oil épargné = $35\,438\,000 \times 11^{**} = 389\,818\,000 \text{ F CFA}$**
- Coût annuel de maintenance des anciens groupes = $10\,000\,000 \times 11 = 110\,000\,000 \text{ F CFA}$
- Coût annuel de maintenance du groupe ABC = $918\,400\,000 \times 5\% = 45\,920\,000 \text{ F CFA}$
- **Coût annuel de maintenance épargné = $110\,000\,000 - 45\,920\,000 = 64\,080\,000 \text{ F CFA}$**

Détermination de la rentabilité de l'investissement

COUT DE MAINTENANCE A 5% DE L'INVESTISSEMENT – CALCUL DE LA VAN, DU TRI ET DE L'IP

	Annee 0	Annee 1	Annee 2	Annee 3	Annee 4	Annee 5	Annee 6	Annee 7	Annee 8	Annee 9	Annee 10
Produits											
Coûts du gas oil épargné	0	318 942 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000
Coûts de maintenance épargnés	0	90 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000
Total	0	408 942 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000
Charges											
Investissement	918 400 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maintenance groupe ABC	0	37 570 909	45 920 000	45 920 000	45 920 000	45 920 000	45 920 000	45 920 000	45 920 000	45 920 000	45 920 000
Total	918 400 000	37 570 909	45 920 000	45 920 000	45 920 000	45 920 000	45 920 000	45 920 000	45 920 000	45 920 000	45 920 000
Resultat (FCFA)	-918 400 000	371 371 091	453 898 000	453 898 000	453 898 000	453 898 000	453 898 000	453 898 000	453 898 000	453 898 000	453 898 000
Cash flow (F CFA)	-918 400 000	371 371 091	453 898 000	453 898 000	453 898 000	453 898 000	453 898 000	453 898 000	453 898 000	453 898 000	453 898 000

TRI	45%
VAN (F CFA)	2 192 461 662
INDICE DE PROFITABILITE	3,39

Année1 : coûts de gas oil et de maintenance épargnés

La mise en place et le démarrage du groupe ABC a duré 14 mois, soit toute l'année 0 et 2 mois durant l'année 1, à cela il faut ajouter le mois d'arrêt annuel pour la maintenance de la raffinerie. Nous avons donc comptabilisé en année 1 :

- ✓ 9 mois de coûts de gas oil épargnés
- ✓ 9 mois de coûts de maintenance épargnés

* La raffinerie est en activité 6 jours par semaine, fermeture le dimanche.

** Il y a systématiquement un mois d'arrêt par an pour la maintenance de la raffinerie.

Année 1 : maintenance groupe abc

Par rapport à la durée du projet et au mois d'arrêt annuel, nous avons comptabilisé 9 mois de maintenance du nouveau groupe ABC en année 1.

CALCUL DU DRFI

ANNEE	CASH FLOW	CASH FLOW ACTUALISE A 7%	CUMUL CASH FLOW
1	371 371 091	345 375 115	345 375 115
2	453 898 000	394 891 260	740 266 375
3	453 898 000	372 196 360	1 112 462 735
4	453 898 000	344 962 480	1 457 425 215
5	453 898 000	322 267 580	1 779 692 795
6	453 898 000	304 111 660	2 083 804 455
7	453 898 000	281 416 760	2 365 221 215
8	453 898 000	263 260 840	2 628 482 055
9	453 898 000	245 104 920	2 873 586 975
10	453 898 000	231 487 980	3 105 074 955

2 ans < DRFI < 3 ans, d'où :

$$\text{DRFI} = 2 \text{ ans} + 12 \text{ mois} \times [(918\,400\,000 - 740\,266\,375) / (1\,112\,462\,735 - 740\,266\,375)] = 2 \text{ ans} + 12 \text{ mois} \times 0,48 = 2 \text{ ans et } 5,76 \text{ mois}$$

$$\text{DRFI} = \underline{29,76 \text{ mois}}$$

4.3 Etude de sensibilité

COUT DE MAINTENANCE A 8% DE L'INVESTISSEMENT – CALCUL DE LA VAN, DU TRI ET DE L'IP

	Annee 0	Annee 1	Annee 2	Annee 3	Annee 4	Annee 5	Annee 6	Annee 7	Annee 8	Annee 9	Annee 10
Produits											
Couts du gas oil épargné	0	318 942 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000
Couts de maintenance épargnés	0	90 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000
Total	0	408 942 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000
Charges											
Investissement	918 400 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maintenance groupe ABC	0	60 113 454	73 472 000	73 472 000	73 472 000	73 472 000	73 472 000	73 472 000	73 472 000	73 472 000	73 472 000
Total	918 400 000	60 113 454	73 472 000	73 472 000	73 472 000	73 472 000	73 472 000	73 472 000	73 472 000	73 472 000	73 472 000
Resultat (FCFA)	-918 400 000	348 828 546	426 346 000	426 346 000	426 346 000	426 346 000	426 346 000	426 346 000	426 346 000	426 346 000	426 346 000
Cash flow (F CFA)	-918 400 000	348 828 546	426 346 000	426 346 000	426 346 000	426 346 000	426 346 000	426 346 000	426 346 000	426 346 000	426 346 000

TRI	43%
VAN (F CFA)	2 003 629 677
INDICE DE PROFITABILITE	3,18

CALCUL DU DRFI

ANNEE	CASH FLOW	CASH FLOW ACTUALISE A 7%	CUMUL CASH FLOW
1	348 828 546	324 410 548	324 410 548
2	426 346 000	370 921 020	695 331 568
3	426 346 000	349 603 720	1 044 935 288
4	426 346 000	324 022 960	1 368 958 248
5	426 346 000	302 705 660	1 671 663 908
6	426 346 000	285 651 820	1 957 315 728
7	426 346 000	264 334 520	2 221 650 248
8	426 346 000	247 280 680	2 468 930 928
9	426 346 000	230 226 840	2 699 157 768
10	426 346 000	217 436 460	2 916 594 228

DRFI= 2 ans et 7, 68 mois, soit 31,68 mois

COUT DE MAINTENANCE A 10% DE L'INVESTISSEMENT – CALCUL DE LA VAN, DU TRI ET DE L'IP

	Annee 0	Annee 1	Annee 2	Annee 3	Annee 4	Annee 5	Annee 6	Annee 7	Annee 8	Annee 9	Annee 10
Produits											
Couts du gas oil épargné	0	318 942 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000
Couts de maintenance épargnés	0	90 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000
Total	0	408 942 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000
Charges											
Investissement	918 400 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maintenance groupe ABC	0	75 141 818	91 840 000	91 840 000	91 840 000	91 840 000	91 840 000	91 840 000	91 840 000	91 840 000	91 840 000
Total	918 400 000	75 141 818	91 840 000	91 840 000	91 840 000	91 840 000	91 840 000	91 840 000	91 840 000	91 840 000	91 840 000
Resultat (FCFA)	-918 400 000	333 800 182	407 978 000	407 978 000	407 978 000	407 978 000	407 978 000	407 978 000	407 978 000	407 978 000	407 978 000
Cash flow (F CFA)	-918 400 000	333 800 182	407 978 000	407 978 000	407 978 000	407 978 000	407 978 000	407 978 000	407 978 000	407 978 000	407 978 000

TRI	41%
VAN (F CFA)	1 877 741 686
INDICE DE PROFITABILITE	3,04

CALCUL DU DRFI

ANNEE	CASH FLOW	CASH FLOW ACTUALISE A 7%	CUMUL CASH FLOW
1	333 800 182	310 434 169	310 434 169
2	407 978 000	354 940 860	665 375 029
3	407 978 000	334 541 960	999 916 989
4	407 978 000	310 063 280	1 309 980 269
5	407 978 000	289 664 380	1 599 644 649
6	407 978 000	273 345 260	1 872 989 909
7	407 978 000	252 946 360	2 125 936 269
8	407 978 000	236 627 240	2 362 563 509
9	407 978 000	220 308 120	2 582 871 629
10	407 978 000	208 068 780	2 790 940 409

DRFI= 2 ans et 9,12 mois, soit 33,12 mois

COUT DE MAINTENANCE A 15% DE L'INVESTISSEMENT – CALCUL DE LA VAN, DU TRI ET DE L'IP

	Annee 0	Annee 1	Annee 2	Annee 3	Annee 4	Annee 5	Annee 6	Annee 7	Annee 8	Annee 9	Annee 10
Produits											
Couts du gas oil épargné	0	318 942 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000	389 818 000
Couts de maintenance épargnés	0	90 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000	110 000 000
Total	0	408 942 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000	499 818 000
Charges											
Investissement	918 400 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maintenance groupe ABC	0	112 712 727	137 760 000	137 760 000	137 760 000	137 760 000	137 760 000	137 760 000	137 760 000	137 760 000	137 760 000
Total	918 400 000	112 712 727	137 760 000	137 760 000	137 760 000	137 760 000	137 760 000	137 760 000	137 760 000	137 760 000	137 760 000
Resultat (FCFA)	-918 400 000	296 229 273	362 058 000	362 058 000	362 058 000	362 058 000	362 058 000	362 058 000	362 058 000	362 058 000	362 058 000
Cash flow (F CFA)	-918 400 000	296 229 273	362 058 000	362 058 000	362 058 000	362 058 000	362 058 000	362 058 000	362 058 000	362 058 000	362 058 000

TRI	36%
VAN (F CFA)	1 563 021 711
INDICE DE PROFITABILITE	2,70

CALCUL DU DRFI

ANNEE	CASH FLOW	CASH FLOW ACTUALISE A 7%	CUMUL CASH FLOW
1	296 229 273	275 493 224	275 493 224
2	362 058 000	314 990 460	590 483 684
3	362 058 000	296 887 560	887 371 244
4	362 058 000	275 164 080	1 162 535 324
5	362 058 000	257 061 180	1 419 596 504
6	362 058 000	242 578 860	1 662 175 364
7	362 058 000	224 475 960	1 886 651 324
8	362 058 000	209 993 640	2 096 644 964
9	362 058 000	195 511 320	2 292 156 284
10	362 058 000	184 649 580	2 476 805 864

DRFI= 3 ans et 1,32 mois, soit 37,32 mois

4.4 Détermination de la quantité de CO₂ épargnée par la mise en œuvre du projet

La production d'électricité du complexe, qui consomme mensuellement 313 745 KWh, était réalisée avec des groupes qui consommaient 75 400 litres de gas oïl par mois.

La mise en service du groupe ABC fonctionnant à la stéarine de palme sur le site de SIAT Gabon à Lambaréné a entraîné la suppression des rejets toxiques dans l'atmosphère.

Pour estimer les quantités de CO₂ épargnées, nous allons utiliser les données collectées pour chaque pays par l'agence internationale de l'énergie (AIE), données relatives aux émissions de CO₂ issues de la combustion des produits pétroliers pour la production d'électricité.

Pour le Gabon, ce paramètre est : 0,383 Kg CO₂ / KWh*, la consommation électrique mensuelle du complexe étant de 313 745 KWh, nous calculons :

- CO₂ épargné = 0,383 x 313 745 = **120 164,33 KgCO₂**
- CO₂ épargné / an = 120,16 x 11** = **1321,76 Tonnes CO₂**

* Voir annexe VIII : Taux de rejet de CO₂ en production électrique par pays (source AIE)

** La raffinerie est en activité 11 mois sur 12, il y a un mois d'arrêt par an

V. ANALYSES ET DISCUSSIONS

5.1 Substitution des moyens de production

Production mensuelle de stéarine de la raffinerie : 264 180 Kg

Consommation mensuelle de stéarine du groupe ABC : 66 062 Kg

- ✓ **LA SUBSTITUTION DE COMBUSTIBLE SERA TOTALE ET IL RESTERA DISPONIBLE ENVIRON 198 000 KG/MOIS DE STEARINE.**

5.2 Rentabilité de l'investissement

TAUX D'ACTUALISATION = 7%

Valeur actuelle nette de l'investissement : VAN = 2 192 461 662 F CFA

Taux de rentabilité interne de l'investissement : TRI = 45%

Délai de récupération des fonds investis : DRFI = 29,76 mois

Indice de profitabilité de l'investissement : IP = 3,39

- ✓ **TOUS LES INDICATEURS CONVERGENT POUR CONFIRMER LA RENTABILITE DE CE PROJET**

5.3 Etude de sensibilité du projet

Coût de maintenance annuelle à 8%, 10% et 15% de l'investissement

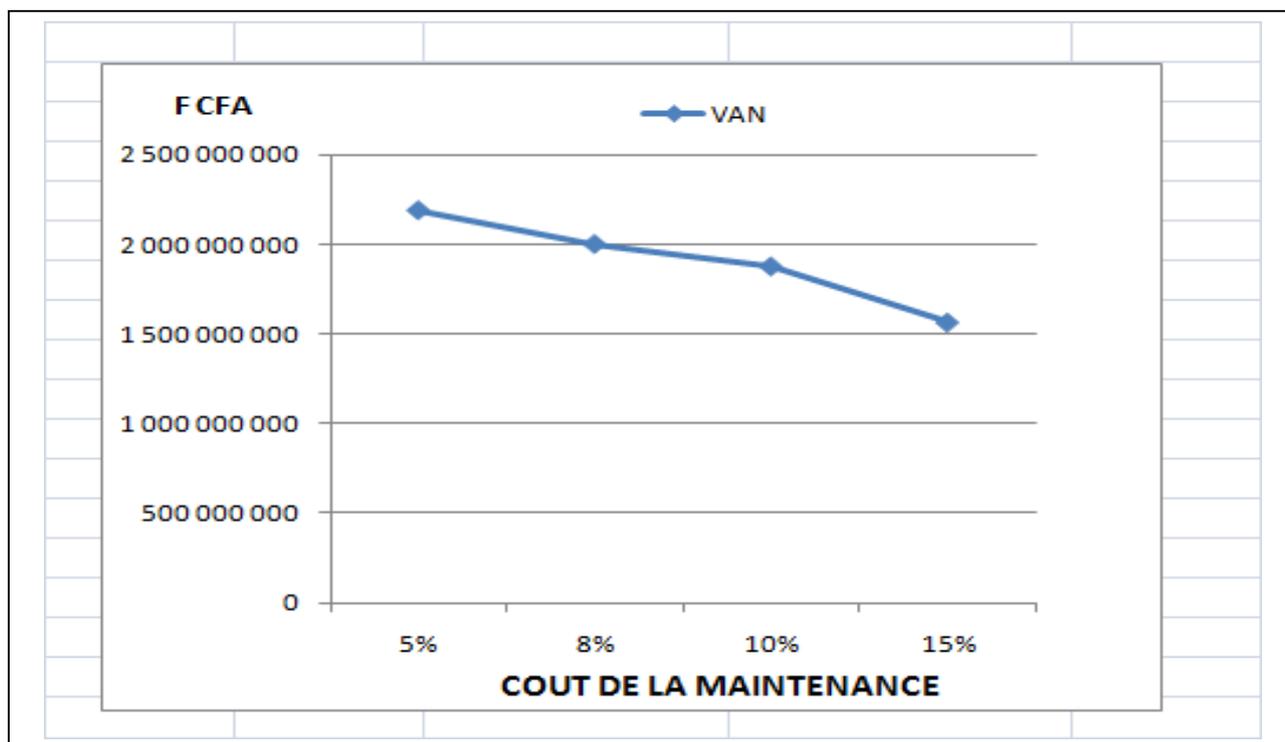
Par rapport à la situation de référence (taux de maintenance à 5%) nous constatons une dégradation des indicateurs de rentabilité ci-dessous :

- ✓ TRI = 43% (2 points de moins), 41% (4 points de moins) et 36% (9 points de moins).
- ✓ VAN = 2 003 629 677 F CFA (188 831 985 F CFA de moins) , 1 877 741 686 F CFA (314 719 976 F CFA de moins) et 1 563 021 711 F CFA (629 439 951 F CFA de moins).
- ✓ IP = 3,18 (0,21 point de moins), 3,04 (0,35 point de moins) et 2,70 (0,69 point de moins).

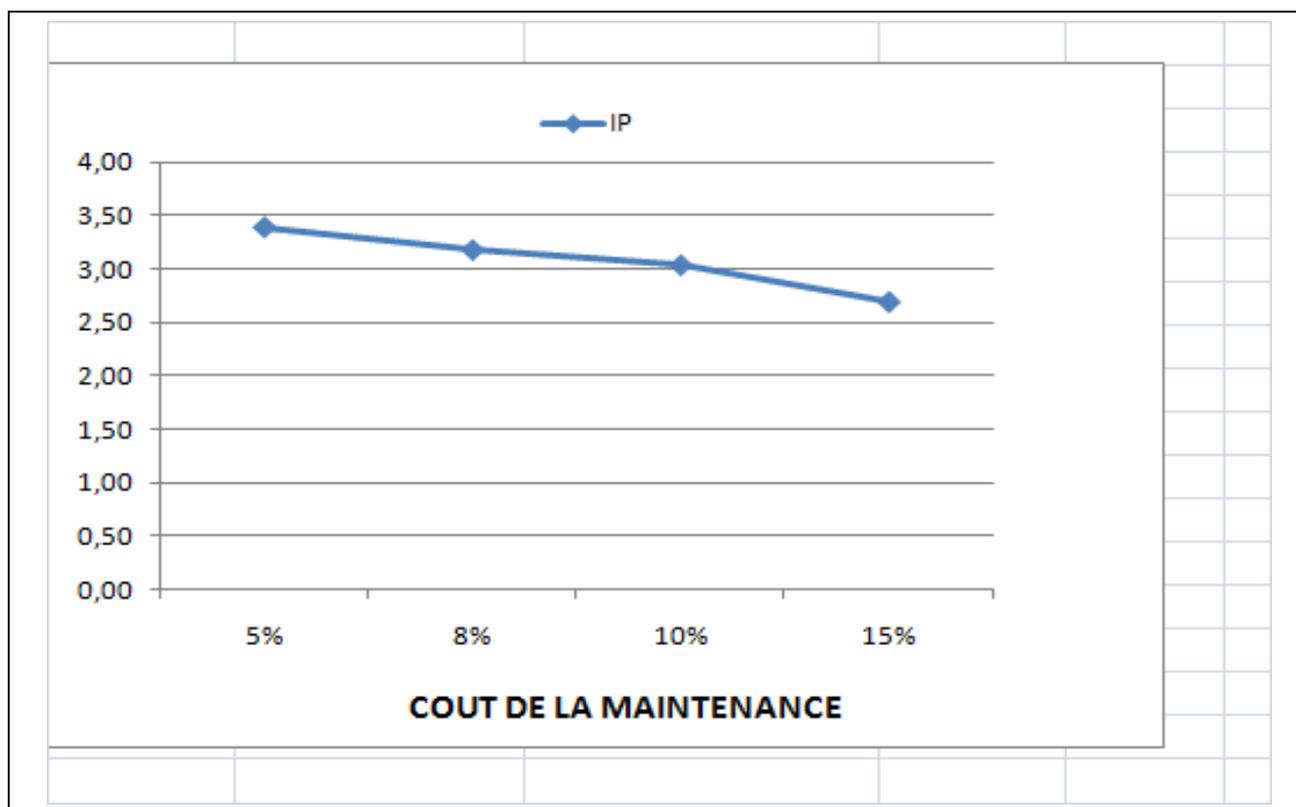
Le DRFI suit la même tendance, nous constatons également l'allongement du délai de récupération des fonds investis (29,76 mois → 31,68 mois → 33,12 mois → 37,32 mois).

Nous présentons ci-dessous des graphiques pour illustrer la tendance des variations des indicateurs de rentabilité.

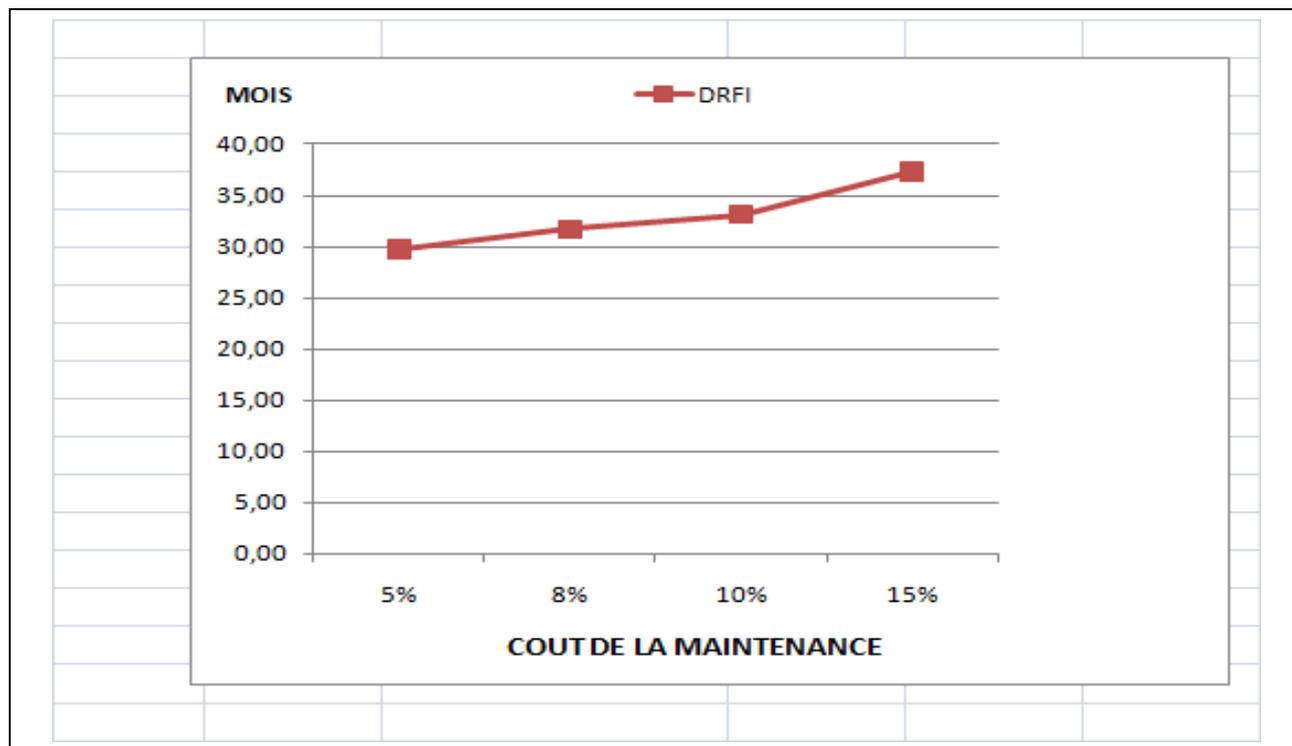
VARIATION DE LA VAN PAR RAPPORT A LA VARIATION DU COUT DE LA MAINTENANCE ANNUELLE



VARIATION DE L'INDICE DE PROFITABILITE PAR RAPPORT A LA VARIATION DU COUT DE LA MAINTENANCE ANNUELLE



VARIATION DU DELAI DE RECUPERATION DE L'INVESTISSEMENT PAR RAPPORT A LA VARIATION DU COUT DE LA MAINTENANCE ANNUELLE



- Les différents graphiques le présentent bien : une augmentation du coût de la maintenance annuelle entraîne une diminution de la VAN et de l'indice de profitabilité et, conséquence logique, l'allongement de la durée de récupération des fonds investis. Ce paramètre (le coût de maintenance annuelle) devrait donc faire l'objet d'une attention particulière de la part des exploitants et de l'équipe dirigeante de la raffinerie au regard des incidences sur le résultat de sa variation à la hausse.

Considérations relatives au débat entre agro-carburant et agriculture et à l'utilisation des HVC

1. Par rapport à l'utilisation des huiles végétales comme carburant, la question qui suscite le débat est la concurrence faite à l'agriculture par les agro-carburants, concurrence qui fait craindre une raréfaction des terres agricoles et une envolée des prix des produits alimentaires.

Le procédé retenu par SIAT Gabon pour alimenter son groupe électrogène avec la stéarine de palme, qui est la partie solide issue du fractionnement de l'huile de palme, nous paraît être la voie à suivre, le chemin du compromis, dans la mesure où c'est un résidu issu du procédé de raffinage qui n'ampute aucunement la quantité de l'oléine de palme qui est le produit comestible.

Ici il n'y a pas de compétition entre agro-carburant et produits agricoles.

2. Nous avons vu que l'huile de palme brute utilisée en l'état dans un moteur engendre des problèmes spécifiques à cause des caractéristiques physico-chimiques de l'huile de palme qui sont différentes de celles des produits pétroliers d'une part, mais aussi à cause des impuretés et de la teneur en eau de l'huile de palme brute.

Les impuretés les plus nuisibles pour les moteurs diesel sont les phospholipides, les sédiments, les acides gras libres et l'eau [6].

Le raffinage, qui comporte plusieurs étapes de filtration, débarrasse l'huile de palme des impuretés et de la quasi-totalité de l'eau, ce qui améliore la qualité comburivore de l'huile de palme.

Le contexte d'utilisation par SIAT Gabon de la stéarine de palme comme combustible, à savoir un sous produit issu du raffinage de l'huile de palme, est l'un de ceux qui réunit toutes les conditions de :

- ✓ Préservation de l'écosystème (pas de changement d'affectation des sols)
- ✓ Performances techniques de l'huile de palme
- ✓ Performances économique et financière (tous les coûts sont déjà pris en compte dans le prix de vente de l'huile raffinée)

VI. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les ressources pétrolières sont en constante diminution, au rythme actuel de consommation les projections de fin de ces matières premières sont connues, il faut qu'en Afrique nous prenions les devants en valorisant d'avantage les énergies renouvelables.

Par rapport aux données technico-économiques fournies par la direction technique de SIAT Gabon et aux hypothèses technico-économiques retenues, nous avons présenté la méthodologie d'évaluation de l'opération de substitution du gas oïl par l'huile de palme et de la rentabilité financière de ce projet.

Nous avons conclu que la substitution du gas oïl par l'huile de palme sera totale sur le site industriel de SIAT à Lambaréné.

Nous avons constaté qu'il restait une quantité importante de stéarine qui pourrait aussi être valorisée si un débouché économique était identifié.

La détermination de la rentabilité de ce projet a été principalement basée sur trois (3) indicateurs : la valeur actuelle nette (VAN), le taux de rentabilité interne (TRI) et l'indice de profitabilité (IP). Tous ces indicateurs confirment la rentabilité du projet.

Par rapport à la rentabilité des projets, les investisseurs sont mieux disposés vers ceux qui présentent un délai de retour sur investissement court. Le calcul du délai de récupération des fonds investis (DRFI) de ce projet a donné une durée inférieure à 36 mois (3 ans).

A notre avis, ce projet réuni toutes les conditions de rentabilité à savoir :

- VAN positive
- $IP > 1$
- $TRI > \text{Taux d'actualisation}$
- DRFI court (< 3 ans)

Recommandations

- 1) *L'équipe dirigeante de la raffinerie devra porter une attention particulière sur la maintenance du groupe ABC. Toute panne de ce groupe aura plusieurs répercussions immédiates sur la trésorerie de l'entreprise à savoir :*
 - ✓ *Retour à la production d'électricité par les groupes à gas oïl avec les coûts journaliers de combustible que nous connaissons.*
 - ✓ *Et achat de fournitures et / ou commande d'une prestation chez le constructeur ABC pour la remise en état du groupe.*

Toute panne de ce groupe entrainera donc des dépenses qui seront :

- ✓ *Supérieures à celles de la période antérieure à son acquisition.*
- ✓ *Proportionnelles à la durée de l'indisponibilité du groupe ABC.*

2) *La production d'électricité dans la ville de Lambaréné, assurée par la Société d'Energie et d'Eau du Gabon (SEEG), est réalisée avec des groupes thermiques qui fonctionnent au gas oil. La SEEG est tenue par des exigences de service public de maintenir cette production déficitaire.*

Il y a là une opportunité d'affaire à explorer par la SIAT Gabon qui possède encore suffisamment de stéarine de palme pour mettre en œuvre d'autres groupes qui eux pourraient directement être raccordés au réseau électrique de la ville de Lambaréné.

C'est le cas typique d'un partenariat gagnant-gagnant qui permettrait à la SEEG de réduire son déficit financier dans la localité de Lambaréné et à SIAT d'augmenter ses revenus.

La stéarine restante trouverait alors un débouché économique.

VII. BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles

- [1]: D^f François PINTA.CIRAD-2IE/ 2014, Note de cours Etude économique et financière d'un projet d'unité de production d'énergie ou de combustible à partir de biomasse
- [2]: Frédéric TRAORE. 2010, Note de cours Gestion financière de projet
- [3] : Xavier PAGES. 2012, Technologies des corps gras
- [4]: Benoit LUSSIS et Sandrine MEYER. 2005, Calcul des coefficients d'émission de l'huile de palme
- [5]: Barthelemy DE THEUX. 2004, Utilisation de l'huile de palme comme combustible dans les moteurs diesel
- [6]: Dr Joël BLIN ; Dr Sayon dit Sadio SIDIBE ; Dr Sylvie MOURAS. 2014, Guide technique pour l'utilisation d'huile végétale carburant dans les moteurs diesel stationnaires
- [7]: Christelle MIGNON, Cécile HENEFFE. 2014, Evaluation technico-économique de la bio méthanisation à la ferme
- [8]: Communautés européennes. 1997, Manuel, analyse financière et économique des projets de développements
- [9] : Emmanuel PEROU. 2012, Evaluation économique d'un projet d'investissement infrastructurel par l'analyse coûts-avantages
- [10] : Dr Sayon dit Sadio SIDIBE ; Dr Joël BLIN .2IE/2009, Huiles végétales pures comme carburant dans le moteur diesel : état de connaissance
- [11] : Dr Sayon dit Sadio SIDIBE ; Dr Joël BLIN ; William FOTSEU .2IE/2011, Comment utiliser les huiles végétales comme carburant dans des moteurs diesel?- Etat de l'art
- [12] : J.C.JANSEN. 1992, Cours d'introduction sur l'évaluation économique des projets énergétiques
- [13] : Office fédéral du développement territorial. 2004, Guide des outils d'évaluation de projets selon le développement durable
- [14] : Dr François PINTA.CIRAD-2IE/2006, Méthode d'analyse économique et financière, notion d'actualisation et indicateurs économiques utilisables pour l'analyse de projets
- [15] : Alain COUNET. 1994, Etudes de rentabilité économique et financière route express Cotonou-Porto novo
- [16] : Franck ONDO NANG.2IE/2013, Adaptation d'un moteur diesel à l'utilisation d'huile végétale pure (HVP) comme carburant et études des performances technico-économiques du système : application au prototype « FLEXY-ENERGY »
- [17] : Martin SOBGUI MIAFO. 2IE/2008, Automatisation et optimisation du fonctionnement d'un groupe électrogène fonctionnant aux huiles végétales
- [18] : Magazine d'entreprise SIAT Gabon
- [19] : Documentation technique SIAT Gabon fournie pendant le stage
- [20] : Documentation technique du constructeur ABC fournie pendant le stage

ANNEXES

ANNEXE I : METHODOLOGIE DE CALCUL DE LA VAN

ANNEXE II: CARACTERISTIQUES GROUPE ABC

ANNEXE III: SPECIFICATIONS DES BIOCARBURANTS POUR GROUPE ABC

ANNEXE IV: CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DIESEL ET HVC

ANNEXE V: GROUPE DE SIAT GABON FONCTIONNANT A LA STEARINE DE PALME

ANNEXE VI: MOTEUR ABC FIOUL LOURD / BIOCMBUSTIBLE

ANNEXE VII: FICHE TECHNIQUE MOTEUR DIESEL ABC 12/16 DZC

ANNEXE VIII: TAUX DE REJET DE CO₂ EN PRODUCTION ELECTRIQUE PAR PAYS

ANNEXE I : METHODOLOGIE DE CALCUL DE LA VAN

Excel > Référence des fonctions > Financier

VAN

☒ Afficher tout

Calcule la valeur actuelle nette d'un investissement en utilisant un taux d'escompte ainsi qu'une série de décaissements (valeurs négatives) et d'encaissements (valeurs positives) futurs.

Syntaxe

VAN(taux;valeur1;valeur2;...)

taux représente le taux d'actualisation pour une période.

valeur1, valeur2, ... sont les 1 à 254 arguments représentant les encaissements et les décaissements.

- valeur1, valeur2,... doivent intervenir à intervalles réguliers et à la fin de chaque période.
- VAN utilise l'ordre de valeur1, valeur2,... pour interpréter celui des flux financiers. Il convient donc de veiller à entrer les décaissements et encaissements dans le bon ordre.
- Les arguments peuvent être des nombres, des cellules vides, des valeurs logiques ou des nombres représentés sous forme de texte ; les arguments correspondant à des valeurs d'erreur ou du texte ne pouvant pas être converti en nombre ne sont pas pris en compte.
- Si un argument est une matrice ou une référence, seuls les nombres contenus dans cette matrice ou cette référence sont pris en compte. Les cellules vides, les valeurs logiques, le texte ou les valeurs d'erreur contenus dans la matrice ou la référence ne sont pas pris en compte.

Notes

- L'investissement considéré dans la fonction VAN commence une période avant la date du flux de valeur1 et se termine avec le dernier flux de la liste. Le calcul de la fonction VAN s'appuie sur des flux financiers futurs. Si votre premier flux intervient au début de la première période, la première valeur doit être ajoutée au résultat de la fonction VAN, et non incluse dans les arguments de valeurs. Pour plus d'informations, reportez-vous aux exemples suivants.

Dans notre cas, la première valeur (**valeur1=Investissement initial**) intervient **en début de période**. Nous avons donc fait le calcul de la VAN avec le tableur EXCEL comme cela est indiqué par le manuel en ajoutant la **valeur1** au résultat de la fonction VAN, de la manière présentée ci-dessous :

CELLULE	DONNEES		DESIGNATION EXCEL
H1	7%	Taux d'actualisation	taux
H2	-918 400 000	Investissement initial	Valeur1
H3	371 371 091	Flux financiers année 1	Valeur2
H4	453 898 000	Flux financiers année 2	Valeur3
H5	453 898 000	Flux financiers année 3	Valeur4
H6	453 898 000	Flux financiers année 4	Valeur5
H7	453 898 000	Flux financiers année 5	Valeur6
H8	453 898 000	Flux financiers année 6	Valeur7
H9	453 898 000	Flux financiers année 7	Valeur8
H10	453 898 000	Flux financiers année 8	Valeur9
H11	453 898 000	Flux financiers année 9	Valeur10
H12	453 898 000	Flux financiers année 10	Valeur11

= VAN (H1; H3: H12) + H2

C'est cette formule qui permet de retrouver la valeur de la VAN que l'on a par le calcul manuel, et dont la formule est présentée ci-dessous :

$$VAN = - 918\,400\,000 + 371\,371\,091(1,07)^{-1} + 453\,898\,000(1,07)^{-2} + 453\,898\,000(1,07)^{-3} + 453\,898\,000(1,07)^{-4} + 453\,898\,000(1,07)^{-5} + 453\,898\,000(1,07)^{-6} + 453\,898\,000(1,07)^{-7} + 453\,898\,000(1,07)^{-8} + 453\,898\,000(1,07)^{-9} + 453\,898\,000(1,07)^{-10}$$

ANNEXE II : CARACTERISTIQUES GROUPE ABC



QUANTITE de MOTEURS: 1
APPLICATION: Groupe Electrogène

CHARACTERISTIQUES DU MOTEUR

La construction du moteur de base, ainsi que les composants les plus importants importants, et les performances du moteur sont décrits et illustrés dans le catalogue, ci-joint. Une description plus détaillée se trouve dans le manuel " Description et Applications moteurs ABC."

Caractéristiques principales du moteur sélectionné:

- Constructeur:	ABC	Anglo Belgian Corporation N.V.
- Type	DZC	Moteur avec turbo et intercooling.
- Cycle:	4 - temps; simple effect:	
- Sence de rotation:	Links-drehend - vor Schwungrad.	
- Nombre de cylindres:	12	
- Alésage:	256	mm
- Course:	310	mm
- Cylindrée unitaire:	15,96	dm ³
- Cylindrée totale:	191,52	dm ³
- Taux de compression:	12.10 / 1	-
- Vitesse de rotation:	750	trs/min
- Vitesse de ralenti:	400	trs/min
- Couple maximal :	22340	Nm
- Pression moyenne effective:	14,7	bar

Conditions ISO; de référence:

- température ambiante [°C]:	27 °C
- temp. d'eau entrée intercooler [°C]:	27 °C
- hauteur [m]:	< 800 m
- humidité relative:	60 %
- détarrage:	0 %

ISO-referenties:

	Situ	
	40	°C
	45	°C
	18	m
	60 %	
	2,9%	

Puissance moteur suivant norme ISO 3046-I

	cv	kW	rpm	
- Puissance maximale par cylindre [ISO]:	330	243	1000	max.
- Puissance maximale du moteur [ISO]:	3960	2915	1000	max.
- Puissance nominale [ISO] du moteur:	2850	2098	750	
- Puissance moteur demandée:	2384	1755	750	
- Puissance au site:	2315	1704	750	
- Surchargeable de:	10%	max.1h per 12h.		
- la puissance sera limite par la demande de l' alternateur				

Consommation d'huile de graissage:

- Consommation d'huile:	0,45	g/kWh
- Tolérance:	+/- 0.3	g/kWh

Consommation suivant ISO 3046-I

- Moteur équipé pour tourner:	Bio-carburant.		
- Valeur calorifique du carburant de référence H _u MDO	42700	kJ/kg	
- Consommation de gasoil:	138,4	g/HP/h = 188,0	g/kWh
- Tolérance	+ 5%	sans pompes entraînées par le moteur.	

ANNEXE III : SPECIFICATIONS DES BIOCARBURANTS POUR GROUPE ABC

	FUEL SPECIFICATIONS ABC BIO-FUEL	N.T.196/E
	Requirements for Bio-Fuel for ABC Diesel Engines	Page A/A

		Min	Max	Test	To analyze
Density @ 15°C	kg/m³	850	990	ISO 12185	yes
Kinematic viscosity @ 40°C	cSt	2	380	ISO 3104	yes
Kinematic viscosity @ 90°C	cSt	2	380	ISO 3104	yes
Kinematic viscosity @ 110°C	cSt	2	380	ISO 3104	yes
Kinematic injection viscosity	cSt	8	14	ISO 3104	no
CCAI	-	-	840	ISO 8217	no
Cetane number	-	48	-	IP 498	yes
Lower heating value	kJ/kg	36000	43000	DIN 51900-2	yes
Flash point	°C	100	-	ISO 2719	yes
Carbon residue	% m/m	-	0,3	ISO 10370	yes
Water content	% m/m	-	0,05	ISO 12937	yes
Ash content	% m/m	-	0,01	ISO 6245	yes
Sediment content	% m/m	-	0,05	ISO 3735	yes
Sulphur content	% m/m	-	0,05	EN 20884	yes
Acid number	mg KOH/g	-	2	EN 14104	yes
Calcium	mg/kg	-	10	EN 14538	yes
Sodium + Potassium (NL: Kalium)	mg/kg	-	20	EN 14538	yes
Calcium + Magnesium	mg/kg	-	15	EN 14538	yes
Phosfor	mg/kg	-	5	EN 14107 *	yes
* analysis method EN 14107 is very precise but only for low P-contents (P ≤ 20 mg/kg)					
Polymer	%	-	2	GPC	yes
Iodine value	g Jod/100g	-	130	EN 14111	yes
Oxidation stability @ 110°C	h	6	-	EN 14112	yes
Total contamination	mg/kg	-	-	EN 12662	yes
Vanadium	mg/kg	-	50	DIN 51399-2	yes
Silicium	mg/kg	-	10	DIN 51399-2	yes
Sodium (NL: Natrium)	mg/kg	-	30% of V	DIN 51399-2	yes
Aluminium	mg/kg	-	10	DIN 51399-2	yes
Copper	mg/kg	-	10	DIN 51399-2	yes
Iron	mg/kg	-	10	DIN 51399-2	yes
Silicon	mg/kg	-	10	DIN EN 11885	• yes

Other harmful elements which are not in this list are supposed not to be in the fuel.

We reserve the right to make changes on this specification in accordance with long-term experience during engine operation.

Following this bio-fuel specification will help to avoid danger, reduce repair costs and downtimes, increase reliability and prolong the life of your ABC engine.

Datum : 22 DECEMBER 2009	Handt. MBa
---------------------------------	-------------------

Heure de réception 20. Juin 16:47

ANNEXE IV : CARACTERISTIQUES PHYSICO-CIMIQUES DIESEL ET HVC

Tableau comparatif	DIESEL		COLZA		PALME	SVO	BD	Jatropha
	Unités	Qualité requise Min Max	Naturelle	Propriété EMC				
<i>Caractéristiques</i>								
PCI massique	kJ/kg	42,500	37,400	37,700	35,600			39.600-41.800
PCI volumique	kJ/dm ³	36,000	34,300	33,200	32,100			
Masse volumique à 15°C	kg/m ³	820	845	916 (à 20°C)	880 (à 20°C)	900-920	880	910-920
Stabilité à l'oxydation	g/m ³	-	25					
Indice de cétane « mesuré »	-	51,0	32 à 36	49-51	50			51,0
Indice de cétane « calculé »	-	46,0			(38-40)			
Pouvoir lubrifiant, diamètre de marque d'usure corrigée à 60°C	µm	-	460					
Viscosité à 40°C	mm ² /s	2,00	4,50	+/- 35	40	60-80	7-8 ?!	77 (à 20°C)
Corrosivité, essai à la lame de cuivre, (3h à 50°C)	classe		classe I					
Point d'éclair	°C	> 55 (90)	-	325	280-300	> 220	135	110-240
Teneur en soufre	%		1,0-1,2	< 0,01				0,13
Diesel	mg/kg	-	350					
Diesel -50S	mg/kg	-	50					
Teneur en Hydrocarbure de type : - Aromatiques Polycycliques	% (m/m)	-	11					
Teneur en cendres	% (m/m)	-	0,01	0,079	< 0,001			
Teneur en eau	mg/kg	-	200					
Teneur en phosphate	mg/kg	-						
Contamination totale	mg/kg	-	24					
Distillation								
- % (v/v) condensé à 250 °C	% (v/v)	-	< 65					
- % (v/v) condensé à 350 °C	% (v/v)	85	-					
- point 95 % (v/v) condensé à	°C	-	360					
Résidu de carbone	% (m/m)	-	0,30	0,30	0,22			
(sur le résidu 10% de distillation)								
Température limite de filtrabilité	°C							2 (solidifie)
- Période d'été : classe B		0						
- Période de mars à novembre compris								
- Période d'hiver : classe E								
- décembre, janvier et février								

ANNEXE V : GROUPE DE SIAT GABON FONCTIONNANT A LA STEARINE DE PALME



ANNEXE VI : MOTEUR ABC FIOUL LOURD / BIOCOMBUSTIBLE



ABC diesel Produits Service et pièces Documentation Références Nouvelles Contactez nous

NOTRE GAMME DE MOTEURS

DL36	(V)DZ	DZ	DX	GRUPE ÉLECTROGÈNE	HFO / BIO	DUAL FUEL
------	-------	----	----	-------------------	-----------	-----------



MOTEUR AU FIOULE LOURD / BIOCOMBUSTIBLE

DZC Suralimenté et avec réfrigérant d'air
 (V)DZC Suralimenté et avec réfrigérant d'air

Télécharger la fiche technique

Jusque 3800kWm	Injection directe de combustible
Semi-lent, 720-1000tpm	Suralimenté
Rotation Anti-horaire ou horaire	L'air de suralimentation est refroidi par eau
4 temps	Peut fonctionner au fioul lourd, à l'huile végétale, à la graisse animale, etc.
Les cylindres sont disposés en ligne ou en V	

Disponible en 6 et 8 cylindres en ligne
 Disponible en 12 et 16 cylindres en V

La gestion de la technologie étant l'une des forces d'ABC, ABC a fait en sorte de faire fonctionner ses moteurs avec toute sorte de combustibles. Ensemble avec nos clients nous avons recherché les meilleures solutions économiques et environnementales. Aujourd'hui de nombreuses applications sont toujours en service, ce qui montre la fiabilité des solutions développées.

RÉFÉRENCES >> UTILISATION DES MOTEURS AU FIOULE LOURD ET AU BIOCOMBUSTIBLE

<p>P.C. VAN TUIJL</p> <p>Moteur: 2x 16(E)DZC-750-179-A Puissance: 2x 2650kW (2x 3600CH) Combustible: graisses de friture Alternateur: AVK DIG 150 m/8 Lieu: Kesteren (NL)/Lienden (NL) Construction: 10/2007</p>	<p>PHU QUOC ISLAND</p> <p>Moteur: 2x 16(E)DZC-750-179-A Puissance: 2x 2650kW (2x 3600CH) Comb.: HFO (380 cSt-50°C) Alternateur: AVK DIG 150 n/8 Propriétaire: Cosi Ltd. Construction: 08/2006</p>	<p>SIEGER V - HAMBURG</p> <p>Moteur: 3x 8(E)DZC-1000-135-A Puissance: 3x 1435kW (3x 1950CH) Combustible: huile de palme Alternateur: LSA 54 s65/6p Propriétaire: KWB Natural Energy Construction: 09/2007</p>	<p>BRAZZAVILLE</p> <p>Moteur: 10x 16(E)DZC-1000-166-A Puissance: 10x 3250kW (10x 4415CH) Comb.: HFO (180 cSt-50°C) Alternateur: AVK DIG 150 II Propriétaire: DGGT Construction: 08/2007</p>
--	---	---	---

ANNEXE VII : FICHE TECHNIQUE MOTEUR DIESEL ABC 12/16 DZC

Fiche technique des moteurs diesel ABC type (V)DZC

Conditions opérationnelles basées sur les conditions ISO (ISO 3046-1)

ABC se réserve le droit de modifier les données techniques sans avis préalable.

Définition

(V)DZC: Moteur semi-lent, suralimenté et avec réfrigérant d'air, disponible avec sens de rotation anti-horaire ou horaire. Peut fonctionner au diesel, fioul lourd, huile végétale, graisse animale, ... L'exécution Dual Fuel est également possible.

Données de base

Cycle	4 temps, simple effet
Cylindres	12-16 en V
Alésage	256 mm
Course	310 mm
Cylindrée	12 cylindres: 191,5 litres 16 cylindres: 255,2 litres
Rapport de compression	12,1 - 1
Injection	Directe, mécanique Une pompe par cylindre
Pression moyenne effective max.	18,8 bar (à 1000 rpm)
Vitesse du piston	10,3 m/s (à 1000 rpm)

Émissions

Conformes aux exigences environnementales, telles que IMO TIER-2 et CCNR-2 et EUSA.

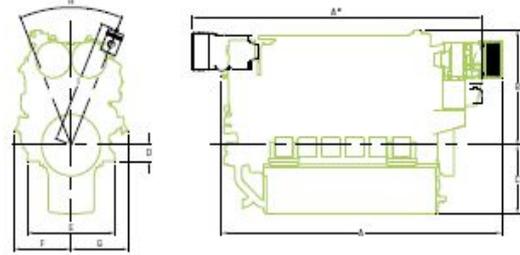
Puissance

Type de moteur	rpm	Puissance du moteur (ISO 3046-1)		Puissance nominale des générateurs (V)DZC			
		KW	CH	50 Hz électrique - 3 phase		60 Hz électrique - 3 phase	
				P ₅₀ (KW)	P ₅₀ (MVA)	P ₆₀ (KW)	P ₆₀ (MVA)
12 DZC-720-181	720	2064	2804	---	---	1961	2651
12 DZC-750-179	750	2130	2894	2024	2530	---	---
12 DZC-900-166	900	2388	3245	---	---	2269	2836
12 DZC-900-188 *	900	2700	3668	---	---	2565	3206
12 DZC-1000-166	1000	2652	3603	2519	3169	---	---
12 DZC-1000-188 *	1000	3000	4074	2850	3543	---	---
16 DZC-720-181	720	2752	3739	---	---	2614	3268
16 DZC-750-179	750	2840	3859	2696	3372	---	---
16 DZC-900-166	900	3184	4326	---	---	3025	3781
16 DZC-900-188 *	900	3600	4891	---	---	3420	4275
16 DZC-1000-166	1000	3536	4804	3359	4199	---	---
16 DZC-1000-188 *	1000	4000	5435	3800	4750	---	---

[*] Pour applications spéciales

Facteurs de conversion utilisés: 1 CH métrique = 0,736 KW • Efficacité du générateur: $\eta_g = 0,95$ • Facteur de puissance: $\cos \phi = 0,8$

Moteur 12/16DZC

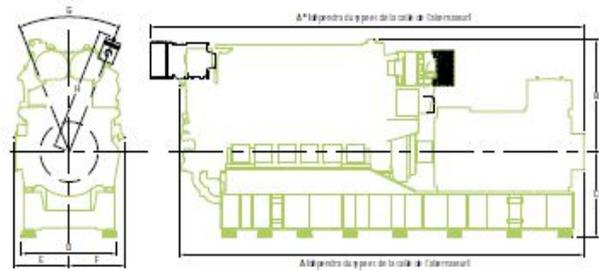


	A (mm)	A* (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)	I (mm)	J (mm)	K (mm)	L (mm)	M (mm)	N (mm)	O (mm)	P (mm)	Q (mm)	R (mm)	S (mm)	T (mm)	U (mm)	V (mm)	W (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Poids sec** (kg)	
12DZC	4529	4684	1780	1060	250	1425	925	925	45	1950	18000																		18000
16DZC	5289	5444	1780	1060	250	1425	925	925	45	1950	21750																		21750

* Turbocompresseurs de construction libre

** Valeur approximative de fabrication et refroidissement inclus

Générateur 12/16DZC



	A (mm)	A* (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)	I (mm)	J (mm)	K (mm)	L (mm)	M (mm)	N (mm)	O (mm)	P (mm)	Q (mm)	R (mm)	S (mm)	T (mm)	U (mm)	V (mm)	W (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Poids sec** (kg)		
12DZC	6667	7143	1780	1351	1575	925	925	45	1950	33500																			33500	
16DZC	7847	8323	1780	1351	1575	925	925	45	1950	43200																				43200

* Turbocompresseurs de construction libre

** La masse totale du groupe électrogène dépend du type et de la taille de l'alternateur

4.1.1.2 Mix électrique autres pays

Description

Pour l'étranger, les valeurs ont été prises dans une publication de l'Agence Internationale de l'Energie (« CO₂ Emissions from Fuel Combustion », 2013, fournissant des données pour 2011²¹⁰) et figurent dans le tableau ci-dessous.. Dans cette publication, les valeurs tiennent compte des kWh électriques et thermiques fournis. Par ailleurs, les échanges transfrontaliers ne sont pas pris en compte. Enfin, cela concerne uniquement les émissions directes des centrales.

L'ensemble des hypothèses de calcul retenus par l'AIE présentées ci dessus ne permettent ainsi pas de comparer directement ces données avec celles de la France.

Pays	kgCO _{2e} / kWh	Pays	kgCO _{2e} / kWh
Afrique du Sud	0,927	Japon	0,416
Albanie	0,002	Jordanie	0,566
Algérie	0,548	Kazakstan	0,766
Allemagne	0,461	Kenya	0,274
Angola	0,440	Kirghizistan	0,094
Antilles Néerlandaises	0,707	Kosovo	1,287
Arabie Saoudite	0,737	Koweït	0,842
Argentine	0,367	Lettonie	0,227
Arménie	0,181	Liban	0,709
Australie	0,841	Libye	0,885
Autriche	0,188	Lituanie	0,548
Azerbaïdjan	0,584	Luxembourg	0,410
Bahreïn	0,640	Macédoine	0,687
Bangladesh	0,593	Malaisie	0,727
Bélarus	0,585	Malte	0,872
Belgique	0,220	Maroc	0,718
Bénin	0,720	Mexique	0,455
Birmanie	0,262	Moldavie	0,583
Bolivie	0,423	Mongolie	1,492
Bosnie-Herzégovine	0,729	Montenegro	0,405
Botswana	2,517	Mozambique	0,001
Brésil	0,087	Namibie	0,197
Brunéi Darussalam	0,798	Népal	0,001
Bulgarie	0,579	Nicaragua	0,460
Cambodge	0,804	Nigéria	0,405
Cameroun	0,207	Norvège	0,017

Canada	0,186	Nouvelle-Zélande	0,150
Chili	0,410	Oman	0,794
Chine	0,766	Ouzbékistan	0,734
Chypre	0,702	Pakistan	0,425
Colombie	0,176	Panama	0,298
Congo	0,142	Paraguay	0,000
Corée	0,533	Pays-Bas	0,415
Corée	0,465	Pérou	0,289
Costa rica	0,056	Philippines	0,481
Côte d'Ivoire	0,445	Pologne	0,781
Croatie	0,305	Portugal	0,255
Cuba	1,012	Qatar	0,494
Danemark	0,360	Rép. Dém. Du Congo	0,003
Dominicaine, République	0,589	République Tchèque	0,589
Égypte	0,450	Roumanie	0,499
El Salvador	0,223	Royaume-Uni	0,457
Émirats Arabes Unis	0,598	Russie	0,639
Équateur	0,389	Sénégal	0,637
Érythrée	0,646	Serbie	0,724
Espagne	0,238	Singapour	0,499
Estonie	1,014	Slovaquie	0,197
États-Unis	0,522	Slovénie	0,325
Éthiopie	0,007	Soudan	0,344
Finlande	0,229	Sri Lanka	0,379
		Suède	0,030
Gabon	0,383	Suisse	0,027
Géorgie	0,071	Tadjikistan	0,024
Ghana	0,259	Taiwan	0,768
Gibraltar	0,762	Tanzanie	0,329
Grèce	0,718	Thaïlande	0,513
Guatemala	0,286	Togo	0,195
Haiti	0,538	Trinité-et-Tobago	0,700
Honduras	0,332	Tunisie	0,463
Hongrie	0,317	Turkménistan	1,898
Inde	0,912	Turquie	0,460
Indonésie	0,709	Ukraine	0,419
Iraq	1,003	Union européenne à 27	0,429
Irlande	0,458	Uruguay	0,081
Irlande	0,565	Venezuela	0,264
Islande	0,000	Viêt Nam	0,432
Israël	0,689	Yémen	0,655
Italie	0,406	Zambie	0,003
Jamaïque	0,711	Zimbabwe	0,660