



OPTIMISATION ENERGETIQUE EN INDUSTRIE : CAS DES GISEMENTS D'ECONOMIES POTENTIELLES DE LA NOUVELLE INDUSTRIE DES OLEAGINEUX DU TOGO (NIOTO)

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER EN GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE
SPECIALITE : RESEAUX ELECTRIQUES

Présenté et soutenu publiquement le 22 septembre 2020 par

Ayi AYAYI (2012 0589)

**Encadrant 2iE : Jean Francis SEMPORE Enseignant au département Génie Électrique
Énergétique et Industriel de 2iE**

**Maître de stage : Koffivi M. AGBOKA, Ingénieur de conception Génie Mécanique,
Directeur Industriel de NIOTO**

Structure d'accueil du stage : Nouvelle Industrie des Oléagineux du Togo (NIOTO)

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr. Ing. Kokouvi Edem N'TSOUKPOE

Membres et correcteurs : Dr. Sayon SIDIBE
Ing. Jean Francis SEMPORE

Promotion [2019/2020]

DEDICACES

*J'aimerais par cette occasion, dédier ce
travail :*

*À mes parents Basile et Rose ainsi qu'à
mes frères et sœurs Carlos, Irène, Yanice,
Patricia et Félix pour leur remarquable
soutien et toute l'affection qu'ils portent à
mon égard.*

*À mon Oncle Me François Ayayi
ALOGNON, avocat du barreau du Togo-
Conseil juridique et sa femme pour leur
soutien.*

*À mes camarades de classe et amis pour
tous ces moments de partage que nous
avons passés ensemble.*

CITATIONS

*« Si vous voulez trouver les secrets de
l'univers, pensez en termes d'énergie, de
fréquence, d'information et de vibration »*

Nikola TESLA

Remerciements

Au terme de la rédaction de ce document, c'est un réel plaisir pour nous d'exprimer en quelques lignes, notre profonde gratitude envers tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce document. Nous tenons à adresser nos sincères remerciements :

À l'ensemble du corps enseignant et le personnel de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (**2IE**) ;

M. **Jean Francis SEMPORE** notre encadreur pédagogique, Enseignant et Conseiller du Directeur Général chargé du développement Institutionnel à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE), pour son encadrement fructueux, sa générosité et son suivi tout au long de ce projet ;

M. **Thierry AWESSO**, NIOTO, Directeur Général, pour nous avoir accordé ce stage de fin d'études ;

M. **Koffivi M. AGBOKA**, NIOTO, Directeur Industriel, notre encadreur, pour nous avoir suivi avec rigueur et encouragé tout au long de notre stage ;

M. **Ayikoue D. AYAYI**, NIOTO, Chef Atelier Électrique ; pour nous avoir accueilli et mis à notre disposition toutes les ressources nécessaires pour l'accomplissement de ce projet ;

M. **Alassan MADJANTA**, NIOTO, Chef Service Energie, qui a toujours été disponible pour nous accompagner dans notre tâche ;

M. **Nicolas DJANKALE**, NIOTO, Chef Chaufferie, qui a toujours été disponible pour nous et a mis à notre disposition les ressources matérielles et humaines pour le bon déroulement du projet ;

M. **Valère GOGRI**, NIOTO, Chef Atelier Mécanique, pour sa disponibilité et ses précieux conseils ;

Les travailleurs de la NIOTO que nous avons côtoyés ;

Aux membres du jury, pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail ;

À tous mes amis et camarades de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE), pour ces bons moments passés ensemble ;

Enfin à toute notre famille pour les prières et accompagnements pour le bon déroulement de ce projet.

Résumé

NIOTO, un des plus grands spécialistes dans le traitement des oléagineux au Togo se noie peu à peu dans les coûts exorbitants à consentir dans les besoins énergétiques. Pour réduire ces dépenses, NIOTO a adopté plusieurs approches dont l'optimisation de la consommation d'énergie liée aux dits procédés. Ce mémoire présente l'analyse de la consommation électrique, l'étude des composantes énergivores du système de production et trois différents scénarios d'optimisation de la consommation en énergie.

Un premier vise à améliorer la perception du personnel sur la question d'économie d'énergie ainsi que le suivi des équipements. Ceci permettra de réduire de 5% les charges énergétiques soient 1 622,85 tonnes de combustible et 189,55 MWh électriques économisables.

Un second scénario s'oriente vers l'amélioration du réseau de distribution de vapeur. Il va permettre de consommer 11 839,53 tonnes de combustible en moins soit 5 138,13 tonnes équivalent pétrole d'énergie primaire économisées et une réduction de l'émission de CO₂ de 19 949,6 tonnes.

Le dernier scénario consiste à réviser la consommation électrique et donc la consommation des moteurs électriques intégrés au process. Ce qui va occasionner une diminution de la puissance appelée équivalent à une économie annuelle de 7 500 000 F CFA sur la facture d'électricité.

Mots Clés : ils doivent être choisis en relation avec le thème traité et classés par ordre alphabétique

-
- 1 - Chaudière**
 - 2 - Économie**
 - 3 - Energie**
 - 4 - Optimisation**
 - 5 - Vapeur**

ABSTRACT

NIOTO (Nouvelle Industrie des Oléagineux du Togo) one of the biggest specialists in the treatment of oilseeds in Togo is gradually drowning in the face of exorbitant costs to be agreed in the energy needs. To reduce these expenses, NIOTO has adopted several approaches, thus optimizing the energy consumption linked to these processes. This thesis presents the analysis of electricity consumption, the study of the energy-consumption components of the production system and three different scenarios for optimizing energy consumption.

A first scenario aims to improve the staff's perception of the issue of energy saving and the monitoring of equipment. This will reduce energy costs by 5%, or 1,622.85 tons of fuel and 186.55 MWh of electrical energy that can be saved.

A second scenario is aimed at improving the steam distribution network. It will make it possible to consume 11,839.53 tons of fuel and 5,138.13 tons of oil equivalent of primary energy saved. The last scenario consists in overhauling the electric motors integrated into the process. This will cause a decrease in power demand equivalent to an annual saving of 7,500,000 CFA francs on the electricity bill.

Key words:

1 - Boiler

2 - Economy

3 - Energy

4 - Optimization

5 – Steam

Liste des abréviations

%calo	:	Efficacité du calorifugeage en pourcentage
%CO₂	:	Pourcentage de dioxyde de carbone dans les fumées
(m_{N2})_{air}	:	Masse de diazote
2iE	:	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
A	:	Ampère
AC_{réel}	:	Quantité d'air réelle suffisante pour la combustion
AC_{théorique}	:	Quantité d'air suffisante pour la combustion
Comb	:	Combustible
C_p	:	Capacité calorifique à pression constante
E_L	:	Energie libérée
E_{ng}	:	Energie globale consommée
f_s	:	Taux de fuite de vapeur
GEEI	:	Génie Électrique Énergétique et Industriel
GWh	:	Giga Wattheure
H, h	:	Enthalpie
H_{an}	:	Nombre d'heure de fonctionnement
h_{fg}	:	Chaleur latente de la vapeur
Kg	:	kilogramme
kJ	:	kilojoule
kVA	:	kilo Volt Ampère
kW	:	kilo Wattheure
m_{CO2}	:	Masse de dioxyde de carbone
MWh	:	Méga Wattheure
η_{comb}	:	Rendement de combustion
NIOTO	:	Nouvelle Industries des Oléagineux du Togo
P_{an}	:	Pertes annuelles
PCI	:	Pouvoir calorifique inférieur
PCS	:	Pouvoir calorifique supérieur
Q	:	Perte d'énergie
q₁	:	Chaleur sensible du condensat avant décharge
q₂	:	Chaleur sensible du condensat à la décharge

OPTIMISATION ENERGETIQUE EN INDUSTRIE : CAS DES GISEMENTS D'ECONOMIES
POTENTIELLES DE LA NOUVELLE INDUSTRIE DES OLEAGINEUX DU TOGO (NIOTO)

Q_{comb}	:	Quantité de combustible
Q_{netteO2}	:	Quantité nette d'oxygène
Q_{O2 dans l'air}	:	Quantité d'oxygène dans l'air atmosphérique
t	:	Tonne
T_{amb}	:	Température ambiante
t_{eau}	:	Tonne d'eau
T_{fumées}	:	Température des fumées
V	:	Volt
W	:	Watt

Sommaire

<i>DEDICACES</i>	<i>ii</i>
<i>Remerciements</i>	<i>iv</i>
<i>Résumé</i>	<i>v</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>vi</i>
<i>Liste des abréviations</i>	<i>vii</i>
<i>Sommaire</i>	<i>ix</i>
<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	<i>xii</i>
<i>LISTE DES FIGURES</i>	<i>xiii</i>
<i>INTRODUCTION</i>	<i>1</i>
<i>I Présentation de l'établissement et objectifs</i>	<i>3</i>
I.1 Présentation de la structure d'accueil	3
I.1.1 Historique et statut	3
I.1.2 Organisation	3
I.2 Contexte de l'étude	6
I.3 Les objectifs de l'étude	6
I.3.1 Objectif général.....	6
I.3.2 Objectifs spécifiques	6
I.4 Présentation de l'étude	6
I.4.1 Localisation	6
I.5 Procédé de production	7
<i>II Description de la situation existante</i>	<i>11</i>
II.1 Les chaudières	11
II.1.1 Généralité et description.....	11
II.2 Le réseau de distribution eau-vapeur	12
II.2.1 Généralité et description.....	12
II.3 Les moteurs électriques	15
II.3.1 Généralités et description	15

II.4	Facturation électrique	16
II.4.1	Caractéristiques de l'installation	16
III	<i>Campagne de collecte de données.....</i>	17
III.1	Production / consommation des cinq dernières années	17
III.2	Métré de la tuyauterie et des accessoires non isolés.....	17
III.3	Échantillon de moteurs.....	17
III.4	Chiffres de la consommation électrique.....	20
IV	<i>Analyse énergétique des points de consommation</i>	20
IV.1	Performance énergétique des chaudières	20
IV.1.1	Calcul du pouvoir comburivore, de l'énergie libérée et du rendement de combustion	22
IV.1.2	Conclusion partielle.....	27
IV.2	Situation énergétique du réseau de distribution de vapeur	27
IV.2.2	Évaluation des pertes du réseau.....	28
IV.2.3	Conclusion partielle.....	33
IV.3	États des moteurs électriques.....	33
IV.3.1	Méthode d'évaluation des moteurs	33
IV.3.2	Études Résultats et interprétation	34
IV.4	Consommation électrique.....	36
IV.4.1	Évolution de la consommation d'électricité	36
IV.4.2	Facteur de charge.....	37
IV.4.3	Taux de charge du transformateur	38
IV.4.4	Facteur de puissance.....	39
IV.4.5	Puissance maximale appelée	39
IV.4.6	Évaluation de la souplesse de la charge.....	39
V	<i>Identification des mesures d'amélioration</i>	40
V.1	Management de l'énergie	40
V.2	Performance énergétique du réseau de distribution de l'énergie thermique	41
V.3	Consommation électrique.....	42
VI	<i>Plan d'action et calcul des objectifs.....</i>	42
VI.1	Projet 1 : Amélioration du système de management de l'énergie	43
VI.1.1	Énoncé du projet.....	43
VI.1.2	Évaluation des investissements	44

OPTIMISATION ENERGETIQUE EN INDUSTRIE : CAS DES GISEMENTS D'ECONOMIES
POTENTIELLES DE LA NOUVELLE INDUSTRIE DES OLEAGINEUX DU TOGO (NIOTO)

VI.1.3	Calcul des économies	45
VI.2	Projet 2 : Amélioration de la performance énergétique du réseau de distribution de vapeur	47
VI.2.1	Énoncé du projet.....	47
VI.2.2	Évaluation des investissements	47
VI.2.3	Calcul des économies	48
VI.3	Projet 3 : Optimisation de la consommation électrique	51
VI.3.1	Énoncé du projet.....	51
VI.3.2	Évaluation des investissements	51
VI.3.3	Calcul des économies	51
	CONCLUSION.....	53
	Bibliographie	I
	Annexes.....	III
	Annexe 1 : Métré de la tuyauterie non isolée du circuit vapeur	IV
	Annexe 2 : Détails sur le rendement des chaudières.....	VI
	Annexe 3 : Méthode de détermination des pertes du tableau 10.....	VIII
	Annexe 4 : Solutions et attitudes pour l'optimisation de l'efficacité des chaudières.....	IX
	Annexe 5 : Détail du déclassement des moteurs.....	XI
	Annexe 6 : Détails sur le profil de consommation.....	XII
	Annexe 7 : Lignes directrices de l'implantation de l'iso 50001.....	XIII
I	But d'un système de gestion de l'énergie.....	XIII
II	Éléments d'un système de gestion de l'énergie.....	XIII
III	Politique énergétique	XIV

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Puissance installée des moteurs par section	15
Tableau 2 : Consommation/Production des cinq dernières années (source : Services Production et Energie)	17
Tableau 3 : Composition de l'échantillon de moteur.....	19
Tableau 4 : Fiche de notation pour les chaudières [3].....	20
Tableau 5 : Tableau Échelle-mesure [3]	21
Tableau 6 : Composition centésimale de la farine de karité	21
Tableau 7 : Model simplifié de calcul du pouvoir comburivore	23
Tableau 8 : Tableau de notation du réseau eau-vapeur [3]	28
Tableau 9 : Tableau Échelle-mesure (réseau de vapeur) [3].....	28
Tableau 10 : Tableau des pertes d'énergie en fonction des DN [7].....	29
Tableau 11 : Équivalence en mètre des accessoires	30
Tableau 12 : Tableau résumant les pertes du circuit vapeur	31
Tableau 13 : Tableau des équivalences de consommation.....	32
Tableau 14 : Test 1-2-3 (performance du moteur) [9]	34
Tableau 15 : Classement moteur [9]	34
Tableau 16 : Présentation des résultats de l'échantillon	35
Tableau 17 : Métré de la tuyauterie non calorifugée.....	IV
Tableau 18 : Tableau des facteurs spécifiques des combustibles.....	VI
Tableau 19 : Résumé des pertes	VIII
Tableau 20 : Chiffres clés de la consommation de l'année de référence.....	XII

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Organigramme de la structure d'accueil	5
Figure 2 : Carte du site de l'entreprise.....	7
Figure 3 : Illustration d'une chaudière à combustion	11
Figure 4 : Constituants d'un circuit vapeur [5].....	13
Figure 5 : Barillet de dérivation du circuit vapeur	14
Figure 6 : Illustration comparative entre puissances installées	16
Figure 7 : Profil de la consommation d'électricité	37
Figure 8 : Facteur de charge	38
Figure 9 : Taux de charge du transformateur	38
Figure 10 : Puissances maximales appelées en 2018	39
Figure 11 : Interface STEP7 [10]	43
Figure 12 : Configuration dans STEP7 [11].....	43
Figure 13 : Processus de gestion de l'énergie.....	XIII

INTRODUCTION

L'industrie est un mot pluridimensionnel qui regroupe la plupart des travaux humains. Il est à présent question de la production de bien grâce au traitement des matières premières ou des matières ayant déjà subi un ou plusieurs traitements et de l'exploitation des sources d'énergie. L'agro-industrie est apparue au même moment que l'agriculture il y a environ onze mille ans [1]. En réalité, le principal objectif de cette activité est de transformer les matières premières périssables en consommables. Cette dernière étant restée démesurément longtemps rattachée à la production agricole à petite échelle, verra sa taille croître au fil des ans. L'industrie agroalimentaire telle que perçue de nos jours n'a authentiquement commencé qu'à partir du XIX^{ème} siècle au cours de la révolution industrielle.

En Afrique, l'alimentation est l'un des facteurs économiques et sociaux les plus importants dans le budget des ménages et même des gouvernements. En effet, elle représente 13,6% du budget total en 2011 et d'ici 2030, la production devra doubler afin de nourrir les 1,5 milliards d'habitants [1]. L'agro-industrie mobilise assez de ressources énergétiques et génère de la pollution en conséquence. Une augmentation de la production alimentaire engendrerait une augmentation de la demande énergétique de même que la pollution. Au sein de la famille des industries agroalimentaires, les huileries se positionnent dans les premières loges de la consommation énergétique de même que la pollution de l'environnement (gaz d'échappement, effluents etc.) à cause de la complexité de leurs procédés de production. Conscient de ce dernier aspect et des problèmes énergétiques auxquels est confrontée la planète, les organisations sous-régionales ainsi que les acteurs consommateurs d'énergie s'activent autour de la question. Ces organisations sont déterminées sur l'intégration de la politique de l'efficacité énergétique pour une utilisation rationnelle de l'énergie. Cette intégration englobe l'utilisation de l'énergie sous toutes ses formes afin de respecter le rapport taille/consommation ainsi que le taux d'émission de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Au Togo, la production moyenne annuelle des oléagineux tourne autour de 33 675,46 tonnes ; une valeur qui devrait atteindre les 42 573 tonnes [2]. N'étant pas officiellement exportateur d'oléagineux, cette production à l'échelle nationale à laquelle s'ajoute l'import, est manufacturée sur place par des PME. Au cœur de ces acteurs, se retrouve la Nouvelle Industrie

des Oléagineux du Togo NIOTO. Étant reconnue comme une des entreprises énergivores du Togo par l'UEMOA en 2013, elle a été auditée sur l'aspect énergétique et depuis lors, les études et actions dans le sens de l'efficacité énergétique ne cessent d'être menées pour une adéquation entre la consommation de l'énergie, la taille des activités ainsi que les pollutions engendrées. Le principal but de ce travail sera de réaliser une étude à la fois technique et économique sur certains points afin de présenter des solutions pour la réalisation des économies d'énergie dans la chaîne de production de NIOTO. Ceci justifie donc le titre de notre document : « Optimisation énergétique en industrie : Cas des gisements d'économies potentielles de la Nouvelle Industrie des Oléagineux du Togo ». Le document s'articulera autour de quatre parties dont :

- Une première concernera la présentation de l'entreprise, le contexte et les objectifs de l'étude ainsi que l'état des lieux ;
- Une seconde sera consacrée à l'étude technique des composantes (généralités sur les équipements et leurs évaluations techniques) ;
- Une troisième sera dédiée à la révision du management de l'énergie de la structure d'accueil ;
- La quatrième abordera les solutions techniques et l'étude financière de notre sujet.

Nous bouclerons le travail avec une conclusion générale, ainsi que des annexes où plusieurs informations et résultats figureront.

I PRÉSENTATION DE L'ÉTABLISSEMENT ET OBJECTIFS

I.1 PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

I.1.1 Historique et statut

La Nouvelle Industrie des Oléagineux du Togo NIOTO est une usine de production d'huile agroalimentaire partant de matières premières oléagineuses (locales et importées). NIOTO vit le jour le 1^{er} mars 1987 et depuis 2008 fait partie de la holding française GEOCOTON qui est elle-même filiale du groupe ADVENS et détenteur de la majorité des actions à hauteur de 78%. La NIOTO est depuis sa création jusqu'à ce jour, une société anonyme à caractère commercial et industriel dotée d'une personnalité juridique. Financièrement autonome avec un capital social estimé à 2 977 650 000 (Deux milliard neuf cent soixante-dix-sept million six-cent cinquante milles) francs CFA. Elle est inscrite au registre du commerce sous le numéro R.C : Lomé 1693, Immatriculation fiscale : 950111 T.

I.1.2 Organisation

Placée sous tutelle du Ministère du Commerce et de l'Industrie, NIOTO compte près de 182 agents permanents et/ou sous contrat à durée déterminée. Dans l'exercice de certaines fonctions, elle fait recours à la sous-traitance qui met à sa disposition des temporaires.

Dans son organisation, NIOTO est dirigée par un Administrateur, Directeur Général, investi pour exercer comme mandataire des différentes parties prenantes. Cette Direction Générale travaille immédiatement avec des Directions rattachées et réparties comme suit :

- Une Direction Industrielle qui coiffe les services de Production, d'Energie, de Maintenance ainsi que le Bureau des Études et de la Sécurité Opérationnelle.
- Une Direction Commerciale, dirigée par un Directeur Commercial. Cette Direction est à la tête des services Logistique et Commercial.
- Une Direction Administrative et Financière, dirigée par un Directeur Administratif et Financier. Elle comprend deux services dont la Comptabilité et les Ressources Humaines. Équipée d'une infirmerie pour le personnel, NIOTO rattache cette section à la Direction Administrative.
- Une Direction Approvisionnements et Achats dans laquelle se retrouve le Service Achats.

Le Directeur Général se charge du pilotage non seulement de toutes les directions mais

OPTIMISATION ENERGETIQUE EN INDUSTRIE : CAS DES GISEMENTS D'ECONOMIES
POTENTIELLES DE LA NOUVELLE INDUSTRIE DES OLEAGINEUX DU TOGO (NIOTO)

également de toute la société. Il est appuyé par un Conseiller à l'exploitation qui coiffe lui le Service Qualité. NIOTO étant soucieuse de ses performances, a pris soin de disposer en son sein d'un Contrôleur de Gestion, Auditeur Interne qui veille à l'utilisation efficace et efficiente des ressources allouées aux différentes activités de l'entreprise.

OPTIMISATION ENERGETIQUE EN INDUSTRIE : CAS DES GISEMENTS D'ECONOMIES POTENTIELLES DE LA NOUVELLE INDUSTRIE DES OLEAGINEUX
DU TOGO (NIOTO)

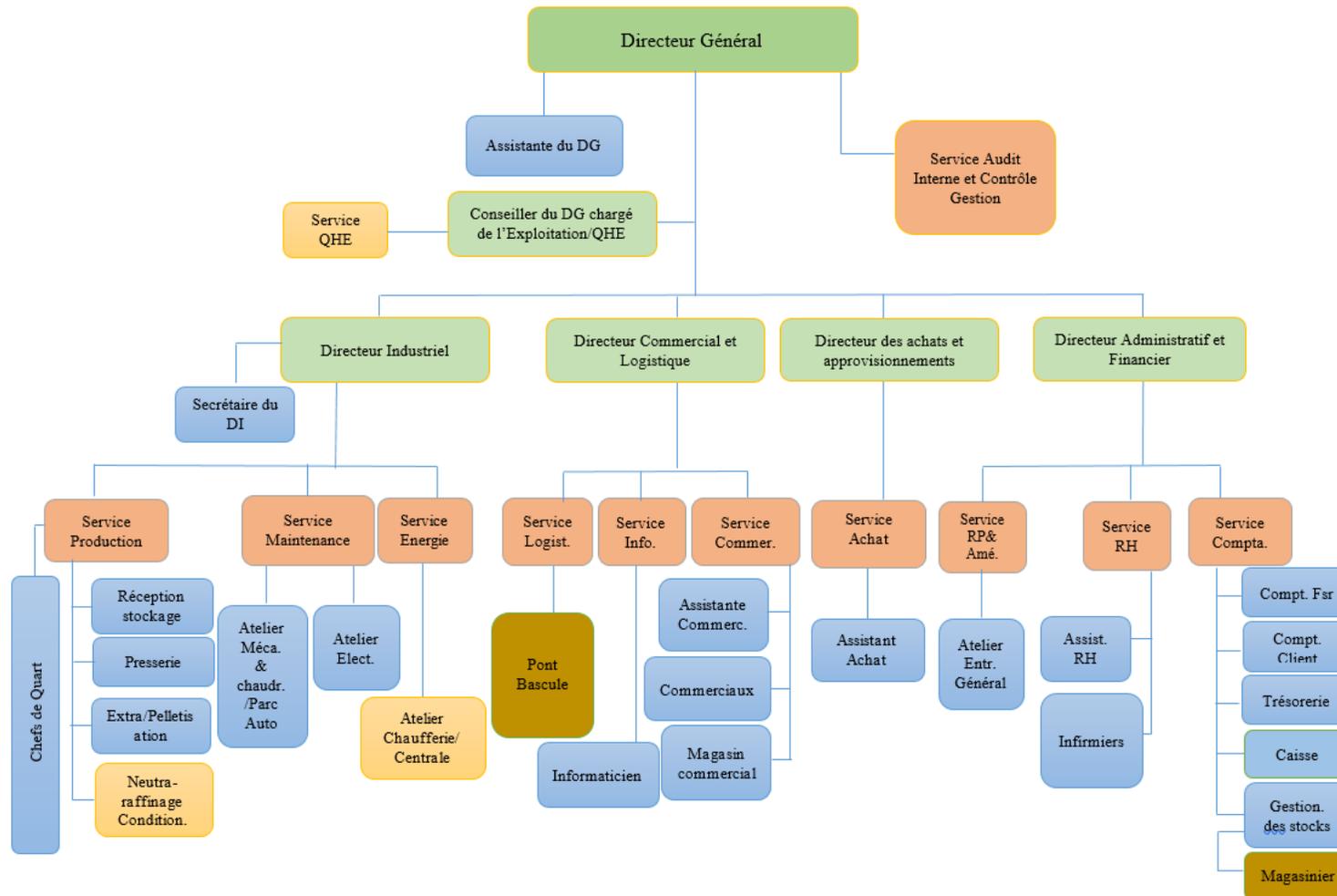


Figure 1 : Organigramme de la structure d'accueil

I.2 CONTEXTE DE L'ÉTUDE

L'utilisation responsable des ressources et les alternatives de réduction des émissions sont à l'ordre du jour de la politique mondiale. Les différents sommets concernant la protection de l'environnement en l'occurrence le protocole de Kyoto de 1997, ont engendré dans de nombreux pays et communautés sous-régionales des réglementations légales en matière de réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES).

Ayant été une des cibles de l'Initiative Régionale pour l'Energie Durable (IREDD) de la commission de l'UEMOA en 2012, NIOTO a été identifiée comme entreprise énergivore et a été auditée pour la cause. Depuis lors, l'entreprise a compris que les concepts d'économies d'énergie et de réduction des émissions de polluants dans l'environnement ne sont pas que judicieux et durables, mais aussi que par ces concepts d'optimisation, la société obtient des attraits économiques intéressants. Ces points ont conduit l'entreprise dans une grande phase d'efficacité énergétique.

I.3 LES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

I.3.1 Objectif général

Ce travail a pour principal objectif de déceler les moyens et techniques à mettre en place pour assurer une optimisation énergétique et mettre en valeur les gisements potentiels d'économie au sein de l'usine essentiellement constituée des équipements de production et de consommation d'énergie.

I.3.2 Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiquement visés par ce travail sont entre autres :

- La présentation des équipements/accessoires énergétiques de l'usine ;
- Une analyse approfondie de l'exploitation énergétique ;
- Une amélioration du système de management de l'énergie de l'usine.

I.4 PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

I.4.1 Localisation

Située dans la région maritime au sud du Togo dans une zone entièrement dédiée à l'industrie (zone industrielle du port), NIOTO se trouve sur le littoral de la côte togolaise à 6°09'03''N de latitude et 1°17'28''E de longitude.

D'une superficie de 8 hectares et située à 10km de la capitale Lomé, l'espace abritant l'entreprise est longée par la nationale N°2 et la route C4 ; bornée par la société pétrolière ERES-TOGO, l'usine agroalimentaire SOPAL et la cimenterie CIMTOGO. L'image ci-dessous nous donne un aperçu de la localisation de l'entreprise.

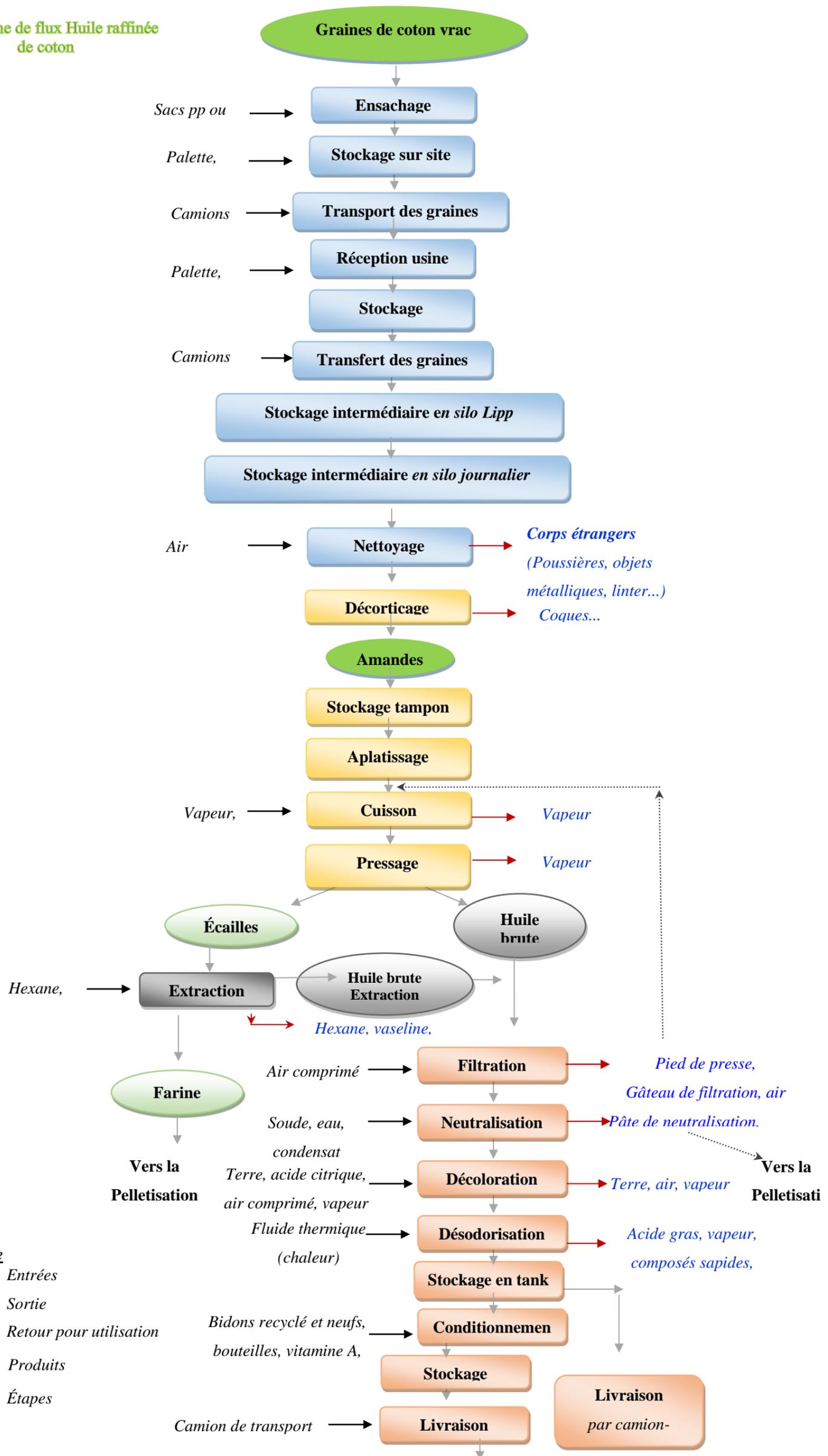


Figure 2 : Carte du site de l'entreprise

I.5 PROCÉDÉ DE PRODUCTION

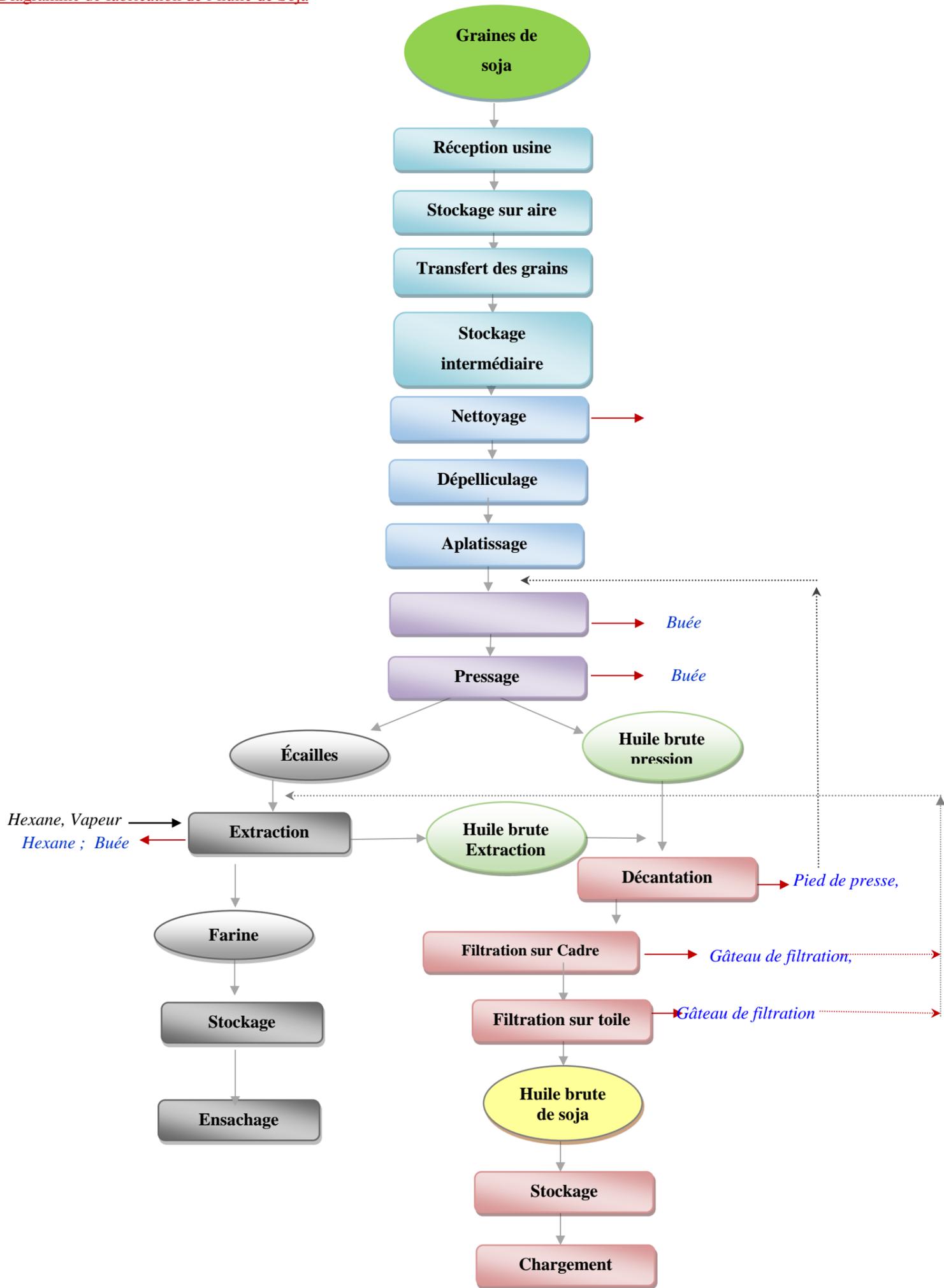
Dans son principe de fonctionnement, l'usine varie sa production en fonction de la demande et de la disponibilité des matières premières. Les différents procédés de l'entreprise sont présentés sur les diagrammes qui suivent :

Diagramme de flux Huile raffinée de coton



Légende
 → Entrées
 → Sortie
 Retour pour utilisation
 ○ Produits
 □ Étapes

Diagramme de fabrication de l'huile de Soja



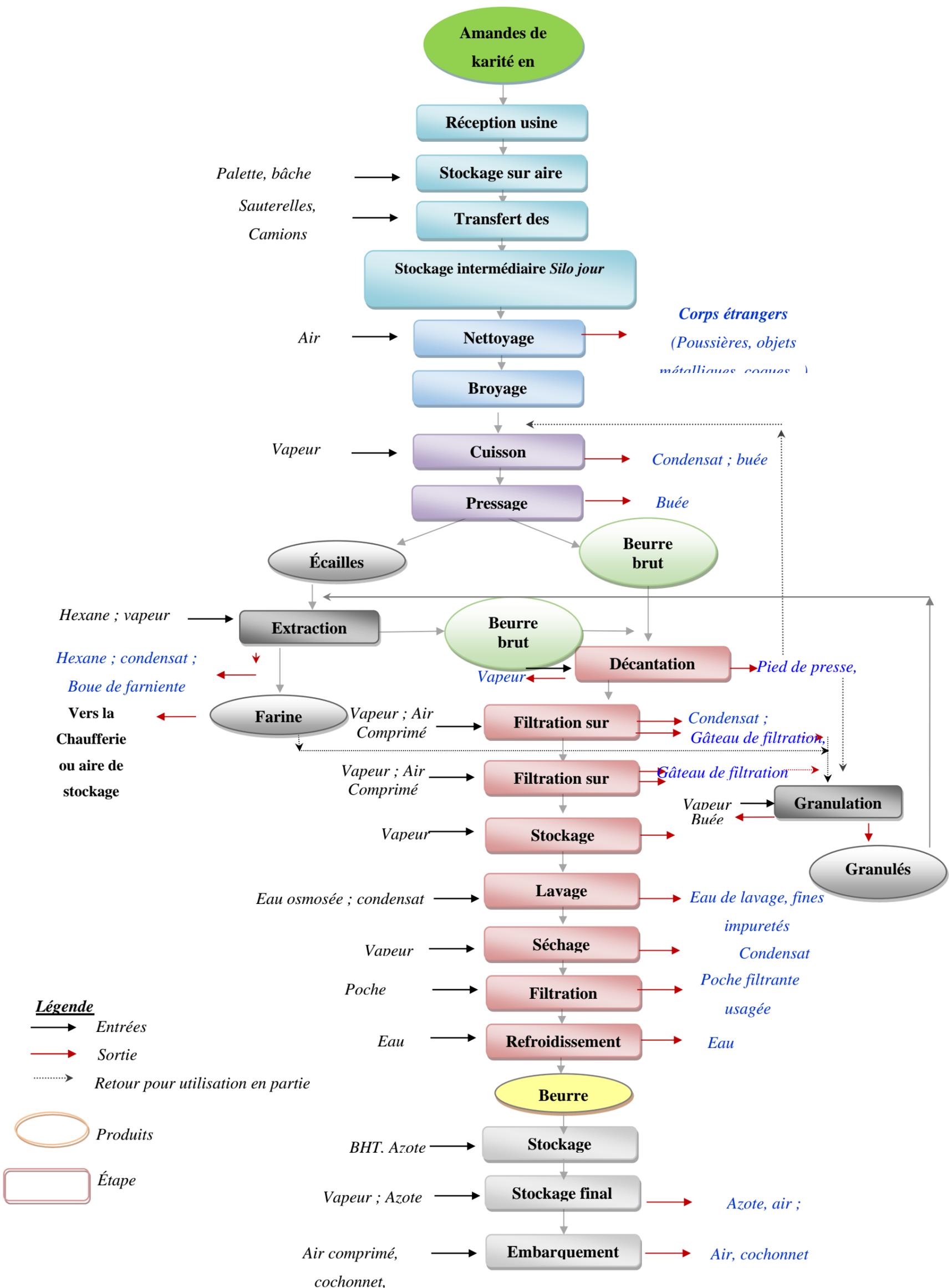
Légende

- Entrées
- Sortie
- Retour pour utilisation en partie

○ Produits

▭ Étape

Diagramme de flux Production du beurre de karité



II DESCRIPTION DE LA SITUATION EXISTANTE

Aux débuts de l'étude, les analyses ont commencé avec un diagnostic des différents équipements qui interviennent dans le process. A l'issue de ce diagnostic, les équipements tels que les chaudières, le réseau de distribution de vapeur, et les moteurs électriques ont été retenus pour l'étude suite à certains aspects de l'exploitation.

II.1 LES CHAUDIÈRES

II.1.1 Généralités et description

Une chaudière est dispositif thermodynamique ayant pour principal but de communiquer de l'énergie à l'eau liquide de sorte à lui faire changer d'état (gazeux). Dans un premier temps, l'eau contenue dans une bêche d'alimentation de la chaudière reçoit de l'énergie sous forme de chaleur sensible pour porter l'eau à ébullition tout en la maintenant liquide. En suite à cette eau portée à ébullition, les accessoires de surchauffe transmettent de l'énergie sous forme de chaleur latente pour lui faire passer de l'état liquide à gazeux (vapeur).



Figure 3 : Illustration d'une chaudière à combustion

Dans une chaudière à combustion, toute substance ayant la capacité de brûler peut être utilisée comme combustible. Dans la plupart des cas, l'air comburant nécessaire pour la combustion provient d'une ventilation forcée assurée par des ventilateurs industriels à haute pression. L'espace qui abrite la combustion est appelée foyer.

À NIOTO, le process dispose de deux chaudières à vapeur (la PAR et la MOCK) qui utilisent de l'eau osmosée. Elles fonctionnent avec de la farine de karité comme combustible pour un besoin en vapeur de l'usine pouvant aller jusqu'à 96 $t_{comb}/jour$ pour la PAR et 84 $t_{comb}/jour$ pour la MOCK.

Timbrée à une pression de 25 bars chacune, les chaudières ont une pression nominale de 23 bars (MOCK) et 21 bars (PAR). Les deux chaudières ont 21 bars comme pression de consigne dans la configuration actuelle de production. Les débits massiques nominaux en vapeur sont de 12 t/h pour 3,5 t/h de combustible (MOCK) et de 18 t/h pour 4,2 t/h de combustible (PAR). Il faut noter que la pression de vapeur recommandée pour desservir les différents points d'utilisation de l'installation est de 15 bars tout plus.

Ces différents chiffres (combustible et production de vapeur) diffèrent des indications des fabricants. En réalité les chaudières ont été conçues pour une utilisation de la coque de coton comme combustible. Compte tenu des raisons de production actuelle, l'entreprise expérimente d'autres combustibles dont la coque de palmiste et la farine de karité.

II.2 LE RÉSEAU DE DISTRIBUTION EAU-VAPEUR

II.2.1 Généralités et description

La vapeur depuis la naissance de l'industrie représente un des éléments primordiaux dans le cycle de transformation. Sa place justifie sa complexité et sa mauvaise maîtrise représente d'énorme gaspillage en matière d'énergie et de coût.

À travers son cycle de chauffage, une chaudière communique de la chaleur à l'eau ; celle-ci s'évapore et devient de la vapeur. Ayant connaissance de la pression de vapeur souhaitée, un système de régulation alimente le foyer en combustible et en comburant de sorte à se rapprocher le plus de cette pression ; et cette valeur représentera la consigne de la pression à la sortie de la chaudière. Le réseau de distribution contient des vannes qui servent de séparateurs entre les parties haute pression et basse pression du réseau [4].

Les réseaux de vapeur rencontrés le plus souvent sont des réseaux à recirculation des condensats. Dans ces derniers, une fois que la vapeur s'est condensée, un dispositif (gravitaire ou pompée) se charge de la réacheminer jusqu'à la chaudière. Cela permet de conserver la chaleur sensible et la pression de cette vapeur condensée. Ce système de récupération de condensat n'est réalisable que quand ce dernier n'est pas contaminé. Si le condensat est contaminé ou ne peut plus être réacheminé jusqu'à la chaudière, le système reçoit le nom de système de distribution. Les condensats sont le plus souvent récupérés par des purgeurs qui laissent passer l'eau liquide mais pas la vapeur.

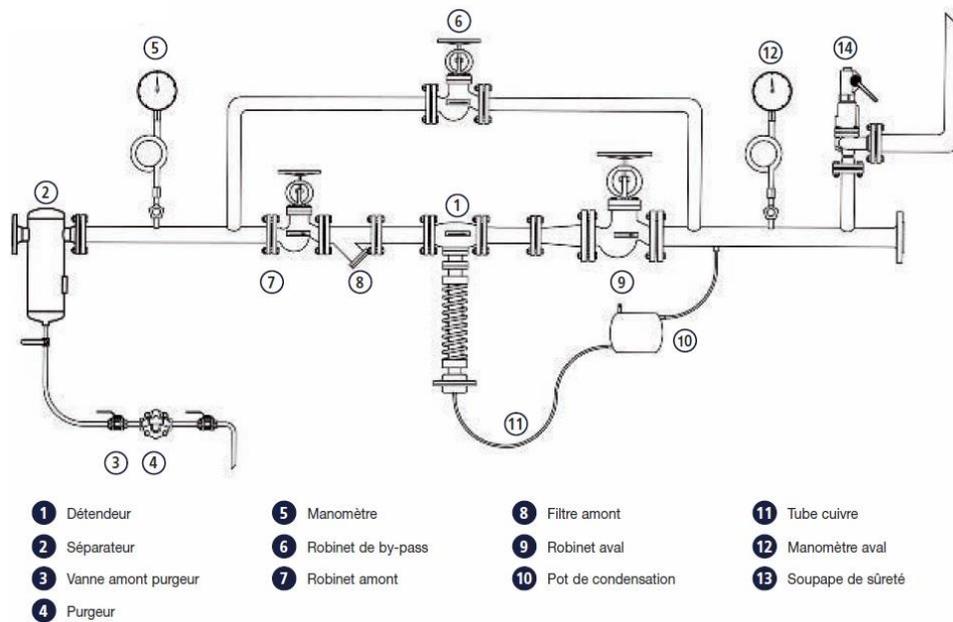


Figure 4 : Constituants d'un circuit vapeur [5]

Principal cheminement du fluide caloporteur, le circuit de NIOTO dérive d'un barillet d'une pression qui est généralement de 16 bars (le plus souvent) où on pourrait voir les différents départs suivants dont les métrés sont fournis en annexe de ce document :

- Dégazeur ;
- Décoloration ;
- Extraction ;
- Pelletisation ;
- Presserie ;
- Conditionnement.



Figure 5 : Barillet de dérivation du circuit vapeur

Avec une pression à la sortie des chaudières de 21 bars, cette valeur devient 16 bars au niveau du barillet de dérivation et chute parfois en deçà de 13 bars en bout de ligne. Cette situation étaye l'existence d'énormes pertes en ligne dues aux dysfonctionnements des composants du réseau (la tuyauterie non calorifugée par endroit, des purgeurs bloqués, des vannes non étanches etc.).



Image 2 : Purgeur défaillant (Presserie)



Image 1 : Fuite sur accessoire (toiture Neutralisation)

II.3 LES MOTEURS ÉLECTRIQUES

II.3.1 Généralités et description

Un moteur électrique a pour fonction de convertir l'énergie électrique reçue aux bornes de ses enroulements en énergie mécanique en faisant tourner son arbre grâce à la loi dite de Laplace [8].

En effet, la loi stipule que : « Lorsqu'un conducteur est parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique, il est soumis à la force de Laplace. »

Tous les moteurs électriques actuellement en service dans la chaîne de production sont des moteurs asynchrones (406 au total) avec des puissances allant de 0.18 kW pour les plus petits jusqu'à 250 kW pour le plus grand. Les systèmes de démarrage de ces moteurs sont : le démarrage en couplage Y- Δ des enroulements, le démarrage par élimination de résistances et le démarrage statorique.

Principaux consommateurs de l'énergie électrique dans le process, les moteurs électriques représentent un point à prendre avec le plus de sérieux dans une démarche d'efficacité énergétique. Le tableau suivant illustre la puissance installée de l'ensemble des moteurs électriques par section :

Tableau 1 : Puissance installée des moteurs par section

Section	Puissance installée (kW)
Centrale (Chaufferie)	383,55
Centrale d'Air	93,26
Chaudière Mock	128,5
Chaudière PAR	276,5
Conditionnement	46,81
Décorticage	424,44
Extraction	255,83
Filtration 1&2	98,9
Manutention coque	108,3
Neutralisation	113,32
Pelletisation	276,40
Pompage	255

Section	Puissance installée (kW)
Presserie	811,15
Raffinage	131,01
Réception Stockage	94,3
Total	3497,27

Mis à part les moteurs de la section « chaudière PAR », qui sont quinze (15) au total, la majorité des moteurs ont plus de 10ans d'âge et ont été n fois rebobinés, ce qui réduit considérablement le rendement énergétique des moteurs. Le graphe suivant illustre la répartition des puissances entre moteurs neufs et moteurs anciens.

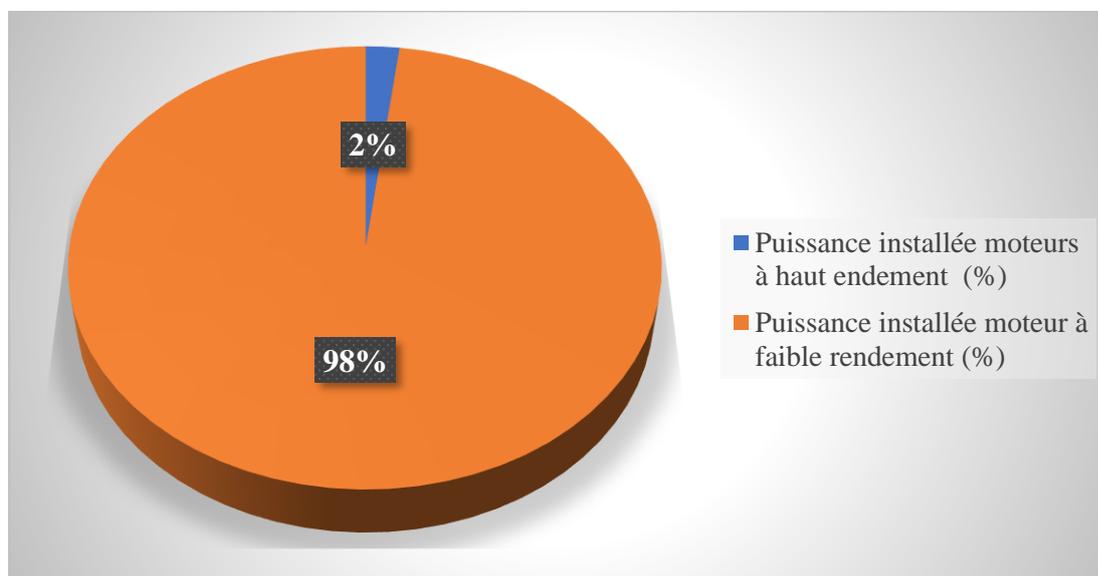


Figure 6 : Illustration comparative entre puissances installées

II.4 FACTURATION ÉLECTRIQUE

II.4.1 Caractéristiques de l'installation

- **Installation**
 - Puissance installée : 2 000 kVA
 - Puissance souscrite : 1 250 kVA
- **Système de facturation**

La facturation est faite suivant un système de comptage à triple tarif. Ce système suit des périodes de la journée et regroupe :

- Les heures pleines ;
- Les heures de pointe ;
- Les heures creuses.

III CAMPAGNE DE COLLECTE DE DONNÉES

III.1 PRODUCTION / CONSOMMATION DES CINQ DERNIÈRES ANNÉES

En effet, pour sa production (produits finis), le process de NIOTO consomme de l'énergie (électricité, combustible). Le tableau qui suit présente les chiffres clés de ces variantes durant les cinq dernières années.

Tableau 2 : Consommation/Production des cinq dernières années (source : Services Production et Energie)

	2015	2016	2017	2018	2019	Moyenne
Amandes triturées (t)	31 614 720	33 408 935	31 201 328	38 022 391	32 362 613	33 321 997,4
Beurre lavé (t)	15 489 973	16 784 574	15 103 228	18 467 507	16 096 427	16 388 341,8
Électricité (MWh)	3 459,214	3 618,412	3 382,854	3 791,055	3 574,612	3 565,2294
Combustible (t)	24 879	27 312	23 804	32 457	25 166	26 723,6

D'après ce tableau, pour les cinq dernières années, les chiffres moyens production/consommation sont donc de 4,6 t/kWh (beurre lavé/électricité), 613,25 t_{beurre}/t_{comb} (beurre lavé/combustible). L'année 2018 ayant été celle qui a comptabilisé le plus de volume d'activité et de production, sera prise comme année de référence.

III.2 MÉTRÉ DE LA TUYAUTERIE ET DES ACCESSOIRES NON ISOLÉS

Au niveau du réseau de distribution de vapeur, un des principaux constats et la non isolation d'une importante partie du circuit. Un métré de la tuyauterie non isolée du réseau de distribution de vapeur est présenté à l'Annexe 1 de ce document.

III.3 ÉCHANTILLON DE MOTEURS

Vu le nombre des moteurs et dans le but de faire une étude explicite et simplifiée, l'étude se portera sur un échantillon de moteur choisi dans les ateliers Presserie, Chaufferie, Extraction et

OPTIMISATION ENERGETIQUE EN INDUSTRIE : CAS DES GISEMENTS D'ECONOMIES
POTENTIELLES DE LA NOUVELLE INDUSTRIE DES OLEAGINEUX DU TOGO (NIOTO)

la Neutralisation (Décoloration). L'échantillonnage a été réalisé de manière à être représentatif en englobant presque tous les ateliers où les moteurs choisis par ateliers présentent les mêmes caractères que les autres du même atelier. Les moteurs, leurs paramètres ainsi que leurs ateliers sont disposés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Composition de l'échantillon de moteur

Atelier					
Presserie					
Moteur	Marque	Poste	Puissance	Vitesse (tr/min)	Date de mise en service
M70	Leroy Somer	Cuiseur N°1	55 kW	1476 tr/min	30/01/2009
Sans plaque		Cuiseur N°2	55 kW	1500 tr/min	01/09/2004
MB 530	ABB	P5	250 kW	1466 tr/min	01/09/2004
MB 430	Leroy Somer	P4	185 kW	1480 tr/min	30/01/2009
M 66 I	UNELEC	Cylindre broyeur N°1	22 kW	1730 tr/min	20/05/2004
M 66 II	CEM	Cylindre broyeur N°2	22 kW	970 tr/min	12/08/2007
Atelier					
Chaufferie					
Réfrigérant I	Leroy Somer	Pompe Réfrigérant I	75 kW	2700 tr/min	14/04/2004
Surpresseur	SIEMENS	Pompe Surpresseur Usine N°2	11 kW	1500 tr/min	15/01/2010
Eaux usées	KSB	Eaux usées N°1	11 kW	2460 tr/min	14/06/2007
Osmoseur	SIEMENS	Pompe Osmoseur I	18,5 kW	980 tr/min	20/05/2004
Ventilateur	BBC	Ventilateur Refroidisseur	15 kW	1750tr/min	10/07/2009
Atelier					
Extraction					
P 5613A	Leroy Somer	Réfrigérant 1	30 kW	2960 tr/min	15/05/2005
P 5613B	Leroy Somer	Réfrigérant 2	30 kW	2960 tr/min	04/05/2005
P 122	Leroy Somer		2,2 kW	2840 tr/min	10/08/2007
P 8	Leroy Somer		7,5 kW	2920 tr/min	05/10/2009
DT 70	Invensys		75 kW	1475 tr/min	12/09/2004
Atelier					
Neutralisation/Décoloration					
P 5512	Westfalia		8 kW	950 tr/min	20/09/2008
P 5540	SEW-EURODRIVE	Pompe alimentaire	5,5 kW	2890 tr/min	19/09/2014
	Leroy Somer	Pompe cuves carrées II	11 kW	2950 tr/min	12/07/2000
P 5813A	SIEMENS	Pompe Aéro Eaux Grasses	8,2 kW	1445 tr/min	14/02/2002
P 5813A Bis	SIEMENS	Ventilateur	18,5 kW	2940 tr/min	10/09/2004
P 5822	Leroy Somer	Pompe reprise	4 kW	2840 tr/min	12/10/1993
P 5841	Leroy Somer	Pompe à vide	5 kW	2930 tr/min	14/11/2005
P 5863	Leroy Somer	Pompe Fluide thermique	11 kW	2925 tr/min	20/10/2005
Atelier					
Pelletisation					
P 5240B	ASEA	Mélangeur	7,5 kW	1500 tr/min	12/04/2007
P 5241A	Leroy Somer	Presse	90 kW	1482 tr/min	05/05/2010
P 5240E	Leroy Somer	Pompe à graisse	0,18 kW	1500 tr/min	12/12/2008
Atelier					
Pompage					
	SIEMENS	Pompe des Bacs	37 kW	2950 tr/min	16/07/2003

III.4 CHIFFRES DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

Grâce aux factures d'électricité mise à notre disposition par le service énergie, le tableau 18 situé à l'Annexe 6 : Détails sur le profil de consommation, donne des informations se rapportant à la période de facturation sur laquelle a porté cette étude.

IV ANALYSE ÉNERGÉTIQUE DES POINTS DE CONSOMMATION

IV.1 PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES CHAUDIÈRES

Une macro-vérification a permis d'établir le pointage suivant qui sert d'aide à la prise de décision pour ce qui est de l'étude des chaudières.

Tableau 4 : Fiche de notation pour les chaudières [3]

<u>Date</u> : 12 / 05 / 2020																	
<u>Vérificateur</u> : Mr MADJANTA / DJANKALE																	
<u>Commentaires</u> :																	
		Bonne isolation	Isolation moyenne	Piètre isolation	Brides isolées	Aucune fuite	Quelques fuites	Beaucoup de fuites	Commandes automatiques	Procédures opérationnelles	Compteur de vapeur	Compteur de combustible	Compteur d'eau d'appoint	Entretien préventif	Récupération d'énergie	Commande de l'économiseur	Total des points
N°	Endroit/pointage maximal	3	2	0	2	2	1	0	1	1	1	1	1	1	3	2	19
1	Salle de la chaudière	0	2		0	0	1		0	0	0	0	1	1	1		6
Total des points pour la section																	7
$Cote\ pour\ la\ chaudière = \frac{(100 \times total\ des\ points)}{Nombre\ d'éléments \times pointage\ maximal} = \frac{(100 \times 6)}{(1 \times 19)}$																	32%

Ce tableau présente les aspects primordiaux à revoir pour une étude d'optimisation sur une chaudière qui sont : l'isolation, les fuites, l'automatisme dans la régulation, les compteurs d'énergie et la fréquence des entretiens. Les différentes rubriques au niveau de ces aspects permettent d'apprécier au mieux et de spécifier avec exactitude l'aspect en question. Le principe consiste à fixer dans un premier temps une valeur entière de pointage maximal compris entre 0

et 3 pour chaque aspect en fonction de leur impact sur l'efficacité de la chaudière. Dans il faudra attribuer des notes inférieures ou égales à la valeur maximale en fonction de l'observation faite sur chaque aspect et en faire la somme algébrique. Pour finir, la formule « cote pour la chaudière » permet d'obtenir un pourcentage. Le tableau suivant permettra d'interpréter le précédent pourcentage et de juger de la mesure corrective s'il y en a.

Tableau 5 : Tableau Échelle-mesure [3]

Échelle des points (%)	Mesures requises
0-20	Mesure corrective immédiate requise
20-40	Mesure corrective urgente requise
40-60	Mesure corrective
60-80	Évaluation pour des améliorations potentielles requises
80-100	Aucune mesure corrective requise

D'après les résultats de cette macro-vérification, on se retrouve dans la marge [20%-40%], ce qui voudra dire, à en croire le tableau qu'une mesure corrective urgente est requise. Ceci nous oblige à revoir les aspects notés dans le tableau 3 et même voire plus pour juger des mesures correctives adéquates. Ainsi, l'étude passera par la combustion et des paramètres qui s'y rapportent pour déboucher sur le rendement de combustion jusque-là théorique des chaudières.

Présentation du combustible

Comme annoncé précédemment, le combustible est la farine de karité. Elle alimente les chaudières au travers des vis d'alimentation. La consommation de combustible en 2018 a été de 32 457 tonnes d'après le rapport annuel de l'exercice 2018 du Service Production (Direction Industrielle). Une analyse effectuée par le laboratoire Eurofins à la demande de GEOCOTON en 2011 donne la composition centésimale de la farine renseignée dans le tableau qui suit :

Tableau 6 : Composition centésimale de la farine de karité

Farine de karité			
COMPOSANTE	METHODE	RESULTAT	UNITE
Azote sur sec	NF EN 15104	2,6	<i>en % sur sec</i>
Carbone sur sec	NF EN 15104	46,0	%
Chlore mesuré	NF EN 15289	0,056	%

Farine de karité			
Chlore sur sec	NF EN 15289	0,059	<i>en % sur sec</i>
Hydrogène sur sec	NF EN 15104	5,1	<i>en % sur sec</i>
Oxygène sur sec	NF EN 15296	32	<i>en % sur sec</i>
Soufre sur sec	NF EN 15289	0,5	<i>en % sur sec</i>
Taux de cendres			
Teneur en cendres à 550 °C	NF EN 14775	13,5	<i>en % sur sec</i>
Fusibilité des cendres			
Fusibilité en atm oxydante	NF M 03-048	842	<i>en °C</i>
Température d'hémisphère	NF M 03-048	845	<i>en °C</i>
Température de fluidité	NF M 03-048	845	<i>en °C</i>
Température d'écoulement	NF M 03-048	849	<i>en °C</i>
Humidité			
Humidité de l'échantillon	NF EN 14774-3	5,5	<i>%</i>
Humidité totale du biocombustible	NF EN 14774-1	12,3	<i>%</i>
Pouvoir calorifique			
Pouvoir calorifique inférieur sur sec	NF EN 14918	18042	<i>kJ/kg</i>
Pouvoir calorifique supérieur sur sec	NF EN 14918	19093	<i>kJ/kg</i>

Les valeurs présentées dans ce tableau donnent l'ouverture sur les calculs d'autres paramètres :

IV.1.1 Calcul du pouvoir comburivore, de l'énergie libérée et du rendement de combustion

Les calculs qui suivent ont été réalisés uniquement sur la chaudière PAR en raison de la disponibilité des données de calcul. Le pouvoir comburivore indique la quantité réelle d'air comburant nécessaire pour la combustion afin de juger la valeur actuelle de l'excès d'air.

Dans les calculs, les masses molaires des composées suivantes seront utilisées en fonction de leurs valeurs dans le tableau de Mendeleiev :

$M(C) : 12,0110 \text{ g/mol}$

$M(O) : 15,9990 \text{ g/mol}$

$M(S) : 32,0600 \text{ g/mol}$

M (N) : 14,0070 g/mol

M (H) : 1,0080 g/mol

a) Le pouvoir comburivore

L'ensemble des formules exposées dans le tableau suivant, représente un modèle simplifié de calcul du pouvoir comburivore donc de la quantité d'oxygène nécessaire à la combustion stœchiométrique d'un kilogramme de ce combustible.

Tableau 7 : Model simplifié de calcul du pouvoir comburivore

Composition massique	Combustible						COMBURANT	
	C	H(H ₂)	S	E	N(N ₂)	O(O ₂)	O(O ₂)	N(N ₂)
Masse molaire (kg/mol)	MC	MH	MS	****	MN	MO	MO	MN
Composition massique	C%	H%	S%	E%	N%	O%	O%	N%
Nombre de mole	C%/MC	H%/MH	S%/MS	****	N%/MN	O%/MO	X	Y
Combustion stœchiométrique (complète dite théorique)								
Masse d'O ₂ stoech (X)	$\{C\% \times (MO/MC) + H\% \times (MO/2MH) + S\% \times (MO/MS) - O\%\}$ en <i>kgO₂/kgcomb</i>						Pouvoir comburivore (Va théoriques)	
Masse de N ₂ stoech(Y)	3,31 × masse de O ₂ stoech						Masse d'O ₂ stoech/0,23	
Combustion réelle (avec excès d'air)								
Masse d'O ₂ réelle	Pouvoir comburivore (Va réelle) × 0,23						Pouvoir comburivore (Varéelle)	
Masse de N ₂ réelle	Pouvoir comburivore (Va réelle) × 0,77						Va théorique × excès d'air	

La quantité nette d'oxygène requise pour la combustion est donnée par :

Équation 1 : Équation de la quantité nette d'oxygène

$$Q_{nette\ O_2} = M_O \times \left(\frac{C\%}{M_C} + \frac{H\%}{2M_H} + \frac{S\%}{M_S} \right) - O\% \quad (1)$$

AN :

$$Q_{nette\ O_2} = 15,9990 \times \left(\frac{0,46}{12,0110} + \frac{0,051}{2 \times 1,0080} + \frac{0,005}{32,0600} \right) - 0,32$$

$$Q_{netteO_2} = 0,7 \text{ kgO}_2/\text{kg}_{comb}$$

De ce résultat, on peut avoir la quantité théorique d'air utilisée (pouvoir comburivore du combustible)

Les équations de la composition de l'air en masse et en volume sont données par :

Équation 2 : Équation de la composition de l'air en masse

$$1\text{kg}_{O_2} + 3,31\text{kg}_{N_2} \rightarrow 4,31 \text{ kg}_{air} \quad (2)$$

Équation 3 : Équation de la composition de l'air en volume

$$1\text{mole}_{O_2} + 3,76 \text{ moles}_{N_2} \rightarrow 4,76 \text{ mole}_{air} \quad (3)$$

De l'équation 2, on tire la quantité de O₂ renfermée dans 1 kg d'air atmosphérique :

$$Q_{O_2air} = \frac{1}{4,31}$$

AN :

$$Q_{O_2air} = 0,23 \text{ kgO}_2/\text{kg}_{air}$$

On peut donc calculer le pouvoir comburivore théorique : $AC_{théorique}$

Équation 4 : Formule du pouvoir comburivore théorique

$$AC_{théorique} = \frac{Q_{netteO_2}}{Q_{O_2air}} \quad (4)$$

Ainsi on a :

$$AC_{théorique} = \frac{0,7}{0,23}$$

$$AC_{théorique} = 3,017 \text{ kg}_{air}/\text{kg}_{comb}$$

Quantité d'air réel nécessaire à la combustion (pouvoir comburivore réel)

Les calculs effectués ne sont valables que lorsque le comburant est utilisé en proportion exacte. Cependant, dans la pratique comme le cas de notre étude, ce type de réaction n'est jamais réalisé. La combustion s'effectue toujours avec un excès d'air qui est de 30% dans notre cas (lu sur le SCADA de la chaudière PAR). Dans ces conditions, le pouvoir comburivore réel est donné par :

Équation 5 : Formule du pouvoir comburivore réel

$$AC_{réel} = AC_{théorique} \times (1 + \%d'excèsd'air) \quad (5)$$

AN :

$$AC_{réel} = 3,017 \times (1 + 0,30)$$

$$AC_{réel} = 3,92 \text{ kg}_{air}/\text{kg}_{comb}$$

➤ **Energie libérée (E_L)**

L'énergie libérée permet de quantifier la valeur énergétique cédée par une unité de combustible dans le contexte de l'exploitation. Elle permet de quantifier la valeur réelle de combustible à perdre/gagner lorsqu'on connaît l'énergie totale engagée. Les données suivantes recueillies pour ce calcul ont été conjointement fournies par les statistiques du **Service Energie** de NIOTO et des résultats du **Testo 310** (analyseur de fumées) :

- Débit de vapeur : 18 000 kg/h (20 bars/250°C)
- PCS du combustible : 19 093 kJ/kg
- Pertes radiatives sur le PCS (f) = 2%
- Débit massique du combustible : 4 200 kg/h
- Température de l'air préchauffé (T) : 75°C
- Température de l'air ambiant (T_a) : 35°C
- Température des gaz d'échappement : 297°C
- Excès d'air : 30%
- Capacité thermique massique de l'air (C_p) : 1,023 J/kg·K

Équation 6 : Formule de l'énergie libérée

$$E_L = PCI - (f \times PCS) + AC_{réel} \times C_p \times (T - T_a) \quad (6)$$

En rappel :

f = Pertes radiatives sur le PCS

C_p = Capacité thermique massique de l'air

AN :

$$E_L = 18042 - (0,02 \times 19093) + 3,92 \times 1,023 \times (75 - 27)$$

$$E_L = 17\,852,73 \text{ kJ/kg}_{comb}$$

b) Composition des émissions

Le diazote et le dioxyde de carbone étant des paramètres clés de la pollution industrielle, la détermination de leur quantité en rapport avec le combustible s'avère importante.

Quantité de N₂ dans les fumées

En se référant à l'équation 2, on a :

$$(m_{N_2})_{air} = AC_{réel} \times \frac{3,31}{4,31}$$

AN :

$$(m_{N_2})_{air} = 3,92 \times \frac{3,31}{4,31}$$

La masse de N₂ qui se dégage lors de la combustion est donc de **3,01 kgN₂/kg_{comb}**

Quantité de CO₂ dans les fumées :

Ayant la proportion massique de carbone dans le combustible, on peut calculer la masse de CO₂ dans les fumées :

Équation 7 : Formule de la masse de CO₂ dans les fumées

$$m_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{M_C} \times m_c \quad (7)$$

AN :

$$m_{CO_2} = \frac{44,009}{12,011} \times 0,46$$

On obtient donc :

$$m_{CO_2} = 1,685 \text{ kgCO}_2/\text{kg}_{comb}$$

c) Rendement de combustion

La formule de Sievert à servi au calcul du rendement de combustion de la chaudière :

Équation 8 : Formule du rendement théorique de combustion d'une chaudière

$$\eta_{comb} = 100 - f \times \frac{(T_{fumées} - T_{amb})}{\%CO_2} \quad (8)$$

Où :

$T_{fumées}$ = Température des gaz d'échappement (297°C)

T_{amb} = Température ambiante de la chaufferie (35°C)

$\%CO_2$ = Teneur en CO_2 des fumées (5%)

f = facteur dépendant principalement du type de combustible (0,74). Les détails sur le choix de cette valeur sont à l'Annexe 2 : Détails sur le rendement des chaudières.

AN :

$$\eta_{comb} = 100 - 074 \times \frac{(297 - 35)}{5}$$

$$\eta_{comb} = \mathbf{61,2\%}$$

En se référant aux données dont nous disposons et ayant mené au calcul du rendement de combustion, nous remarquons déjà que ces dernières ne sont pas favorables à un fonctionnement énergétique efficace de la chaudière. Entre autres, nous pouvons citer :

- La température des gaz d'échappement qui avoisine les 300°C est un mauvais indicateur de performance et montre clairement qu'une importante partie de l'énergie issue de la combustion est évacuée dans l'atmosphère ;
- Le pourcentage de l'excès d'air étant de 30% ne favorise pas une la réalisation d'une combustion presque complète pour en tirer le plus d'énergie possible ;
- Le rendement théorique de la combustion est de 61,2%, une valeur qui devrait aller au-delà de 90% pour une exploitation énergétiquement optimale.

IV.1.2 Conclusion partielle

Cette étude montre enfin qu'une amélioration systématique du rendement de la chaudière doit être effectuée. Les solutions ou attitudes à adopter pour une optimisation de l'efficacité des chaudières sont énumérées à l'Annexe 4 : Solutions et attitudes pour l'optimisation de l'efficacité des chaudières

IV.2 SITUATION ÉNERGÉTIQUE DU RÉSEAU DE DISTRIBUTION DE VAPEUR

Une macro-vérification du réseau a permis d'établir la fiche de pointage suivant suivi de

l'ampleur des mesures correctives à prendre :

Tableau 8 : Tableau de notation du réseau eau-vapeur [3]

Date : 12 / 05 / 2020		Bonne isolation	Isolation moyenne	Piètre isolation	Brides isolées	Aucune fuite	Quelques fuites	Beaucoup de fuites	Commandes automatiques	Procédures opérationnelles	Compteur de vapeur	État des accessoires	Entretien préventif	Total des points
Vérificateur : Mr MADJANTA / DJANKALE														
Commentaires :														
N°	Endroit/pointage maximal	3	2	0	2	2	1	2	1	1	1	3	2	20
1	Circuit vapeur	0	2		0	0		2	0	0	0	1	1	6
Total des points de la section														6
$Cote\ pour\ le\ circuit = \frac{(100 \times total\ des\ points)}{Nombre\ d'éléments \times\ pointage\ maximal} = \frac{(100 \times 6)}{(1 \times 20)}$														30%

Ce tableau a été réalisé suivant les mêmes principes que le tableau 3. Et comme dans le cas de figure des chaudières, le tableau suivant nous situe au mieux sur l'appréciation du résultat obtenu au précédent.

Tableau 9 : Tableau Échelle-mesure (réseau de vapeur) [3]

Échelle des points (%)	Mesures requises
0-20	Mesure corrective immédiate requise
20-40	Mesure corrective urgente requise
40-60	Mesure corrective
60-80	Évaluation pour des améliorations potentielles requises
80-100	Aucune mesure corrective requise

La marge dans laquelle se retrouve la cote du réseau de vapeur montre également qu'une mesure corrective urgente est requise. Ceci nous oblige donc à étudier le réseau et d'en dégager les mesures correctives adéquates.

IV.2.2 Évaluation des pertes du réseau

Méthode d'évaluation des pertes dues à la tuyauterie et aux accessoires non isolés :

Bien que les autres formes de pertes ne soient pas à négliger, les pertes dues à la tuyauterie et

aux accessoires non isolés sont de loin les plus importantes. Diverses méthodes permettent de les calculer ou les estimer, allant des abaques aux calculs des pertes par surface latérale d'échange. La méthode de calcul des pertes par surface latérale d'échange a été retenue pour cette étude. Cette méthode consiste à calculer la surface de contact de la tuyauterie grâce à ses caractéristiques géométriques et la rapporter à une perte d'énergie suivant l'état de la vapeur (température) et de l'air ambiant.

Pour simplifier cette méthode, il existe des tables empiriques pour une lecture des pertes d'énergie en fonction des diamètres nominaux de la tuyauterie et de la différence de température entre la vapeur et l'air ambiant. Le tableau suivant (pris d'une source et adapté par nos soins) récapitule la méthode et va permettre d'évaluer les pertes en W/m et sur une heure.

Tableau 10 : Tableau des pertes d'énergie en fonction des DN [7]

Diff. Temp. Vapeur- air °C	Dimension tube : DN (mm)									
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	150
	Pertes (W/m)									
56	54	65	79	103	108	132	155	188	233	324
67	68	82	100	122	136	168	198	236	296	410
78	83	100	122	149	166	203	241	298	360	500
89	99	120	146	179	205	246	289	346	434	601
100	116	140	169	208	234	285	337	400	501	696
111	134	164	198	241	271	334	392	469	598	816
125	159	191	233	285	321	394	464	555	698	969
139	184	224	272	333	373	458	540	622	815	1133
153	210	255	312	382	429	528	623	747	939	1305
167	241	292	357	437	489	602	713	838	1093	1492

Diff. Temp. Vapeur- air	Dimension tube : DN (mm)									
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	150
180	274	329	408	494	556	676	808	959	1190	1660
194	309	372	461	566	634	758	909	1080	1303	1852

Les accessoires non isolés étant aussi sources de pertes, il existe une équivalence entre un accessoire d'un certain diamètre avec une tuyauterie ayant le même diamètre. Le tableau suivant donne l'équivalent en longueur de tuyauterie de même diamètre des différents accessoires du circuit et vient en complément au tableau précédent pour l'estimation des pertes :

Tableau 11 : Équivalence en mètre des accessoires

Accessoire	Longueur équivalente de tuyauterie
Vanne non isolée	1,7 m
Vanne isolée (6 cm de laine)	0,17 m
Paire de brides non isolée	0,9 m
Paire de brides isolée (6 cm de laine)	0,06 m

Après avoir fait le métré des portions non isolée du réseau vapeur (voir annexe) et en appliquant la méthode de détermination des pertes retenue pour cette évaluation, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant avec le détail des calculs en annexe. La température à l'intérieur de la tuyauterie étant égale à 170 °C.

Tableau 12 : Tableau résumant les pertes du circuit vapeur

	Longueur tuyau (m)	Singularités	Équivalent longueur singularités (m)	Brides	Équivalent longueur brides (m)	Longueur totale (m)	Pertes (W)
DN 15	119,15	76	129,2	15	13,5	261,85	69751,603
DN 20	17,98			4	3,6	21,58	6915,5268
DN 32	94,76	48	81,6	10	9	185,36	73445,1928
DN 40	64,38	7	11,9	4	3,6	79,88	43178,3352
DN 50	40,52	7	11,9	7	6,3	58,72	38691,7824
DN 60	63,75	13	22,1	8	7,2	93,05	69200,3545
DN 65		2	3,4			3,4	2672,672
DN 70	45,82	5	8,5	5	4,5	58,82	49079,9962
DN 80	121,26	3	5,1	2	1,8	128,16	119327,213
DN 90	11,79	2	3,4			15,19	15939,6265
DN 100	3,06	4	6,8	1	0,9	10,76	12563,4836
TOTAL							500765,786

D'après les résultats du tableau 10, les pertes valent environ 500,77 kW. Ainsi pour un fonctionnement annuel de 270 jours en 2018 (année de référence), les pertes seront égales à :

Équation 9 : Formule des pertes annuelles

$$P_{an} = Pertes \times H_{an} \quad (9)$$

Où :

P_{an} = Pertes annuelles en kWh

Pertes = Pertes instantanées en kW

H_{an} = Nombre d'heure de fonctionnement annuel en 2018

AN :

$$P_{an} = 500,77 \times (24 \times 270)$$

$$P_{an} = 3,25 \text{ GWh}$$

De cette valeur annuelle des pertes et de l'énergie libérée par la combustion en considérant qu'un bon calorifugeage (laine de roche) réduit les pertes de pertes de 90%, on peut calculer la quantité de combustible Q_{comb} perdue annuellement suivant la formule :

Équation 10 : Formule de la quantité de combustible économisable

$$Q_{comb} = \%calo \times \frac{P_{an}}{E_L} \quad (10)$$

Où :

$\%calo$ = efficacité du calorifugeage

P_{an} = Pertes annuelles

E_L = Energie libérée

AN :

$$Q_{comb} = 0,9 \times \frac{3,25 \times 10^6 \times 3600}{17852,73}$$

$$Q_{comb} = 589,83 t_{comb}$$

La quantité de combustible réellement pouvant être économisée en 2018 a donc été de 589,83 tonnes soit un équivalent de 996,81 tonnes de CO₂ rejetées en moins dans la nature.

Pour mieux quantifier les pertes d'énergie, après consultation du journal de la chaufferie du mois de mars 2018, le tableau suivant établit les équivalences quantité de combustible, énergie électrique, quantité d'eau traitée (osmosée) et le coût du traitement de l'eau.

Tableau 13 : Tableau des équivalences de consommation

Combustible	Équivalent
1 t _{comb}	35.53 kWh
1 t _{comb}	3,8 t _{eau}
1 t _{comb}	576,36 F CFA (consommable de traitement d'eau)

Ces équivalences vont servir dans le calcul des gains escomptés des suites d'optimisation présentés dans la partie Solutions techniques et étude financière de ce document.

Par ailleurs, NIOTO se situe dans un environnement marin. Les mécanismes de corrosion découlant de l'ensemble des interactions physico-chimiques, mécaniques et cet environnement ont un mauvais impact sur le circuit et ses composantes non isolées. L'environnement est très agressif vis-à-vis du métal de la tuyauterie et détériore la structure du circuit. Le fait qu'une

importante partie du circuit surtout celui de la Presserie ne soit pas isolée, accélère le processus de condensation de la vapeur même avant son arrivée dans les échangeurs. La majorité des purgeurs de ligne étant défaillante, le condensat s'accumule dans le réseau, un phénomène très dangereux pour un réseau de distribution de vapeur. L'exemple de la destruction des doubles fonds (échangeurs) des cuiseurs de la Presserie en est la preuve palpable.

IV.2.3 Conclusion partielle

Cette rebrique de l'étude laisse voir que les anomalies citées au niveau du réseau de distribution de vapeur seraient responsables d'une perte annuelle de 3,25 GWh, un équivalent de 289,83 tonnes de combustible. On rappelle que les pertes prises en compte dans cette étude se sont limitées à la tuyauterie et accessoires non isolés bien que les fuites par les orifices soit sur une tuyauterie soit sur un accessoire qui laisse fuir la vapeur existent bien sur le réseau et ne sauraient être négligées.

IV.3 ÉTATS DES MOTEURS ÉLECTRIQUES

IV.3.1 Méthode d'évaluation des moteurs

La méthode de vérification utilisée pour le contrôle des moteurs est le fameux test 1-2-3. Dans ce dernier, trois critères sont importants à savoir : l'âge du moteur, la puissance nominale et le nombre d'heures de fonctionnement par an.

Critère 1 : Âge du moteur.

Ici il s'agit de l'année de mise en service du moteur. Les moteurs disposant d'une fiche dûment renseignée à NIOTO, l'année de mise en service des moteurs pourrait être en la consultant.

Critère 2 : Puissance nominale.

La puissance nominale est une valeur inscrite sur la plaque signalétique du moteur ou encore sur la fiche du moteur.

Critère 3 : Heure de fonctionnement

Le nombre d'heures de fonctionnement d'un moteur peut être déterminé à travers les outils d'instrumentation ou calculé par l'assistance technique.

Tableau 14 : Test 1-2-3 (performance du moteur) [9]

Âge du moteur		Puissance nominale		Heure de fonctionnement /an	
Âge	Notation	Puissance	Notation	Heure	Notation
≤ 5 ans	1	> 1500 kW	1	≤ 2000 h	1
≤ 10 ans	2	≤ 1500 kW	2	≤ 3000 h	2
≤ 15 ans	3	≤ 500 kW	3	≤ 4000 h	3
≤ 20 ans	4	≤ 150 kW	4	≤ 4000 h	4
> 20 ans	5	≤ 50 kW	5	> 5000h	5

Procédure :

On définit une valeur entre 1 et 5 respectivement pour l'âge, la puissance nominale et les heures de fonctionnement ; la pertinence des mesures pour le moteur contrôlé est déterminée par la somme des trois valeurs :

Tableau 15 : Classement moteur [9]

Classement du moteur														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Aucune mesure ne s'impose					Être attentif au moteur					Le changement du moteur s'impose				

Interprétation des résultats du tableau 14

Selon la marge dans laquelle se retrouve le résultat d'un moteur, une couleur lui est attribuée. Ci-après la signification des zones de couleurs :

Zone verte : si le résultat obtenu est inférieur à 6, cela voudrait dire qu'aucune mesure ne s'impose ;

Zone jaune : Si le résultat est situé entre 6 et 10, il est recommandé d'être attentif à l'état du moteur ;

Zone rouge : Si le résultat est supérieur à 10, il est recommandé de changer au plus vite le moteur.

IV.3.2 Études Résultats et interprétation

Les résultats obtenus sur cet échantillon de moteur sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 16 : Présentation des résultats de l'échantillon

Atelier		Presserie	
Moteur	Marque	Poste	Note
M70	Leroy Somer	Cuiseur N°1	12
Sans plaque		Cuiseur N°2	13
MB 530	ABB	P5	12
MB 430	Leroy Somer	P4	11
M 66 I	UNELEC	Cylindre Broyeur N°1	14
M 66 II	CEM	Cylindre Broyeur N°2	13
Atelier	Chaufferie		
Réfrigérant I	Leroy Somer	Pompe Réfrigérant I	13
Surpresseur	SIEMENS	Pompe Surpresseur Usine N°2	12
Eaux Usées	KSB	Pompe Eaux usées N°1	13
Osmoseur	SIEMENS	Pompe Osmoseur I	14
Ventilateur	BBC	Ventilateur refroidisseur	13
Atelier	Extraction		
P 5613A	Leroy Somer	Réfrigérant I	13
P 5613B	Leroy Somer	Réfrigérant II	13
P 122	Leroy Somer		13
DT 70	INVENSYS		13
Atelier	Neutralisation/Décoloration		
P 5512	Westfalia		13
P 5540	SEW-EURODRIVE	Pompe alimentaire	12
Cuves carrées	Leroy Somer	Pompe cuves carrée II	14
P 5813A	SIEMENS	Pompe Aéro Eaux Grasses	14

P 5813A Bis	SIEMENS	Ventilateur	14
P 5822	Leroy Somer	Pompe reprise	15
P 5841	Leroy Somer	Pompe à vide	13
P 5863	Leroy Somer	Pompe fluide thermique	13
Atelier	Pelletisation		
P 5240B	ASEA	Mélangeur	13
P 5241A	Leroy Somer	Presse	11
P 5240E	Leroy Somer	Pompe à graisse	12
Atelier	Pompage		
	SIEMENS	Pompe des Bacs	13

Les détails sur la détermination des résultats du tableau précédent se trouvent à l'Annexe 5 :
Détail du déclassement des moteurs.

Cet aspect des résultats montre que pour une exploitation à la fois efficiente et efficace des moteurs, il va falloir penser à leur rechange ainsi qu'à celle des équipements intervenant dans leur démarrage et leur contrôle en fonctionnement.

IV.4 CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

Dans cette partie, les différents graphes et courbes ont été réalisés en utilisant le tableau 19 de l'Annexe 6 du document. Les données de ce tableau elles-mêmes ont été recueillies avec le service énergie de NIOTO qui est chargé de l'archivage des factures d'électricité et de la collecte des données disponible à la centrale électrique.

IV.4.1 Évolution de la consommation d'électricité

La consommation d'électricité facturée pour l'exercice 2018 a été de 3791,055 MWh contre 3574,612 MWh en 2019.

Le graphe suivant présente le profil de la consommation d'électricité en 2018. Le maximum était atteint en Mai alors que le minimum était enregistré en Décembre. De telles variations ne sont pas favorables pour une gestion optimale de l'énergie.

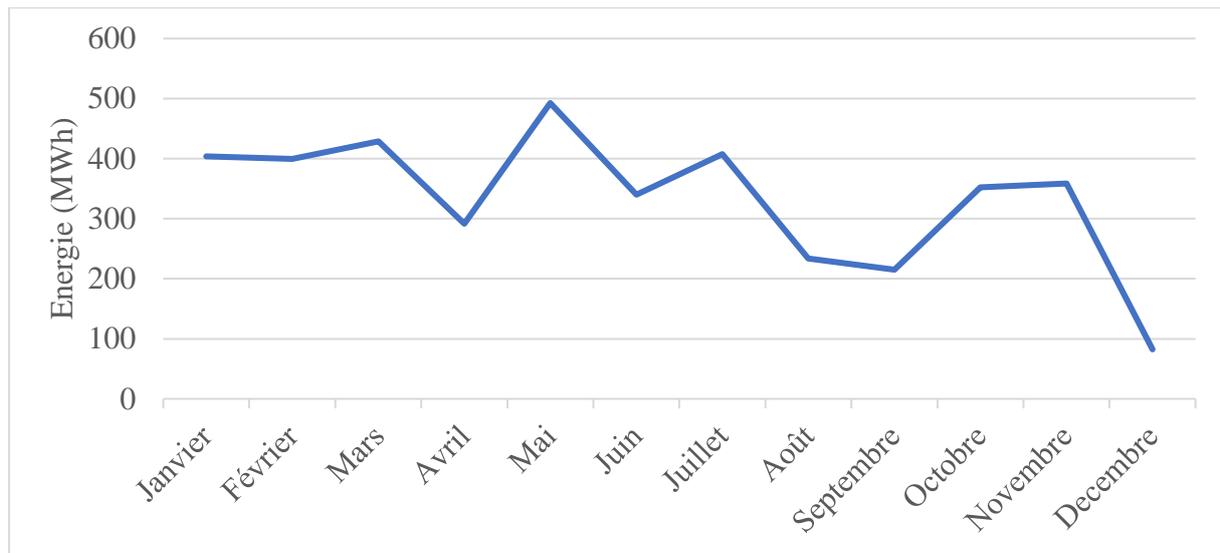


Figure 7 : Profil de la consommation d'électricité

IV.4.2 Facteur de charge

Le facteur de charge est le pourcentage d'énergie consommée comparativement à la quantité maximale d'énergie qui aurait pu être consommée si la demande maximale avait été maintenue au cours de la période de facturation. C'est donc une indication du pourcentage du temps de la demande crête de l'usine.

La formule mathématique permettant d'obtenir le facteur de charge est la suivante :

Équation 11 : Formule du facteur de charge

$$FC(\%) = \frac{\text{Energie totale consommée}}{kW \text{ en période crête} \times 24 \times n^{bre} \text{ de jour de la période}} \times 100 \quad (11)$$

Le taux moyen du facteur de charge en 2018 était de 16,4%, une valeur assez faible. Pour une utilisation optimale de l'électricité, le facteur de charge devait tourner autour de 75%. La plus petite valeur (15,9%) était enregistrée en Novembre tandis que la plus élevée a été enregistrée en Décembre. Ce profil pour le facteur de charge est justifié et serait difficilement modifiable à cause du régime de production de l'entreprise (une production à la chaîne)

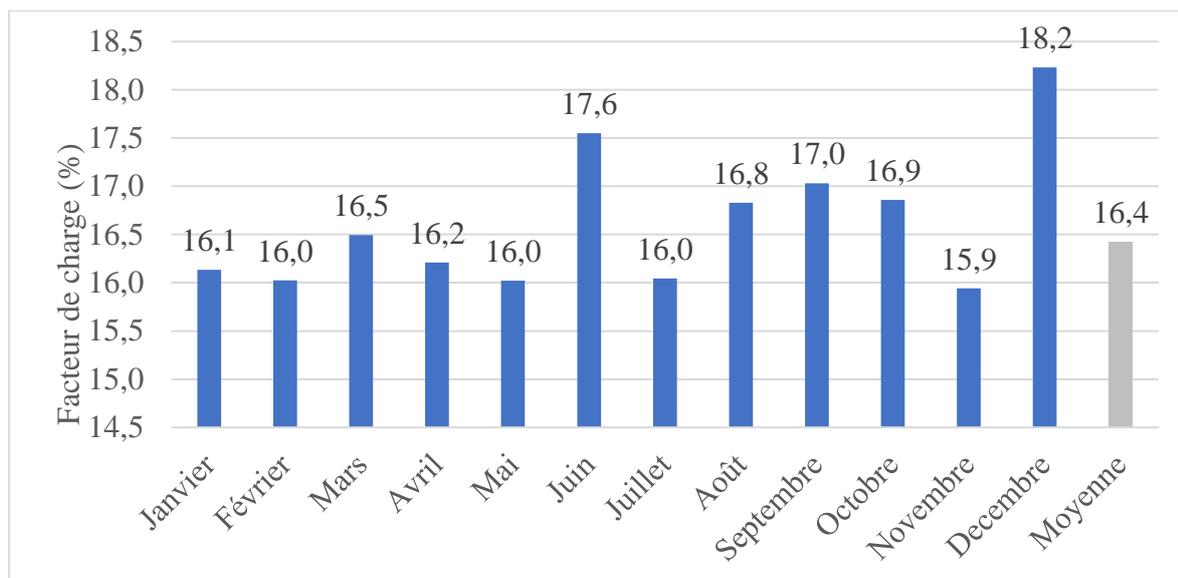


Figure 8 : Facteur de charge

IV.4.3 Taux de charge du transformateur

Le taux de charge moyen du transformateur est faible. Le taux moyen en 2018 était de 25,75% alors que le taux recommandé pour avoir un fonctionnement de sorte à respecter les recommandations des constructeurs, ce taux doit être compris entre [45%-75%]. Le meilleur taux mensuel a été de 47% enregistré dans le mois de Mai ; alors que le faible taux était (15%) a été enregistré en Août. On rappelle que la centrale électrique de NIOTO dispose d'un disjoncteur général Masterpact micrologique **Merlin Gerin** programmable capable de fournir les informations sur la charge de l'usine par période souhaitée et en temps réel.

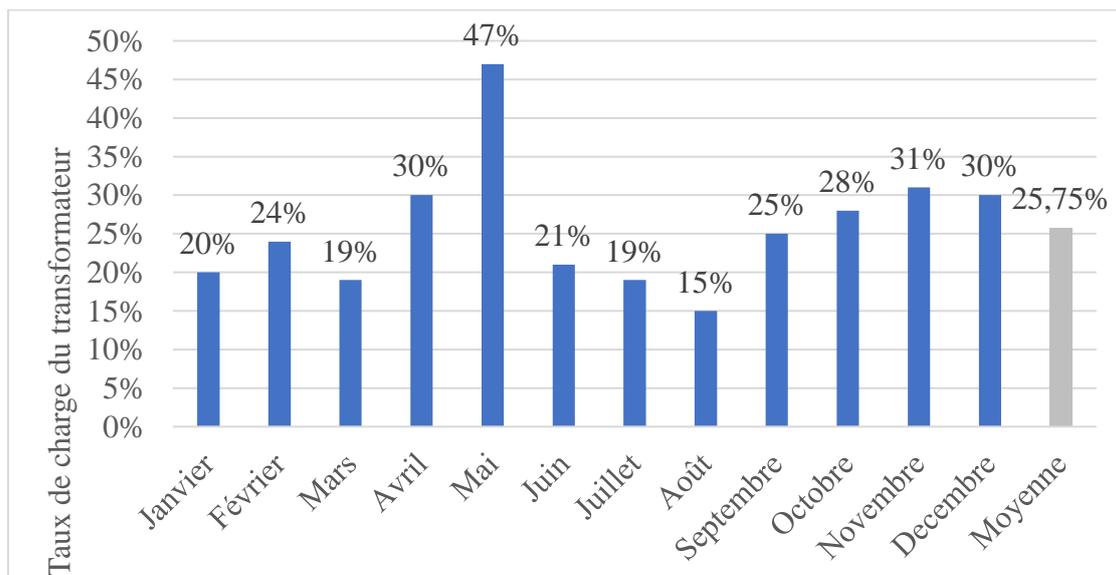


Figure 9 : Taux de charge du transformateur

IV.4.4 Facteur de puissance

Le facteur de puissance de l'année 2018 a été bon et n'a pas engendré de pénalités. Il était supérieur ou égal à 0,9.

IV.4.5 Puissance maximale appelée

Le graphe suivant présente l'évolution des puissances maximales appelées. La moyenne des puissances maximales appelées en 2018 a été de 923,5 kVA.

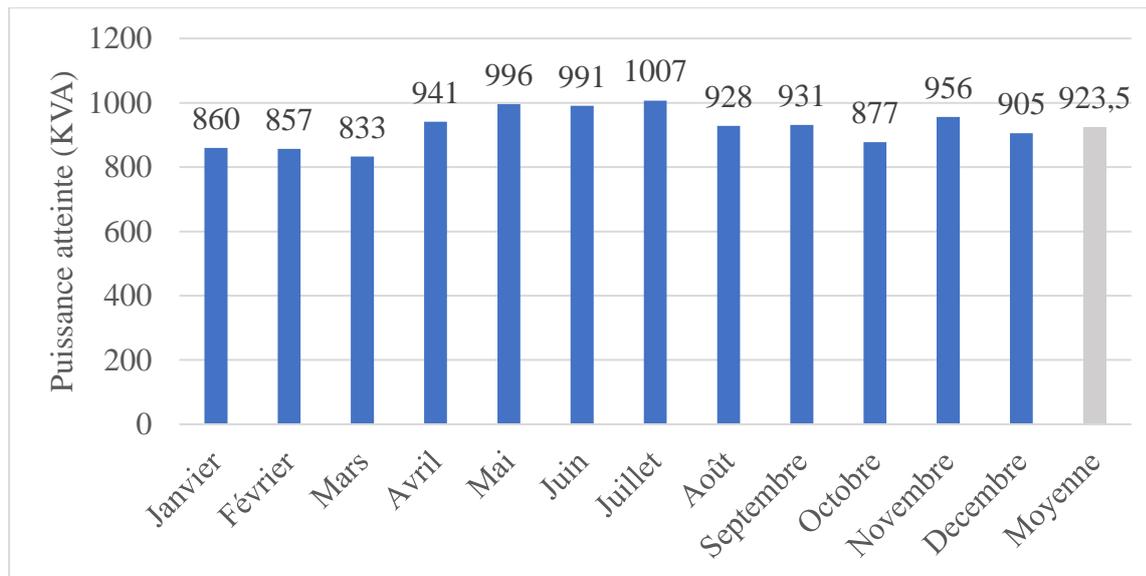


Figure 10 : Puissances maximales appelées en 2018

La puissance souscrite étant de 1 250kVA, n'a pas été dépassée au cours de l'année 2018.

IV.4.6 Évaluation de la souplesse de la charge

La souplesse de la charge est le degré auquel le profil de consommation d'électricité d'une installation peut être réajustée. Un de ses principaux buts est de transférer la consommation électrique d'une période à une autre ayant une tarification moins élevée [10].

Cependant, vu le régime de production de l'usine, la charge est loin d'être souple. Une politique d'écêtement de la consommation sur les équipements de production existant se révélerait assez complexe avec des répercussions sur la production ; ce qui n'arrange pas les services en charge de la production. La solution plausible, mais ne pouvant s'appliquer à toutes la charge serait le stockage de l'énergie sous ces diverses formes. Le stockage de l'énergie thermique (Eau chaud, récupération de chaleur sur les fumées des chaudières etc.) par exemple serait une forme de stockage avec beaucoup d'avantages pour la société.

V IDENTIFICATION DES MESURES D'AMÉLIORATION

Les activités menées tout au long de cette étude montre qu'une attention particulière a été portée au volet « gestion énergétique » du process. Ceci a permis d'identifier certains manquements au sein de la gestion énergétique du process de l'entreprise et d'en faire des objets d'études. Dans cette rebrique nous allons passer en revue les manquements déjà étudiés ou non qui ont été regroupés en trois (03) lots suivants les catégories :

V.1 MANAGEMENT DE L'ÉNERGIE

De nos jours, les entreprises/organisations réfléchissent au mieux pour réaliser des performances énergétiques/environnementales louables en contrôlant l'utilisation de l'énergie. De ce pas, ils réduisent l'impact de leurs activités (la consommation énergétique y comprise) sur l'environnement.

Pour des résultats plus probants, les entreprises doivent orienter leurs efforts vers un système de gestion de l'énergie et de l'environnement, un système qui doit être connu du personnel. Pour se faire, des législations internationales ont vu le jour dans l'optique de fournir aux entreprises les éléments d'un système de gestion efficace qui les aideront à atteindre leurs objectifs économiques et environnementaux.

Un management efficace de l'énergie permet de se faire des visions avec l'objectif de les atteindre afin de satisfaire aux obligations fixées par les normes en vigueur. Les entreprises se doivent de respecter les normes existantes sous peine de se voir privé de certifications.

Une entreprise a tout à gagner en mettant en place un système de gestion énergétique et environnementale et ce pour des raisons qui sont entre autres la compétitivité (l'image de marque et une publicité, le caractère compétitif sur le long terme, la transparence du processus de prise de décision etc.) ; la minimisation des risques; l'amélioration de l'organisation (une préservation absolue de l'environnement, l'écologisme, la motivation du personnel) ; l'amointrissement des coûts (l'identification des matériaux et des économies d'énergies potentielles).

Le système de management que l'étude propose et le management suivant la norme ISO 50001. Les informations en rapport avec ce système de management sont à l'Annexe 7

La liste des manquements suivant ont été ceux les observations réalisées par cette étude pour ce qui est du management de l'énergie :

- Politique d'amélioration continue de l'efficacité énergétique de l'entreprise obsolète ;
- Absence de d'un programme de formation, de sensibilisation et de communication concernant la rationalisation de la consommation énergétique et de la pollution de l'environnement ;
- Absence de compteur de suivi de la consommation en vapeur pour le process ;
- Les puissances moyennes appelées pendant les heures de pointes sont du même ordre que celles des autres périodes tarifaires ;
- Le système d'information de l'entreprise dispose des informations de plusieurs données intéressantes, mais elles ne sont pas exploitées dans le sens d'une analyse approfondie de la consommation énergétique.

V.2 PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DU RÉSEAU DE DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE THERMIQUE

Le diagnostic des installations thermiques a conduit à la formulation des résultats/remarques suivant(s) :

- La pression de consigne des chaudières est de 21 bars (220°C), soit une différence de 5 voire 7 bars par rapport aux pressions d'utilisation. Cette différence se justifie avec par pertes élevées dans le réseau de distribution et également par des raisons économiques de l'installation ;
- Les pressions d'utilisation de vapeur appliquées actuellement sont supérieures à celles recommandées par les constructeurs ;
- Mauvaise étanchéité des vannes ;
- Isolation incomplète des conduites ;
- Régulation manuelle aux différents points d'utilisation de vapeur ;
- Les condensats sont collectés dans une bache d'eau chaude dont seulement une faible quantité est utilisée et une énorme quantité de revaporisation jetée dans la nature ;
- Selon le journal de suivi des chaudières du 16 Mai 2018 ; la quantité d'eau d'appoint de la bache alimentaire était d'environ 9 m³/h qui représenterait logiquement la quantité de fuite de condensat et de vapeur de revaporisation non récupérés ;

- Le rendement de combustion calculé de la chaudière PAR a été de 61,2%, une valeur trop faible.

V.3 CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

Les études menées sur les installations électriques (les moteurs), l'analyse de la facturation d'énergie électrique ont permis de relever les points suivants :

- La puissance des moteurs à faible rendement occupe 98% de la puissance totale installée des moteurs ;
- Les condensateurs installés sur les charges inductives pour le redressement du facteur de puissance ne débitent plus ;
- Inadéquation entre la puissance et la charge de certains moteurs.

VI PLAN D'ACTION ET CALCUL DES OBJECTIFS

Afin de trouver des alternatives en guise de solutions pour les problèmes mentionnés dans la partie précédente, cette partie du document va énumérer trois points formulés en solution :

VI.1 SOLUTION 1 : AMÉLIORATION DU SYSTÈME DE MANAGEMENT DE L'ÉNERGIE

VI.1.1 Énoncé

Pour faire face aux dysfonctionnements et afin de garantir une amélioration continue de l'efficacité énergétique au sein de l'entreprise, il est fortement recommandé de mettre en place un système de management de l'énergie selon les exigences du référentiel ISO 50001 pour la gestion de l'énergie. La mise en place de ce référentiel sera principalement axée autour des points suivants :

- Élaboration d'un manuel de procédure définissant clairement la politique énergétique de l'entreprise selon les exigences de la norme ISO 50001 ;
- Définition des objectifs et des indicateurs de performance énergétique ;
- Acquisition d'un nouveau programme pour un suivi minutieux et une analyse des ratios de consommation de l'énergie et des factures d'électricité ;
- Mise en place d'un système d'acquisition et d'analyse de données (SCADA) du fabricant SIEMENS pour toute l'usine assurant : la télégestion et la télémessure de la consommation énergétique, la fixation des objectifs et leurs suivis à distance par un personnel qualifié. Une illustration de la configuration du réseau est présentée sur la figure suivante :



Figure 11 : Interface STEP7 [10]

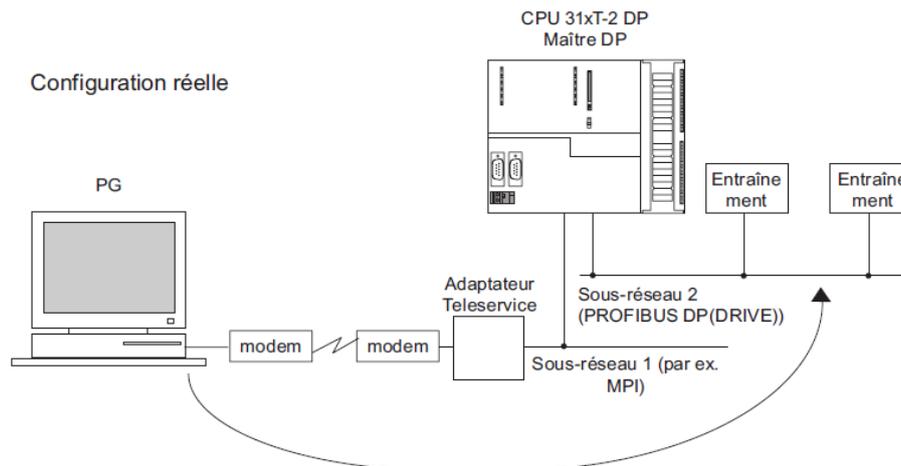


Figure 12 : Configuration dans STEP 7 [10]

Formation et sensibilisation du personnel en matière d'économie d'énergie et de gestion de la demande.

VI.1.2 Évaluation des investissements

L'investissement requis pour ce projet est réparti dans le tableau suivant :

Désignation	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (FCFA)
Investissements matériels			
Compteur industriel à impulsion (Ensemble)	20	1 350 000	27 000 000
Compteur de vapeur à impulsion (Ensemble)	6	5 M	30 000 000
Investissements immatériels			
TIA Portal (STEP7)	1	50 000 000	50 000 000
Logiciel de suivi et d'analyse des paramètres énergétique (Conception)	1	10 000 000	10 000 000
Total			117 000 000

Les investissements de ce premier projet sont ainsi estimés à 117 000 000 de francs CFA.

VI.1.3 Calcul des économies

Le retour sur expérience a montré qu'un tel système de management de l'énergie (l'ISO 50001), géré par une équipe formée et bien équipée pendant la période d'apprentissage permet de réduire aisément la consommation énergétique de 5%.

L'énergie économisée est calculée selon l'équation suivante :

Équation 12 : Formule de calcul des économies

$$E = \tau \times E_{ng} \quad (12)$$

Où :

E = Économie

τ = Taux d'économie (5%)

E_{ng} = Energie globale consommée

AN

- Électricité économisée

$$E_{él} = 0,05 \times 3791,055$$

$$E_{él} = \mathbf{189,55 MWh}$$

- Combustible économisé

$$Q_{comb_{éco}} = 0,05 \times 32457$$

$$Q_{comb_{éco}} = \mathbf{1\ 622,85\ t_{comb}}$$

Vu la quantité de farine de karité (combustible) que produit l'usine, elle est fournisseur de cette farine auprès des partenaires étrangers au prix de 30\$/tonne (Service Commercial). Les gains monétaires escomptés sont calculés selon l'équation suivante :

Équation 13 : Formule de calcul des gains escomptés (Projet1)

$$G = E_{él} \times 90\ 000 + Q_{comb_{éco}} (P_{vf} + P_{tr}) \quad (13)$$

Où :

P_{tr} = Prix de traitement de l'eau d'appoint par tonne de combustible (tableau 11)

90 000 (FCFA) = prix du mégawattheure hors taxes

$$G = 189,55 \times 90\ 000 + 1\ 622,85 \times (30 \times 500 + 576,36)$$

$$G = \mathbf{42\ 337\ 843\ FCFA}$$

OPTIMISATION ENERGETIQUE EN INDUSTRIE : CAS DES GISEMENTS D'ECONOMIES
POTENTIELLES DE LA NOUVELLE INDUSTRIE DES OLEAGINEUX DU TOGO (NIOTO)

La période de retour sur investissement de ce projet est donnée par :

$$PRI = \frac{\textit{Investissement}}{\textit{Gain annuel}}$$

AN :

$$PRI = \frac{117}{42,338}$$

$$\mathbf{PRI = 2ans 9mois}$$

La période de retour sur investissement de ce projet est donc de 2ans 9mois

VI.2 SOLUTION 2 : AMÉLIORATION DE LA PERFORMANCE

ÉNERGÉTIQUE DU RÉSEAU DE DISTRIBUTION DE VAPEUR

VI.2.1 Énoncé

Vu les problèmes listés ayant rapport avec la performance du réseau de distribution de l'énergie thermique, il est recommandé de mettre en place les actions correctrices suivantes :

- Amélioration du calorifugeage du réseau de distribution de vapeur (conduites, vannes, chaudières) ;
- Amélioration de l'état de la tuyauterie pour éviter la contamination des condensats dans le but de les récupérer ;
- Réutilisation de la vapeur de revaporisation après sa séparation des condensats via un vase de revaporisation ;
- Amélioration du rendement des chaudières ;
- Régulation automatique de vapeur aux différents points d'utilisation et réajustement des pressions de consigne selon les recommandations des constructeurs.

VI.2.2 Évaluation des investissements

Les investissements requis pour cette solution sont répartis dans le tableau suivant (source : GC Mali filiale de Geocoton et la société A.I.T.I.S. Isolation)

Activité	Nature	Coût (FCFA)
Amélioration du calorifugeage et revue du réseau	Prestation en sous-traitance	90 000 000
Amélioration du rendement des chaudières	Prestation en sous-traitance	25 000 000
Récupération de condensat	Prestation en sous-traitance	75 000 000
Régulation automatique de vapeur	Prestation en sous-traitance	40 000 000
Total		230 000 000

L'ensemble des investissements pour la réalisation de ce projet est donc évalué à 230 millions F CFA.

VI.2.3 Calcul des économies

➤ Amélioration du calorifugeage (E_1)

Les économies réalisées après calorifugeage en matière de combustible représentent la quantité de farine évaluée au niveau de l'équation 10 et vaut :

$$E_1 = 589,83 t_{comb}$$

➤ Récupération du condensat

La formule de l'équation 14 permet de déterminer le pourcentage de revaporisation de la vapeur, un paramètre clé dans le calcul de la quantité d'eau économisée en récupérant le condensat. Dans cette formule, les valeurs q_1 , q_2 et r ont été déterminées avec la table de vapeur située à l'Annexe 8 : Table de vapeur ayant servi pour le calcul du pourcentage de revaporisation.

Équation 14 : Formule de calcul du pourcentage de revaporisation

$$\%revap = \frac{q_1 - q_2}{r} \times 100 \quad (14)$$

Où :

q_1 = Chaleur sensible du condensat à la pression supérieure avant décharge (13 bars absolu) en kJ/kg ;

q_2 = Chaleur sensible du condensat à la pression inférieure à laquelle la décharge se produit (1 bar absolu) en kJ/kg ;

r = Chaleur latente du condensat à la pression inférieure à laquelle se produit la décharge (1 bar absolu) en kJ/kg.

$$\%revap = \frac{814 - 417}{2257} \times 100$$

$$\%revap = 17,6\%$$

La quantité d'eau économisée (E_2) suite à la récupération de condensat est donnée par :

Équation 15 : Formule de calcul des économies après récupération de condensat

$$E_2 = \frac{(1 - \%revap) \times Q_{eau_{ap}} \times f_{conversion} \times C_{p_{eau}} \times (T_{cond} - T_{eau_{ord}}) \times H_{an}}{PCI_{karité} \times \eta_{chaudière}} \quad (15)$$

Où :

$Q_{eau_{ap}}$ = Quantité d'eau d'appoint en m^3/h ($9 m^3$)

$f_{conversion}$ = Facteur de conversion des m³/h en l/s (0,27)

C_p = Chaleur spécifique de l'eau (4,18 kJ/kg.°C)

T_{cond} = Température des condensats en °C (90°C)

T_{eauord} = Température de l'eau ordinaire en °C (30°C)

$\eta_{chaudiere}$ = Rendement de combustion de la chaudière

H_{an} = Durée de fonctionnement annuel (seconde)

AN :

$$E_2 = \frac{(1 - 0,176) \times 9 \times 0,27 \times 4,18 \times (90 - 30) \times 24 \times 270 \times 3600}{18042 \times 0,612}$$

$$E_2 = 1060,97 m_{eau}^3$$

D'après le tableau des équivalences (tableau 10) $E_2 = 279,2 t_{comb}$

➤ Amélioration du rendement de la chaudière

La quantité de combustible pouvant être économisée en 2018 si le rendement de la chaudière a été amélioré est donné par :

Équation 16 : Formule de calcul des économies sur amélioration du rendement de combustion

$$E_4 = Q_{comb}/an \times (\eta_{comb_{env}} - \eta_{calculé}) \quad (16)$$

Où :

Q_{comb}/an = Quantité de combustible consommée en 2018 (32 457 tonnes)

$\eta_{comb_{env}}$ = Rendement de combustion envisagé (95%)

$\eta_{calculé}$ = Rendement calculé

AN :

$$E_4 = 32457 \times (0,95 - 0,612)$$

$$E_4 = 10970,5 t_{comb}$$

Après réalisation de ces économies, les gains monétaires seront calculés de la façon suivante :

Équation 17 : Formule de calcul des gains escomptés (Projet2)

$$G = (E_1 + E_2 + E_4) \times (P_{vf} + P_{tr} + P_{kW_{comb}}) \quad (17)$$

Où :

$P_{kW_{comb}}$ = Prix du kilowattheure par tonne de combustible hors taxes (3197,7 FCFA)

AN :

$$G = (589,83 + 279,2 + 10970,5) \times (30 \times 500 + 576,36 + 3197,7)$$

$$\mathbf{G = 222\ 276\ 050\ FCFA}$$

Ainsi pour un investissement total de 230 M FCFA pour ce projet la période de retour sur investissement sera :

$$\mathbf{PRI = 1\ an\ 4\ mois}$$

La période de retour sur investissement de ce projet est donc de **1 an 4 mois**

VI.3 SOLUTION 3 : OPTIMISATION DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

VI.3.1 Énoncé

Après les observations et études menées sur la consommation, il est recommandé la mise en place des actions correctrices suivantes :

- Ajout de batterie de condensateur fixe sinon variable selon les conditions de la charge et le facteur de puissance dans le but de corriger le facteur de puissance de toute l'installation ;
- Rechange des gros moteurs par des moteurs synchrones en surexcitation ayant la même incidence dans les circuits électriques qu'un condensateur ;
- Évaluation des charges électriques liées aux moteurs à partir de la puissance, de la charge et du rendement des moteurs ;
- Évaluation de la consommation de sortie utile à l'aide du régime nominal des charges ou des puissances mesurées ;
- Rechange progressive des moteurs à faible rendement par des moteurs énergétiquement efficace (haut rendement) ;
- Utilisation de démarreur progressif à microprocesseur pour les moteurs ayant une puissance supérieure ou égale à 50 kW.

VI.3.2 Évaluation des investissements

Difficilement quantifiable, les paramètres économiques de l'application de ce projet présenteront d'énormes bénéfices. À la baisse remarquable de la consommation d'énergie électrique, on pourrait aussi ajouter une diminution de la puissance souscrite auprès du fournisseur d'électricité et cette opération ne nécessite aucun investissement. Le changement des moteurs à faible rendement ne pouvant qu'être progressif, les points qui suivent ne concernent que la diminution de la puissance souscrite auprès du fournisseur d'électricité.

VI.3.3 Calcul des économies

La puissance actuelle souscrite est de 1250 kVA. Cette valeur pourrait être ramenée à 1000 kVA sans incidences si les propositions sont mises en applications. Les économies annuelles réalisées sur cette diminution de puissance sont calculées de la manière suivante :

Équation 18 : Formule de calcul de l'économie réalisation suite à une diminution de

puissance souscrite

$$E_r = (P_{anc} - P_{nvle}) \times C_{f_{kVA}} \times N_{mois} \quad (18)$$

Où :

E_r = Économie annuelle réalisable

P_{anc} = Ancienne Puissance souscrite (1250 kVA)

P_{nvle} = Nouvelle Puissance souscrite (1000 kVA)

C_{fkVA} = Coût forfaitaire par kVA souscrite (2500 FCFA)

N_{mois} = Nombre de mois dans une année (12)

AN :

$$E_r = (1250 - 1000) \times 2500 \times 12$$

$$\mathbf{E_r = 7\ 500\ 000\ FCFA}$$

CONCLUSION

Le travail d'optimisation réalisé à NIOTO a approfondi notre expérience dans les domaines de l'audit énergétique et des solutions d'économies en énergie. Les objectifs fixés en début de parcours nous ont obligé à nous imprégner du procédé de l'extraction et du raffinage de l'huile ainsi que des éléments et appareillages qui entrent en ligne de compte.

L'analyse initiale des consommations en électricité et en combustible ont révélé respectivement les valeurs de 3 791,055 MWh et de 32 457 tonnes qu'il était important de réduire parce que trop coûteux. Ainsi trois différentes solutions sont proposées dans ce document dans le but de réduire la dépense énergétique à NIOTO.

La première solution vise à améliorer le système de management de l'énergie et permettre de réaliser une économie de 189,55 MWh en électricité et de 1 622,85 tonnes de combustible pour un investissement de 117 000 000 de francs CFA avec un gain monétaire de 42 337 843 francs CFA et une période de retour sur investissement de 33 mois.

La seconde solution quand-à elle s'oriente vers une amélioration de la performance énergétique du réseau de distribution de vapeur et va permettre de réaliser une économie de 11 839,53 tonnes de combustible pour un investissement de 230 000 000 de francs CFA, un gain monétaire de 222 276 050 francs CFA et une période de retour sur investissement de 16 mois.

La dernière solution difficile à quantifier vise à améliorer la consommation électrique du process et entrainera une diminution de la puissance souscrite pour une économie de 7 500 000 francs CFA sur la facture annuelle d'électricité.

Ces solutions, si elles venaient à être réalisées diminueront clairement la dépense énergétique, le degré de pollution atmosphérique donc aideront à rehausser la cote de responsabilité sociétale de l'entreprise de l'entreprise vis-à-vis de son environnement immédiat voir même la mise sur une bonne lancé pour accéder au marché carbone. Les propositions apportées aux problèmes de NIOTO ne peuvent malheureusement pas apporter une solution définitive au problème de surconsommation. Tant qu'une politique de management de l'énergie ne sera pas clairement définie et mise en place, la société continuera malheureusement de croupir sous le poids de ses dépenses énergétiques.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement, «ETUDE DE FAISABILITE ET D'ELABORATION D'UN PROGRAMME D'ACTION DETAILLE POUR LA PROMOTION DES FILIERES OLEAGINEUSES GRAINES DE COTON ET DU PALMIER A HUILE DANS L'ESPACE UEMOA,» bnetd, Cocody-Abidjan, 2013.
- [2] TOGO First, «Panorama de l'agriculture au Togo : aujourd'hui et demain... », Panorama des reformes,» 13 Janvier 2020. [En ligne]. Available: <https://www.togofirst.com/fr/panorama-agriculture/1301-4703-panorama-de-l-agriculture-au-togo-aujourd-hui-et-demain>.
- [3] Viessmann France S.A.S., *Chaudière à vapeur*, Faulquemont, 2016.
- [4] Armstrong, *Solutions pour Installations Vapeur, Air et Eau Chaude*, 2015.
- [5] B. Laporte, *Machines électriques tournantes*, Ellipses, Éd., Technosup, 2007.
- [6] PEEIC (Programme d'économie d'énergie dans l'Industrie canadienne), «OUTILS POUR ECONOMISER L'ENERGIE-Guide et outil de vérification énergétique,» PEEIC, Québec, 2008.
- [7] giz, «Les pertes d'énergie,» 2017.
- [8] N. D. Tadhg Coakley, «Efficacité Energétique dans le secteur industriel,» IUSES, Rhône Alpes, 2010.
- [9] F. Streiff, *Le comptage de l'énergie - Amélioration de la performance énergétique dans l'industrie*, Dunod / ADEME, 2014.
- [10] SIEMENS, «TIA Portal automation in the digital entreprise,» Decembre 2019. [En ligne]. Available: www.new.siemens.com. [Accès le 20 Mai 2020].
- [11] J. PARISOT, *Techniques de l'ingénieur, traité Génie énergétique, Conception et calcul des chaudières : généralités et bilans*, 2009.

- [12] N. JOUVE, «azprocede,» 2008. [En ligne]. Available: https://www.azprocede.fr/Cours_GC/combustion_equation.html. [Accès le 12 Avril 2020].
- [13] H. Fouarge, «Analyse d'un réseau vapeur en industrie,» Ulg Library, 2017.
- [14] G. Dardenne, «Genèse et développement de la bioindustrie,» *Revue d'économie industrielle*, n° %118, 4ème trimestre , p. 105, 1981.
- [15] XPAIR, «XPAIR mesure des gaz de combustion,» Janvier 2020. [En ligne]. Available: <http://conseils.xpair.com>. [Accès le 14 Avril 2020].
- [16] giz, «Aspects liés à la conception d'un réseau vapeur,» 2017.

ANNEXES

Annexe 1 : Métré de la tuyauterie non isolée du circuit vapeur.....	IV
Annexe 2 : Détails sur le rendement des chaudières	VI
Annexe 3 : Méthode de détermination des pertes du tableau 10.....	VIII
Annexe 4 : Solutions et attitudes pour l'optimisation de l'efficacité des chaudières.....	IX
Annexe 5 : Détail du déclassement des moteurs	XI
Annexe 6 : Détails sur le profil de consommation	XII
Annexe 7 : Lignes directrices de l'implantation de l'iso 50001	XIII

ANNEXE 1 : MÉTRÉ DE LA TUYAUTERIE NON ISOLÉE DU CIRCUIT VAPEUR

Tableau 17 : Métré de la tuyauterie non calorifugée

Diamètres nominaux		DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN60	DN65	DN70	DN80	DN90	DN100
Dégazeur	Tuyauterie(m)					1,5							
	Singularités*(Qté)					2	1						1
	Bride (Qté)					2							
Décolo	Tuyauterie(m)	51			24	21,7		29,6		29,7			0,5
	Singularités*(Qté)	30			7	4			2	3			1
	Bride (Qté)	3			4	2		5		1			
Extraction	Tuyauterie(m)	39,15	17,98		43,76	41,18	9	16,73		2,42		8,3	2,56
	Singularités*(Qté)	22			27	1	3	8				1	2
	Bride (Qté)	6	2		3		2	1					1
Pelletisation	Tuyauterie(m)						14,73						
	Singularités*(Qté)						1						
	Bride (Qté)		2				4						
Presserie	Tuyauterie(m)	29			27		16,79	17,42		13,7	121,26	2,3	

OPTIMISATION ENERGETIQUE EN INDUSTRIE : CAS DES GISEMENTS D'ECONOMIES POTENTIELLES DE LA NOUVELLE INDUSTRIE DES OLEAGINEUX
DU TOGO (NIOTO)

Diamètres nominaux		DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN60	DN65	DN70	DN80	DN90	DN100
	Singularités*(Qté)	24			14		2	4		2	3		
	Bride (Qté)	6			3		1	2		4	2		
Conditionnement	Tuyauterie(m)												
	Singularités*(Qté)							1					
	Bride (Qté)												
Raccordement des barillets (chaufferie)	Tuyauterie(m)											1,19	
	Singularités*(Qté)											1	
	Bride (Qté)												
TOTAL	Tuyauterie(m)	119,15	17,98		94,76	64,38	40,52	63,75		45,82	121,26	11,79	3,06
	Singularités*(Qté)	76			48	7	7	13	2	5	3	2	4
	Bride (Qté)	15	4		10	4	7	8		5	2		1

ANNEXE 2 : DÉTAILS SUR LE RENDEMENT DES CHAUDIÈRES

Le rendement théorique calculé en se référant à l'équation 8 dans laquelle le facteur « f » figure est tiré du tableau suivant :

Tableau 18 : Tableau des facteurs spécifiques des combustibles

Combustible	A2	B	f	CO _{2max}
Fuel domestique	0,68	0,007	-	15,5
Gaz naturel	0,65	0,009	-	11,9
Gaz liquide	0,63	0,008	-	13,9
Bois/Coke	0	0	0,74	20
Brique	0	0	0,75	19,3
Lignite	0	0	0,90	19,2
Houille	0	0	0,60	18,5
Gaz de coke	0,6	0,011	-	-
Gaz de ville	0,63	0,011	-	11,6
Gaz étalon	0	0	-	13,0

Note : Le facteur f choisit de la cadre de cette étude est celui du Bois/Coke parce que la farine étant presque de la même famille.

Pour plus de précision, nous avons calculé le rendement réel en nous servant de l'énergie (Enthalpie) obtenue à la sortie de chaudière et l'énergie admise dans le foyer pour la combustion (PCI)

En effectuant les calculs avec les données de la PAR, on a :

- Débit de vapeur : 18 t/h
- Débit de combustible : 4,2 t/h
- Enthalpie de la vapeur à la sortie (20 bars) : 2798 kJ/kg

Le ratio de conversion de « kilogramme combustible » en « kilogramme vapeur » est donné par le quotient du débit de combustible par le débit de vapeur et nous donne $R = \frac{7}{30}$ où R désigne le ratio.

La formule du rendement est alors donnée par :

Équation 19 : Formule du rendement réel

$$\eta_{réel} = \frac{H_s}{PCI \times R} \quad (19)$$

Où :

H_s = Enthalpie de la vapeur à la sortie de chaudière

R = Ratio de conversion

AN :

$$\eta_{réel} = \frac{2798}{18042 \times \frac{7}{30}}$$

$$\eta_{réel} = 66,5\%$$

On conclut que la valeur du facteur « f » choisie pour le rendement théorique est acceptable.

ANNEXE 3 : MÉTHODE DE DÉTERMINATION DES PERTES DU TABLEAU 10

Il s'agit bien de l'interpolation qui est bien souvent utilisée pour des calculs tels que le logarithme, la valeur d'une fonction trigonométrique, la pression d'un gaz ou encore les pertes correspondant à une température donnée. Quelque fois fastidieuse, elle pourrait être réalisée en suivant les étapes suivantes :

- ✓ Identifier la valeur « x » pour laquelle on veut trouver la valeur correspondante (177°C dans le cas de cette étude) ;
- ✓ Trouver les valeurs qui encadrent au mieux « x » dans le tableau de référence (167-180°C dans le cas de cette étude). Ces valeurs connues seront désignées « x₁ » et « x₂ » ; les valeurs correspondantes « y₁ » et « y₂ » comme valeur des pertes sont par conséquent connues ;
- ✓ Trouver mathématiquement la valeur interpolée « y » par l'équation suivante :

Équation 20 : Formule de l'interpolation

$$y = y_1 + \left[\left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right) (y_2 - y_1) \right] \quad (20)$$

Le tableau suivant résume les valeurs des pertes déterminées pour une température standard de 177°C pour les différents diamètres nominaux :

Tableau 19 : Résumé des pertes

Diamètre (mm)	DN 15	DN 20	DN 32	DN 40	DN 50	DN 60	DN 65	DN 70	DN 80	DN 90	DN 100
Pertes (W/m)	266,38	320,46	396,23	540,54	658,92	743,69	786,08	834,41	931,08	1049,35	1167,31

ANNEXE 4 : SOLUTIONS ET ATTITUDES POUR L'OPTIMISATION DE L'EFFICACITÉ DES CHAUDIÈRES

➤ L'encrassement

Les chaudières étant à combustible solide (la farine de karité), ce combustible laisse une quantité de dépôt sur les parois de la tuyauterie en contact avec les flammes. Ce dépôt, appelé encrassement, diminue considérablement le transfert de chaleur. Les recherches et expériences ont prouvé qu'une couche de suie de 0,8 mm seulement entraîne une réduction du transfert de chaleur de 9,5 % et qu'une couche de 4,5 mm provoquerait une diminution de 69%.une conséquence de ceci serait une augmentation de la température des gaz d'échappement tout comme le coût de l'énergie dans notre cas. Ayant donc une forte tendance à l'encrassement, les tuyauteries en contact avec les flammes, on pourrait penser à un système de soufflerie performant pour l'élimination de la suie sur les parois exposées aux flammes pendant le fonctionnement. L'utilisation soit des brosses adéquates ou soit des lances d'arrosage serait la bienvenue également.

➤ Le tartre

Les dépôts qui se retrouvent sur les parois mouillées des tubes des chaudières entravent le transfert de chaleur, réduisent leurs efficacités, restreignent la circulation de l'eau et entraînent des problèmes pour le bon fonctionnement. Ces dépôts encore appelés tartre occasionnent également une augmentation de la température du métal des tuyaux et donc des d'échappement. À titre d'information, une accumulation d'un millimètre de tartre peut entraîner une augmentation de 2% de la consommation de combustible. Ce pendant à NIOTO on remarque l'existence d'une couche importante de tartre et de suie sur la tuyauterie à l'intérieur des chaudières. L'image 3 (prise dans la chaudière PAR) en est l'illustration parfaite. La solution qu'on propose à NIOTO dans ce cas est que le laboratoire redouble d'effort dans l'analyse des éléments dissouts dans l'eau d'alimentation des chaudières et que la vérification de la qualité de l'eau qui se faisait suivant les quarts de travail soit effectuée chaque heure dorénavant.



Image 3 : Illustration des dépôts de suie et de tartre

ANNEXE 5 : DÉTAIL DU DÉCLASSEMENT DES MOTEURS

➤ Méthodologie

De par les critères qui sont respectivement l'âge, la puissance, le nombre d'heure de fonctionnement, des notes sont attribuées aux moteurs et par tranche. La note finale ne sera que la somme algébrique des trois notes. La note ainsi obtenue, comparée à un seuil, va constituer une aide à la décision.

Moteur	Critère 1		Critère 2		Critère 3		Note
	Marge	Notation	Marge	Notation	Marge	Notation	
M70	≤ 15 ans	3	≤ 150 kW	4	> 5000h	5	12
Sans plaque	≤ 20 ans	4	≤ 150 kW	4	> 5000h	5	13
MB 530	≤ 20 ans	4	≤ 500 kW	3	> 5000h	5	12
MB 430	≤ 15 ans	3	≤ 500 kW	3	> 5000h	5	11
M 66 I	≤ 20 ans	4	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	14
M 66 II	≤ 15 ans	3	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	13
Réfrigérant	≤ 20 ans	4	≤ 150 kW	4	> 5000h	5	13
Surpresseur	≤ 10 ans	2	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	12
Eaux usées	≤ 15 ans	3	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	13
Osmoseur	≤ 20 ans	4	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	14
Ventilateur	≤ 15 ans	3	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	13
P 5613A	≤ 15 ans	3	≤ 50 kW	5	≤4000h	3	11
P 5613B	≤ 15 ans	3	≤ 50 kW	5	≤4000h	3	11
P 122	≤ 15 ans	3	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	13
P 8	≤ 15 ans	3	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	13
DT 70	≤ 20 ans	4	≤ 150 kW	4	> 5000h	5	13
P 5512	≤ 15 ans	3	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	13
P 5540	≤ 10 ans	2	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	12
P 5813A	≤ 20 ans	4	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	14
P 5813A Bis	≤ 20 ans	4	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	14
P 5822	>20ans	5	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	15
P 5841	≤ 15 ans	3	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	13
P 5863	≤ 15 ans	3	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	13
P 5240B	≤ 15 ans	3	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	13
P 5241A	≤ 10 ans	2	≤ 150 kW	4	> 5000h	5	11
P 5240E	≤ 15 ans	3	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	13
Pompe des Bacs	≤ 20 ans	4	≤ 50 kW	5	> 5000h	5	14

ANNEXE 6 : DÉTAILS SUR LE PROFIL DE CONSOMMATION

Tableau 20 : Chiffres clés de la consommation de l'année de référence

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Moyenne
Energie (kWh)	191,801	331,999	458,771	221,719	254,187	274,401	196,184	122,754	319,328	368,509	422,986	411,973	297,88433
Pu atteinte (KVA)	779	831	974	1094	795	957	1039	555	848	829	887	804	866
Consommation Heures de pointe (MWh)	39,714	68,159	94,279	48,962	50,238	57,52	38,405	25,578	65,059	80,206	89,743	84,367	61,8525
Facteur de charge (%)	16,1	16,2	16,2	15,1	16,9	15,9	17,0	16,0	16,4	15,3	15,7	16,3	16,1
Taux de charge du transformateur	22%	28%	47%	30%	19%	21%	19%	15%	25%	28%	31%	30%	26,25%

Les données comme l'énergie, la puissance atteinte, la consommation des heures de pointe et le taux de charge du transformateur ont été recueillies auprès du service énergie. Quant au facteur de charge, il a été calculé à l'aide de la formule de l'Équation 11 : Formule du facteur de charge.

ANNEXE 7 : LIGNES DIRECTRICES DE L'IMPLANTATION DE L'ISO 50001

I But d'un système de gestion de l'énergie

Le principal objectif d'un système de gestion de l'énergie est de perpétuellement parfaire les performances énergétiques d'une organisation.

L'organisation doit, à fréquence régulières, déterminer les possibilités d'amélioration et prendre des mesures dont l'exécution devra être contrôlée. Le taux, la portée et la durée de ce procédé d'amélioration continue sont déterminés par l'organisation elle-même en fonction de l'atmosphère économique ainsi que d'autres facteurs pertinents tels que : la taille de l'organisation, l'intensité énergétique de ses activités ainsi que la variabilité de sa production.

II Éléments d'un système de gestion de l'énergie

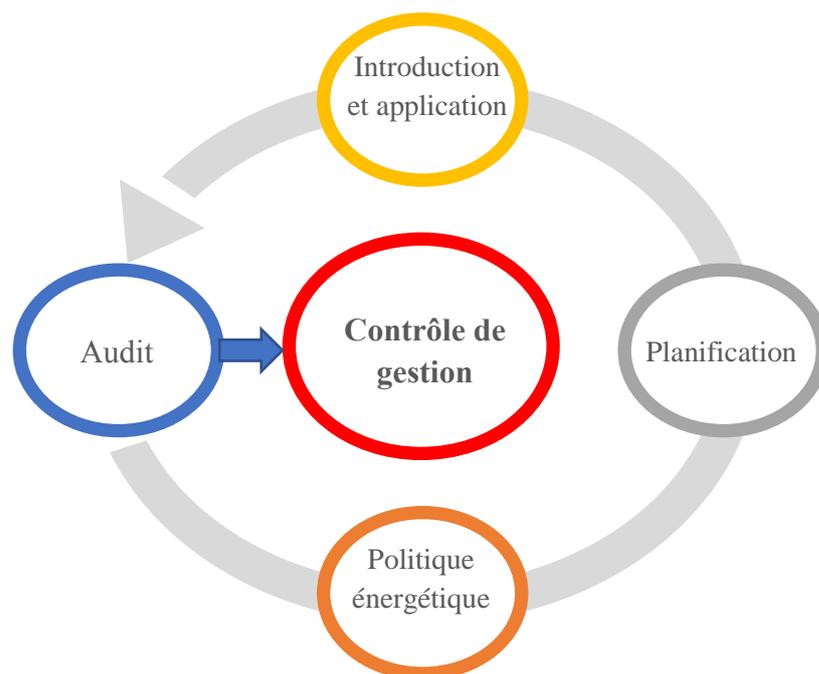


Figure 13 : Processus de gestion de l'énergie

Un système de gestion de l'énergie cherche à améliorer continuellement la performance énergétique de l'entreprise et à éviter de retomber à l'avenir dans les veilles et mauvaises habitudes. Il devrait permettre d'amoinrir les coûts et les émissions de gaz à effet de serre (directs et indirects) grâce à une gestion systématique de l'énergie.

III Politique énergétique

La politique énergétique est un document rédigé indiquant la volonté de l'organisation de faire des économies d'énergie, de parfaire perpétuellement sa performance énergétique et d'être en harmonie avec la législation en vigueur. Cette politique énergétique interne ne devrait pas être méconnue à aucun membre de l'organisation peu importe sans rang. Elle doit énoncer l'engagement de l'entreprise à atteindre les objectifs de son système de gestion de l'énergie et à réduire les émissions de gaz à effet de serre. L'établissement de cette politique passe par différentes étapes et peut se révéler parfois complexe. L'implantation d'une politique énergétique efficace s'articule autour de trois grands axes qui sont :

- ✓ Une Analyse des entrées-sorties
- ✓ La fixation des objectifs
- ✓ La formulation de mesures

Cette planification commence en réalité par une subdivision puis une étude du grand environnement de l'organisation ; ceci devrait amener à identifier les environnements interne et externe à l'organisation :

- L'environnement interne : À ce niveau, on retrouve des aspects comme les fonctions organisationnelles et la culture organisationnelle. Les fonctions organisationnelles regroupent l'ensemble du personnel sans exception tandis que la culture organisationnelle représente les valeurs communes partagées par les membres de l'organisation.
- L'environnement externe regroupe l'environnement externe immédiat et l'environnement externe général. Les concurrents par exemple représentent un environnement immédiat et les intervenants externes tels que les formateurs, le contexte économique ou encore la technologie représenteront l'environnement externe général.

L'analyse des entrées-sorties (analyses des flux de l'énergie) aident à identifier les éventuelles forces et faiblesses du système énergétique. Les faiblesses seront reformulées de manière à en faire des objectifs, lesquels aident à prendre des mesures. Il est essentiel de contrôler les procédures utilisées (figure précédente)

La mise en place de dispositif de mesure du flux énergétique est obligatoire. La transparence des flux de l'énergie rend persuasif et permet de sensibiliser le personnel. Certains outils tels

que les analyses entrées-sorties, les analyses des flux de l'énergie, représentent les pionniers d'un système d'information qui permet de trancher de l'efficacité du flux de l'énergie ainsi que l'efficacité des mesures/dispositions prises ; ce qui les rend très utiles pour évaluer les améliorations des performances.

III.1 Analyses des entrées-sorties

La première étape de cette activité de base est de répertorier les activités ou équipements énergivores ; elle donne une vision globale des entrées et sorties de l'organisation.

De prime abord, l'organisation doit avoir des idées claires sur la quantité et le type d'énergie qu'elle consomme. L'analyse énergétique doit porter sur la consommation actuelle mais aussi sur celle des années antérieures.

Pour de grandes organisations, l'analyse devra être détaillée et devrait inclure les entrées d'énergie (électricité, gasoil etc.) de même que les prévisions d'utilisation finale tels que le pompage, l'éclairage etc.

Les statistiques concernant les utilisations énergétiques au cours des années antérieures doivent être revues et utilisées pour fixer les objectifs. Toutes les informations qui sont à disposition tels que les factures énergétiques, les relevés de compteur, les rapports d'énergie établis par l'équipe de gestion de l'industrie etc., doivent être utilisées dans l'analyse.

Le plus souvent, les plus opportunités consistantes d'amélioration des performances énergétiques se trouvent dans des mesures internes d'incitation peu coûteuses, comme sensibiliser le personnel à mettre les machines à l'arrêt quand il ne s'en sert pas, encourager les employés à la performance énergétique dans l'accomplissement de leurs travaux et de la promouvoir.

L'analyse doit être mise à jour tous les ans. Celle-ci doit, le plus possible, être fondée sur des mesures exactes et prendre en considération les modifications survenues dans l'entreprise tels qu'un accroissement d'activité, des modifications dans la chaîne de production de l'usine, des changements dans l'organisation, dans les qualifications des employés et dans les descriptions de poste, etc.

III.2 Objectifs

Après identification des faiblesses et en ne perdant pas de vue le(s) résultat(s), l'organisation se fixe des objectifs. Ces objectifs doivent être : Spécifiques, Mesurables, Ambitieux, Réalistes et Tenus (SMART).

L'organisation doit, à fréquence régulière identifier les occasions d'amélioration et prendre des dispositions dont la réalisation devra être contrôlée comme mentionné précédemment. Le taux, l'ampleur ainsi que la durée de ce procédé d'amélioration continue sont fixés par l'organisation en se référant au climat économique et les variations de ses activités.

III.3 Mesures

Dès lors que les objectifs sont fixés, l'organisation peut prendre des mesures afin de les atteindre. Une mesure est généralement formulée dans le même sens que l'objectif mais de manière à solutionner.

Pour que les différentes étapes précédemment décrites ne soient pas une subjectivité, il faudra : une organisation efficace et efficiente axée sur un travail d'équipe, une bonne communication et surtout la formation.

**ANNEXE 8 : TABLE DE VAPEUR AYANT SERVI POUR LE CALCUL DU
POURCENTAGE DE REVAPORISATION [4]**

Tableau CG-10-1. Propriétés de la vapeur saturée						
Pression de vapeur (bar abs.)	Temp. vapeur (°C)	Volume spécif. (m³/kg)	Kilojoules		Kilocalories	
			Chaleur d'ébullition (kJ/kg)	Chaleur latente (kJ/kg)	Chaleur sensible (kcal/kg)	Chaleur latente (kcal/kg)
(Colonne 1).	(Colonne 2).	(Colonne 3).	(Colonne 4).	(Colonne 5).	(Colonne 6).	(Colonne 7).
P	t	SV	q	r	q	r
0,01	7,0	129,20	29	2 484	7,0	593,5
0,02	17,5	67,01	73	2 460	17,5	587,6
0,03	24,1	45,67	101	2 444	24,1	583,9
0,04	29,0	34,80	121	2 433	28,9	581,2
0,05	32,9	28,19	138	2 423	32,9	578,9
0,06	36,2	23,47	151	2 415	36,2	577,0
0,07	39,0	20,53	163	2 409	39,0	575,5
0,08	41,5	18,10	174	2 403	41,5	574,0
0,09	43,8	16,20	183	2 398	43,7	572,8
0,10	45,8	14,67	192	2 393	45,8	571,8
0,20	60,1	7,650	251	2 358	60,1	563,3
0,30	69,1	5,229	289	2 335	69,1	558,0
0,40	75,9	3,993	317	2 319	75,8	554,0
0,50	81,3	3,240	340	2 305	81,3	550,7
0,60	86,0	2,732	359	2 293	85,9	547,9
0,70	90,0	2,365	376	2 283	89,9	545,5
0,80	93,5	2,087	391	2 274	93,5	543,2
0,90	96,7	1,869	405	2 265	96,7	541,2
1,00	99,6	1,694	417	2 257	99,7	539,3
1,50	111,4	1,159	467	2 226	111,5	531,8
2,00	120,2	0,8854	504	2 201	120,5	525,9
2,50	127,4	0,7184	535	2 181	127,8	521,0
3,00	133,5	0,6056	561	2 163	134,1	516,7
3,50	138,9	0,5240	584	2 147	139,5	512,9
4,00	143,6	0,4622	604	2 133	144,4	509,5
4,50	147,9	0,4138	623	2 119	148,8	506,3
5,00	151,8	0,3747	640	2 107	152,8	503,4
6,00	158,8	0,3155	670	2 084	160,1	498,0
7,00	164,9	0,2727	696	2 065	166,4	493,3
8,00	170,4	0,2403	721	2 046	172,2	488,8
9,00	175,4	0,2148	742	2 029	177,3	484,8
10,00	179,9	0,1943	762	2 013	182,1	481,0
11,00	184,1	0,1774	778	1 998	186,5	477,4
12,00	188,0	0,1632	798	1 983	190,7	473,9
13,00	191,6	0,1511	814	1 970	194,5	470,8
14,00	195,0	0,1407	830	1 958	198,2	467,7
15,00	198,3	0,1317	844	1 945	201,7	464,7
16,00	201,4	0,1237	858	1 933	205,1	461,7
17,00	204,3	0,1166	871	1 921	208,2	459,0
18,00	207,1	0,1103	884	1 910	211,2	456,3
19,00	209,8	0,10470	897	1 899	214,2	453,6
20,00	212,4	0,09954	908	1 888	217,0	451,1
25,00	223,9	0,07991	961	1 839	229,7	439,3
30,00	233,8	0,06663	1 008	1 794	240,8	428,5
40,00	250,3	0,04975	1 087	1 712	259,7	409,1
50,00	263,9	0,03943	1 154	1 640	275,7	391,7
60,00	275,6	0,03244	1 213	1 571	289,8	375,4
70,00	285,8	0,02737	1 267	1 505	302,7	359,7
80,00	295,0	0,02353	1 317	1 442	314,6	344,6
90,00	303,3	0,02050	1 363	1 380	325,7	329,8
100,00	311,0	0,01804	1 407	1 319	336,3	315,2
110,00	318,1	0,01601	1 450	1 258	346,5	300,6
120,00	324,7	0,01428	1 492	1 197	356,3	286,0
130,00	330,8	0,01280	1 532	1 135	365,9	271,1
140,00	336,6	0,01150	1 571	1 070	375,4	255,7
150,00	342,1	0,010340	1 610	1 004	384,7	239,9
200,00	365,7	0,005877	1 826	592	436,2	141,4

1 kcal = 4,186 kJ
1 kJ = 0,24 kcal