



 **PASSAGE D'UN RECHAUFFEUR A VAPEUR A UN
RECHAUFFEUR ELECTRIQUE D'HUILE DE LUBRIFICATION
DES MOTEURS DIESEL : CAS DE LA CENTRALE THERMIQUE
DE FARCHA II, SNE**

**MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE**

Présenté et soutenu publiquement le 29 Sept. 2020 par

OUSMANE Mahamat Sani

Travaux dirigés par : Pr. Yézouma COULIBALY

Enseignant chercheur 2iE, UTER GEI

Ing. Apollinaire BEUDAIBE

CHEF CENTRALE DE FARCHA

Ing. Herman METHONE

Agent Mécanicien de la centrale

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Sayon SIDIBE

Membres et correcteurs : Dr. Edem N'TSOUKPOE
Pr. Yézouma COULIBALY

Promotion [2014/2015]

REMERCIEMENTS

Toute œuvre humaine ne peut être réalisée que par la volonté de DIEU, le tout puissant, celui qui m'a accordé la vie, la force et le courage de pouvoir passer ce stage.

Tout d'abord, je remercie la SNE de manière plus sincère pour l'honneur qu'elle m'a fait, de m'avoir ouvert la porte, accueilli et accepté comme stagiaire dans une de ses centrales, jamais je n'oublierai cet honneur.

Mes remerciements vont particulièrement à

1. Mes encadreurs, Mr apollinaire BAIDEUBE, le chef central de FARCHA et Mr Herman METHONE, l'agent au service mécanique, qui ont bien voulu témoigner leur confiance en me confiant ce sujet de mémoire. Je tiens également à les remercier pour leur encadrement, leurs conseils et leurs orientations sans lesquels ce mémoire n'aurait pas été finalisé ;
2. Mon encadreur 2iE, Pr. Yézouma COULIBALY qui a voulu témoigner sa confiance en acceptant d'encadrer et de suivre ce mémoire ;
3. Mr ALI djalbord Diard, Al Hadj ABAKAR Mahamat et toute sa famille pour leurs orientations et leurs encouragements, qui n'ont cessé de me venir en aide moralement et financièrement et qui m'ont soutenu dans l'accomplissement de mon rêve, celui d'être Ingénieur ;
4. Tout le personnel du service mécanique, électrique et conduite de la centrale de FARCHA, en particulier à Mr Baidi DJOUI le chef de service mécanique, Yakhoub ABBAS et Mr Yves MAHAMAT, pour leur collaboration et leur disponibilité lors de mon passage dans chacun de ces services ;
5. Tous mes parents, mes oncles paternels et maternels, mes frères et sœurs, mes cousins et cousines, mes ami(e)s intimes et proches, mes collègues de MASTER GEE du 2iE de la promotion 2014-2015 pour leurs apports directs ou indirects pendant ma formation ;
6. Tous mes enseignants de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et l'Environnement (2iE).

DEDICACES

*Je dédie ce mémoire à ma défunte mère
KHADJIDJA EL Hadj Séké et mon père
MAHAMAT SANI Ahmadou.*

RESUME

La centrale thermique de Farcha II est constituée de sept (07) moteurs Diesel dont chacun a une puissance nominale de 9,2 MW destinés pour la production d'énergie électrique. Pour leur fonctionnement optimal et leur bonne tenue, ils ont besoin d'être lubrifié avec une huile dépourvue d'impuretés. Sinon leur performance risque d'être impactée tout comme leur durée de vie. Cela dit, la priorité ne devrait être non seulement axée sur la lubrification mais aussi sur un système de séparation, capable de séparer l'huile moteur des impuretés issues de frottement entre les pièces mécaniques.

L'objectif de ce travail a consisté à passer du réchauffeur d'huile à vapeur au réchauffeur d'huile électrique, dans le but de rendre opérationnel le système de séparation d'huile de la centrale thermique de Farcha II. Pour ce faire, l'étude faite a déterminé la puissance thermique (**46,5 kW**) du réchauffeur à vapeur existant. Ensuite pour le passage au réchauffeur électrique, elle a déterminé la puissance électrique (**48,94 kW**) ; la quantité de CO₂ que le système émettrait par jour (**328,87 kg**) et le coût de l'énergie électrique consommée par jour par le réchauffeur (**58728 FCFA**). Puis pour le passage à un brûleur à combustion, nous avons déterminé le volume du combustible à brûler (**37,67 l**) et le coût de combustible à brûler par le brûleur en une journée (**20 643,16 FCFA**). En-fin une proposition sur un système de production de vapeur à partir des capteurs solaires basse température a été faite.

MOTS CLES

Réchauffeur électrique ; Brûleur à combustion ; Puissance thermique ; Emission de CO₂ ; Coût énergétique.

ABSTRACT

The Farcha II thermal power plant consists of seven diesel generator, each of wich has a nominal power of 9,2 MW, wich is entended for the electrical energy production. For their optimal operation and good performance, they need to be lubricated with a pure lube oil. Otherwise, their performance may be impacted as well as their lifetime. That means, the priority should not be only focused on the lubrication but also on a seperation system capable of seperating the oil impurities from friction among the mechanical parts.

The aim of this work is to switch from a steam heater to an electric heater in order to make the oil separation system of Farcha II thermal power plant operational. To do that, the study determined the power (46,5 kW) of existing steam heater. Then for the switch to the electric heater it determined the electric power consumed per day (48,94 kW) ; the amount of CO₂ produced off per day (328,87 kg) and the energy cost consumed per day (58728 FCFA). Then for the switch to combustilbe burner, we determined the volume of fuel burned (37,67 l) ; the cost of fuel burned by day (20 643,16 FCFA). Finally, suggestion for steam from thermal solar has been made.

KEY WORDS

Electric heater ; Combustible burner ; Thermal power ; CO₂ produced off ; Energy cost.

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

CO₂: Dioxyde de carbone

HFO: Heavy Fuel Oil

LFO : Light Fuel Oil

SNE : Société Nationale d'Electricité

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur

FCFA : Franc de la Communauté financière Africaine

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
DEDICACES	ii
RESUME	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
TABLE DES MATIERES	vi
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	ix
I. INTRODUCTION GENERALE.....	1
CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE	1
OBJECTIFS	2
Objectif global	2
Objectifs spécifiques	2
II. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	3
III. DESCRIPTION DU SYSTEME DE SEPARATION DE L'HUILE DE LUBRIFICATION ET DU SYSTEME DE PRODUCTION DE VAPEUR	8
III.1 SYSTEME DE SEPARATION DE L'HUILE DE LUBRIFICATION	8
III.2 SYSTEME DE PRODUCTION DE VAPEUR.....	10
III.2.7 RESERVOIR DE CONDENSAT	12
IV. ETUDE RECHAUFFEUR D'HUILE A VAPEUR EXISTANT	13
IV. 1 DEFINITION.....	13
IV. 2 AVANTAGES ET INCONVENIENTS	14
IV.3 PARAMETRE THERMIQUE DU RECHAUFFEUR.....	14
V. PASSAGE D'UN RECHAUFFEUR A VAPEUR A UN RECHAUFFEUR ELECTRIQUE.....	16
V.1 SYSTEME DE CHAUFFAGE D'HUILE A PARTIR DE L'ELECTRICITE	16
V.2 SYSTEME DE CHAUFFAGE D'HUILE A PARTIR D'UN BRULEUR A COMBUSTION	21
VI. IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET COUT ENERGETIQUE	25
VI.1 IMPACT ENVIRONNEMENTAL	25
1. RECHAUFFEUR ELECTRIQUE.....	26
2. BRULEUR A COMBUSTION	27
VI.2 COUT ESTIMATIF DE L'ENERGIE CONSOMMEE.....	27

1. RECHAUFFEUR ELECTRIQUE.....	27
2. BRULEUR A COMBUSTION	28
VII. PROPOSITION SUR L'UTLISATION D'UN CAPTEUR SOLAIRE POUR PRODUIRE DE LA VAPEUR.....	29
VII.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	29
VIII. CONCLUSION.....	35
RECOMMANDATIONS.....	36
Bibliographie	37
SOMMAIRE DES ANNEXES.....	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques des moteurs de la centrale de FARCHA II.....	5
Tableau 2: Caractéristiques des générateurs de FARCHA II.....	5
Tableau 3: Puissance installée et puissance en fonction de la centrale thermique de Farcha 2. 5	
Tableau 4: Caractéristiques de l'unité de démarrage à froid de la centrale de FARCHA II	6
Tableau 5: Caractéristiques de chaque chaudière du système de récupération de la centrale de FARCHA II.....	12
Tableau 6: Caractéristiques du réchauffeur HEATPAC EHM heater [4].....	17
Tableau 7: Caractéristiques du réchauffeur WATTCO [5].....	18
Tableau 8: Montant global du passage au réchauffeur électrique.....	20
Tableau 9: résultat du passage au système de chauffage par électricité.....	20
Tableau 10: caractéristiques techniques de De Dietrich [6].....	22
Tableau 11: Caractéristiques techniques du brûleur Joannes.....	23
Tableau 12 : Montant global d'utilisation des brûleurs.....	25
Tableau 13: Résultat du passage au système de chauffage à partir du brûleur	25
Tableau 14: Facteur d'émission du kWh par filière de production d'énergie [8].....	26
Tableau 15: Caractéristiques du capteur choisi.....	34
Tableau 16 : caractéristiques de la chaudière d'appoint	34
Tableau 17 : Devis estimatif d'utilisation des capteurs solaires	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1: organigramme de la SNE (centrale thermique de FARCHA)	4
Figure 2: Système de séparation d'huile de lubrification	8
Figure 3: Pompe d'alimentation du séparateur d'huile de lubrification.....	9
Figure 4: Réchauffeur à vapeur du système de séparation d'huile de lubrification.....	9
Figure 5: séparateur centrifuge du système de séparation d'huile de lubrification	10
Figure 6: système de production de vapeur vue simplifiée.....	11
Figure 7: schéma du réchauffeur d'huile à vapeur.....	14
Figure 8: Schéma de base d'un système de chauffage à partir de l'électricité.....	16
Figure 9: Réchauffeur électrique HEATPAC [4].....	17
Figure 10: réchauffeur électrique WATTCO	18
Figure 11: Schéma de base d'un brûleur à combustion	21
Figure 12: Bruleur à combustion De Dietrich [6]	22
Figure 13: Bruleur à combustion Joannes	23
Figure 14: proposition sur l'utilisation d'un capteur solaire	30
Figure 15 : Rendement des capteurs solaires	31

I. INTRODUCTION GENERALE

CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

L'énergie électrique est produite à partir de plusieurs sources d'énergies à savoir : les énergies conventionnelles et les énergies renouvelables. Dans les pays en voie développement comme le Tchad, l'énergie conventionnelle notamment, le LFO ou HFO est utilisée dans les moteurs diesel pour produire l'énergie électrique dont la demande ne cesse d'augmenter. Parfois, ces moteurs diesel sont installés avec un système de récupération de gaz d'échappement pour produire de la vapeur via une chaudière pour faire fonctionner les auxiliaires de ces dernières. La centrale thermique de FARCHA II n'échappe pas à ce système. Elle a été installée en fin 2012 et peut fonctionner avec deux types de combustibles : le LFO au moment du démarrage et à l'arrêt des moteurs et le HFO comme combustible principal.

Malheureusement, il s'avère que le HFO qui existe au Tchad ne répond pas aux spécifications des moteurs de la centrale de FARCHA II. C'est ainsi que le LFO est utilisé comme combustible principal à présent. Cette utilisation du LFO comme combustible principal fait qu'aujourd'hui le système de production de vapeur n'est pas mis en service et ceci n'est pas sans conséquences pour le fonctionnement des certains auxiliaires de la centrale, en particulier le réchauffeur à vapeur de chaque système de séparation d'huile de lubrification.

Compte tenu de la viscosité élevée du HFO et aux particules générés lors des frottements entre les pièces de moteurs, deux systèmes de séparation avaient été prévus avec deux réchauffeurs respectivement pour le HFO et pour l'huile de lubrification pour fonctionner avec la vapeur produite par trois chaudières de récupération et une chaudière auxiliaire qui sert de secours. Parmi les deux réchauffeurs qui viennent d'être cités, il est à noter que les réchauffeurs d'huile de lubrification se doivent d'être opérationnels si la centrale tourne avec du LFO ou du HFO. Pourtant, il se trouve qu'aucun de ces réchauffeurs d'huile de lubrification n'est en service depuis l'installation de la centrale.

De plus, l'utilisation d'huile de lubrification non séparée dans un moteur peut causer plusieurs problèmes et risquerait d'influencer sa performance sous l'angle de la consommation spécifique du LFO et contribuer à l'usure de ses pièces. Face à cet épineux problème qui n'est autre que celui de lubrifier les moteurs de la centrale avec une huile non séparée, la SNE a souhaité restructurer le système de séparation d'huile de tous les moteurs de la centrale en ayant recours à un réchauffeur électrique, c'est dans ce contexte que s'inscrit le présent mémoire.

Pour mener à bien ce mémoire, nous effectuerons dans un premier temps la description du

système de production de vapeur et celui du système de séparation d'huile de lubrification.

Ensuite, la seconde partie sera consacrée à l'étude du réchauffeur à vapeur du système de séparation d'huile de lubrification.

La troisième partie traitera le passage du réchauffeur à vapeur à un réchauffeur électrique.

Et la quatrième partie est réservée à l'étude d'impact environnemental et l'estimation du cout de l'énergie consommée par le réchauffeur.

Enfin, clôt ce mémoire par une proposition suivie d'une conclusion et recommandations.

OBJECTIFS

Objectif global

L'objectif global visé par ce mémoire est de passer d'un réchauffeur à vapeur à un réchauffeur électrique dans le but de mettre en service le système de séparation d'huile de lubrification afin de contribuer au maintien de la performance des moteurs de la centrale thermique de FARCHA II.

Objectifs spécifiques

Il s'agit de :

- Décrire le système de séparation d'huile de lubrification et le système de production de vapeur ;
- Etudier le réchauffeur à vapeur existant ;
- Passer du réchauffeur à vapeur à un réchauffeur électrique d'huile ;
- Estimer la quantité du CO₂ émise et le coût de l'énergie consommée par le réchauffeur électrique ;
- Proposer un système de production de vapeur à partir des capteurs solaires basse température.

II. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

Historique de la SNE

La Société Tchadienne d'Eau et d'Electricité (STEE) était créée par suite d'accord entre l'Etat Tchadien et la caisse centrale de coopération économique ; elle était une société d'économie mixte issue de la Société Equatoriale d'Eau et d'Energie (SEEE).

La SEEE était créée en 1954 par les colons venus d'Europe, à l'époque, le siège se trouvait au Congo Brazzaville. Elle fut un vaste programme pour la production de qualité d'énergie électrique et avait pour vocation première la production d'électricité dans les centres. En ce temps, Fort Lamy (actuel N'Djamena) était considéré comme un centre. Après l'indépendance, d'autres centrales ont été créées : en 1963 à Moundou, en 1966 Fort Archambault (actuel Sarh). La SEEE change de nom en 1968 pour devenir la Société Tchadienne d'Energie Electrique (STEE) où le siège se trouve à Fort Lamy. En 1974, cinq centrales secondaires ont vu le jour, il s'agit du centre de Bongor, Doba, Kelo, Mao et Moussoro.

Lors de la création de STEE en 1968, le contrat de concession qui existait pour la production de l'énergie électrique dans la ville de Fort Lamy fut transféré par l'Etat Tchadien à la STEE. Il fut établi une convention générale de gérance remplaçant les différentes conventions intérieures passées par l'Etat Tchadien et la STEE pour l'exploitation en régie de service public de production et de distribution d'énergie électrique dans les villes du Tchad. Il fut également établi un cahier de charge approuvé en 1968. A Fort Lamy en particulier, l'activité de la STEE s'exerçait dans le cadre de concession pour le secteur de l'énergie électrique. La gérance communément appelée régie faisant l'objet d'une comptabilité particulière dans les écritures de la STEE.

Le projet de fusion entre la régie électrique et la régie des eaux dans les villes du Tchad fut entrepris en 1974 pour aboutir en novembre 1983.

C'est par l'ordonnance N°019/PR/83 du 25/08/1985 que la STEE prend une nouvelle dénomination officielle de Société Tchadienne d'Eau et d'Electricité (STEE). C'était une société mixte à caractère commercial et industriel. Le capital était détenu par l'Etat Tchadien à 81,28% et par l'Agence Française vivendi (DIESTMAN) à 18,72% pour l'amélioration de cette dernière en vue d'une éventuelle privatisation.

Le conseil des ministres du 03/05/2010 a dissout, par la décision de l'Assemblée Extraordinaire la STEE pour voir naître la Société Tchadienne d'Eau (STE) et la Société Nationale d'Electricité qui coexistait indépendamment de nos jours.

Organigramme de la SNE

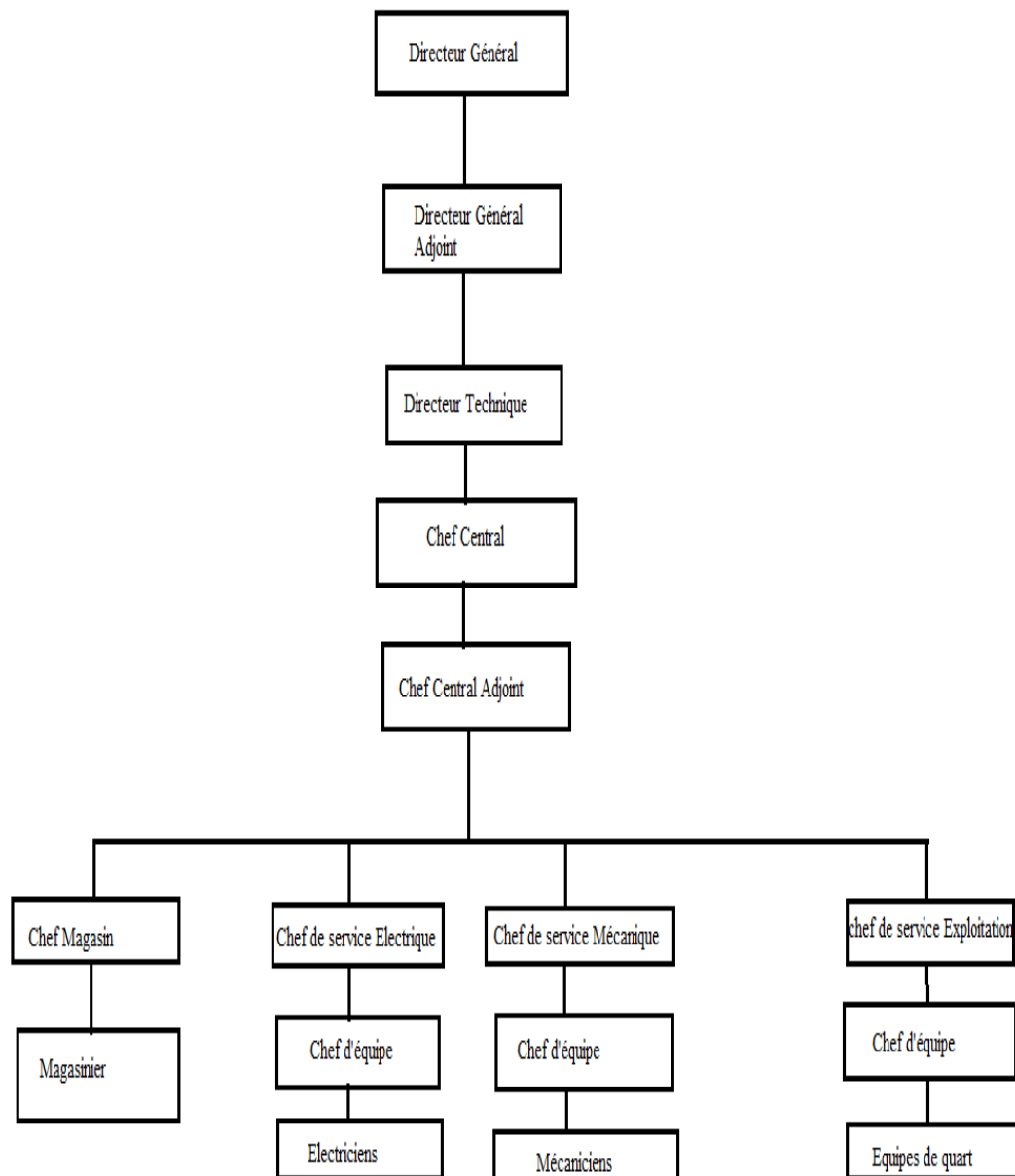


Figure 1: organigramme de la SNE (centrale thermique de FARCHA)

Présentation de la centrale de farcha II

La centrale thermique de FARCHA est constituée de sept moteurs Diesel situés dans la salle machine et les équipements auxiliaires pour la production d'énergie électrique.

- Moteurs : sept moteurs diesel à combustion interne de marque Wartsila. Ils sont équipés d'échangeurs thermiques et une partie de l'équipement auxiliaire, y compris le système de circulation d'huile de lubrification et les pompes à eau de refroidissement. Les caractéristiques de ces moteurs se trouvent le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1: Caractéristiques des moteurs de la centrale de FARCHA II

Désignation	Caractéristique
Type de moteur	W20V32
Nombre de cylindre	20
Alésage de cylindre	320 mm
Régime	750 tr/min
Puissance nominale	9,2 MW
Tension principale	400 V
Sens de rotation	horaire

- Générateurs : chaque moteur entraîne un générateur triphasé synchrone. Dans le tableau 2 se résument les caractéristiques de ces générateurs.

Tableau 2: Caractéristiques des générateurs de FARCHA II

Désignation	Caractéristiques
Type de générateur	ABB AMG
Sortie	11000 kVA
Facteur de puissance	0,8
Tension	15000 V
Courant	429 A
Fréquence	50 Hz

Le tableau (3) ci-après présente la puissance totale installée et la puissance en fonction de la centrale de farcha 2.

Tableau 3: Puissance installée et puissance en fonction de la centrale thermique de Farcha 2

Désignation	Caractéristiques
Puissance installée (MW)	61,4
Puissance en fonctionnement (MW)	60,9

- Salle de traitement des combustibles : cette salle contient les équipements de traitement et de transfert de combustible ainsi que les équipements pour le traitement de l'eau et l'eau huileuse.

- Zone des cuves : c'est une zone qui contient les réservoirs de stockage des combustibles (HFO et LFO), les réservoirs de stockage d'huile de lubrification, les réservoirs d'eau huileuse. Pour éviter la pollution de sol en cas de fuite la zone est entourée d'une digue et des canalisations de drainage.
- Unité de démarrage à froid : c'est un groupe générateur constitué d'un moteur Diesel à quatre temps et un générateur, il sert à fournir l'énergie aux auxiliaires de la centrale au moment de démarrage lors que tous les moteurs sont en arrêt et que le réseau n'est pas sous tension. Les caractéristiques de cette unité sont consignées dans le tableau (4).

Tableau 4: Caractéristiques de l'unité de démarrage à froid de la centrale de FARCHA II

Désignations	caractéristiques
N° de série	201044
Puissance	380 kVA
Tension	400/230 V
Fréquence	50 Hz
Vitesse de rotation	1500 tr/min

LES SYSTEMES AUXILIAIRES DE LA CENTRALE DE FARCHA II

LE SYSTEME DE CIRCULATION DES COMBUSTIBLES

Le système de circulation de combustible a pour fonction de fournir aux moteurs le combustible propre à la pression et à la température correcte. Les moteurs de la centrale de FARCHA II peuvent fonctionner au HFO comme combustible principal et au LFO en situation de démarrage et d'arrêt comme combustible de secours. De ce fait, il existe deux circuits combustibles dont un pour le HFO et un pour le LFO.

SYSTEME D'AIR COMPRI ME

Le système d'air comprimé fournit de l'air à 30 Bars pour le démarrage des moteurs et de l'air comprimé à 7 bars pour le fonctionnement des dispositifs pneumatiques de la centrale.

SYSTEME DE PRODUCTION DE VAPEUR

Le système de production de vapeur produit de la vapeur à partir des gaz d'échappement de trois moteurs de la centrale.

DIFFERENTS SERVICE DE LA CENTRALE DE FARCHA II

La centrale de FARCHA est composée de trois (03) services qui sont :

- Le service mécanique : ce service est chargé de faire le suivi des tous les moteurs en effectuant les maintenances des équipements mécaniques prescrits par le constructeur.
- Le service électrique : ce service est chargé des entretiens et la maintenance des équipements électrique de la centrale
- Le service d'exploitation : ce service est chargé de la commande à distance des équipements de la centrale et il fournit également les rapports journaliers, mensuels et annuels de l'énergie produite, de la consommation spécifique du combustible etc.

Au total une puissance de 61,4 MW a été installé et une puissance de 60,9 MW en fonctionnement normal. Parmi les systèmes auxiliaires de la centrale de Farcha 2 cités ci-hauts, le système de production de vapeur n'a pas été mis en service, donc pas de vapeur. Cela dit, le réchauffeur à vapeur du système de séparation d'huile n'a pas aussi été mis en service. Comme pas de vapeur pour faire fonctionner le réchauffeur à vapeur d'huile de lubrification, la centrale a jugé nécessaire de passer du réchauffeur à vapeur à un réchauffeur électrique. Avant d'affronter ce passage, nous décrirons dans la partie suivante le système de séparation d'huile de lubrification de la centrale de Farcha 2 et celui de la production du vapeur.

III. DESCRIPTION DU SYSTEME DE SEPARATION DE L'HUILE DE LUBRIFICATION ET DU SYSTEME DE PRODUCTION DE VAPEUR

Dans cette partie, nous décrirons deux systèmes dont la première description sera sur le système de séparation d'huile de lubrification et la seconde sur le système de production de vapeur, et enfin ressortir les observations faites lors de la maintenance de 500 heures et 12000 heures du moteur dont nous avons eu l'occasion d'assister.

III.1 SYSTEME DE SEPARATION DE L'HUILE DE LUBRIFICATION

La centrale thermique de FARCHA II, dispose pour la lubrification de ses sept moteurs sept systèmes de séparation de l'huile de lubrification. Chaque système permet de traiter l'huile de lubrification en le séparant des impuretés (les particules solides) contenues dans celle-ci, constitué chacun d'une pompe, d'un réchauffeur à vapeur et d'un séparateur centrifuge. La figure 2 ci-dessous montre le système de séparation d'huile de lubrification.

L'huile est aspirée du moteur par une pompe électrique à 65°C puis refoulée au réchauffeur à vapeur. Dans le réchauffeur, elle est réchauffée à 95° C avec une vapeur saturée produite par les chaudières de récupération (température 165° C et pression 7 bars) pour améliorer la qualité de séparation. Du réchauffeur, elle passe au séparateur où le processus de séparation a lieu. Après la séparation l'huile propre retourne au moteur tandis que les impuretés passent dans un réservoir des impuretés.

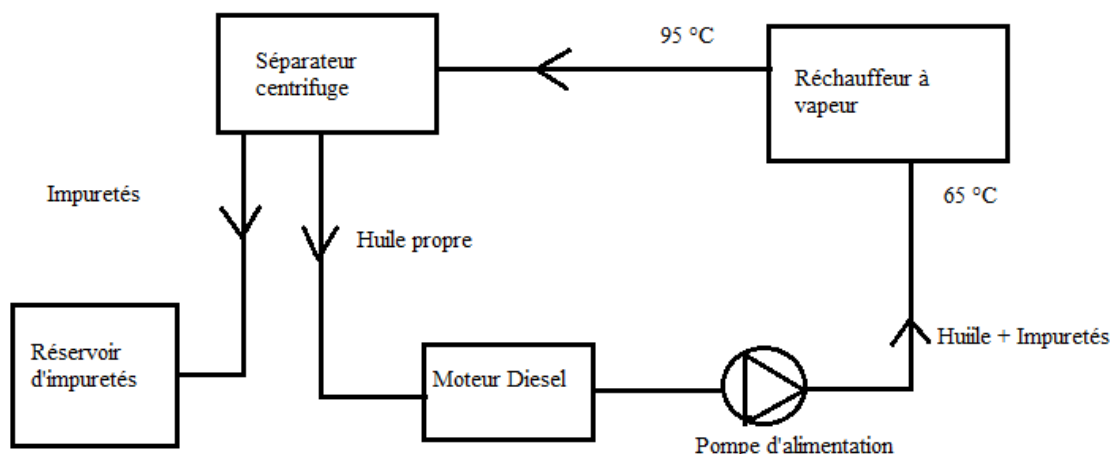


Figure 2: Système de séparation d'huile de lubrification

III.1.1 POMPE D'ALIMENTATION DE L'HUILE DE LUBRIFICATION

Chaque système de séparation a une pompe électrique de capacité (3,1 m³/h) et d'une puissance (1,5 kW) qui aspire l'huile de lubrification du carter pour la refouler vers le séparateur en passant par le réchauffeur à vapeur. La figure 3 ci-après présente la pompe d'alimentation de l'huile de lubrification.

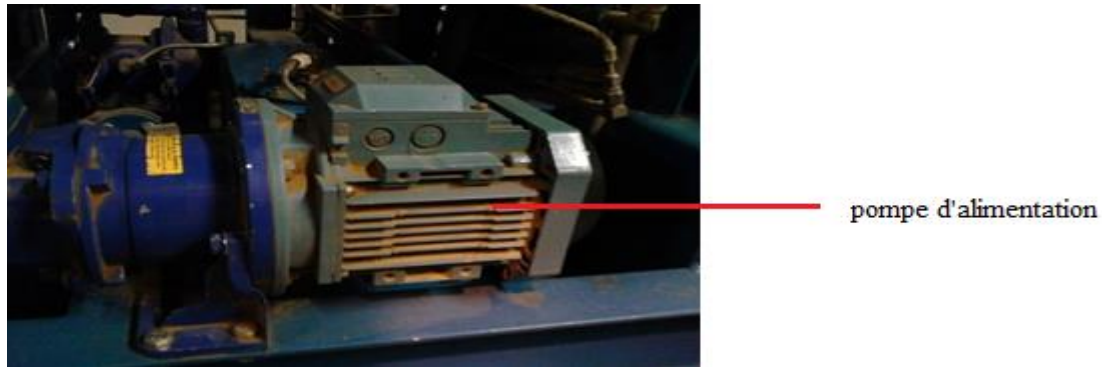


Figure 3: Pompe d'alimentation du séparateur d'huile de lubrification

III.1.2 RECHAUFFEUR A VAPEUR DE L'HUILE DE LUBRIFICATION

Le réchauffeur à vapeur de chaque système de séparation d'huile de lubrification est un échangeur de chaleur à plaque (voir figure 4). Spécialement conçu pour le réchauffage des huiles minérales utilisant la vapeur. Une vanne pneumatique à trois voies est installée entre le réchauffeur et le séparateur centrifuge qui dirige l'huile chauffée vers le carter, lorsque la température requise de séparation n'est pas atteinte, la vanne du côté séparateur se ferme. Au cas contraire, la vanne s'ouvre et l'huile est renvoyée vers le séparateur.

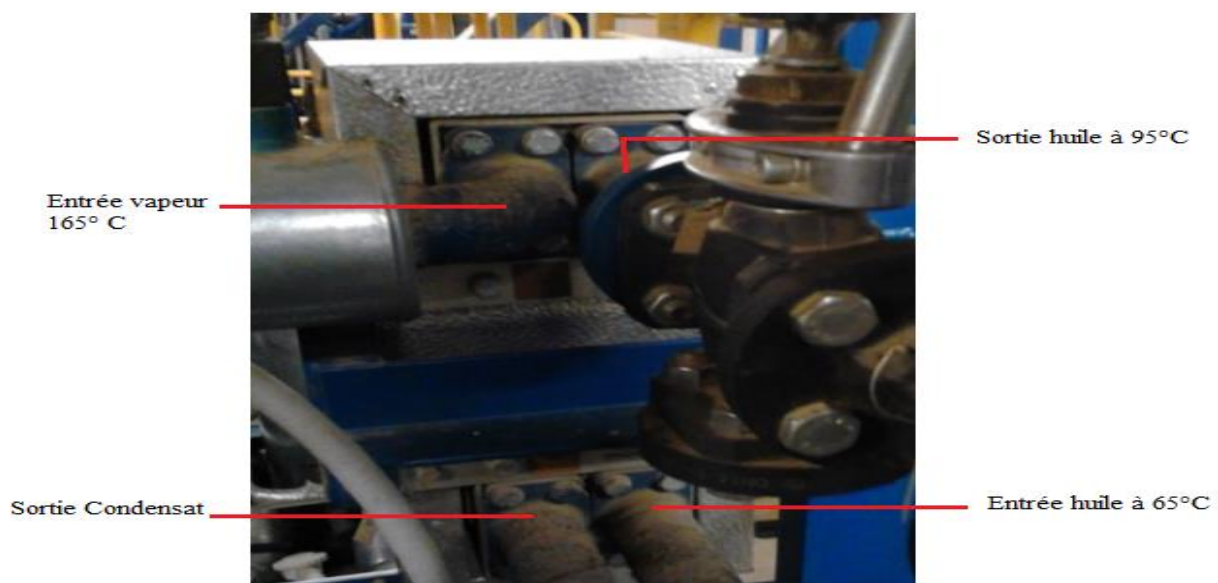


Figure 4: Réchauffeur à vapeur du système de séparation d'huile de lubrification

CARCTERISTIQUES DU RECHAUFFEUR

Les caractéristiques du réchauffeur d'huile de lubrification qu'utilise la centrale FARCHA sont les suivants [1] :

Pression maximale de fonctionnement : 1,6 MPa (16 bar)

Pression de test : 2,4 MPa (24 bar)

Température maximale de fonctionnement : 225°C

Fluide : huile : huile minérale

Vapeur : pH du condensat (8,8-9,2) et teneur en sodium du condensat ($< 0,01$ mg/l)

Eau : valeur de pH neutre

Type de montage : vertical.

III.1.3 SEPARATEUR CENTRIFUGE DE L'HUILE DE LUBRIFICATION

Le séparateur centrifuge du système de traitement d'huile de lubrification présenté dans la figure 5 consiste à épurer l'huile en la séparant des particules solides issues de frottement en les pièces mécaniques du moteur.



Figure 5: séparateur centrifuge du système de séparation d'huile de lubrification

III.2 SYSTEME DE PRODUCTION DE VAPEUR

La vapeur est produite dans la centrale par trois chaudières de récupération à tubes de fumée en récupérant la chaleur résiduelle des gaz d'échappement de trois moteurs (M1, M4 et M5). En dehors de ces trois (03) chaudières, le système comprend une chaudière auxiliaire qui peut être utilisée pour la production de vapeur dans certaines situations et sert de secours pour les chaudières à gaz d'échappement. Elle est mise automatiquement en marche par un panneau de commande au cas où ces chaudières n'arrivent à satisfaire la demande en vapeur. La figure 6 ci-dessous présente le système de production de vapeur.

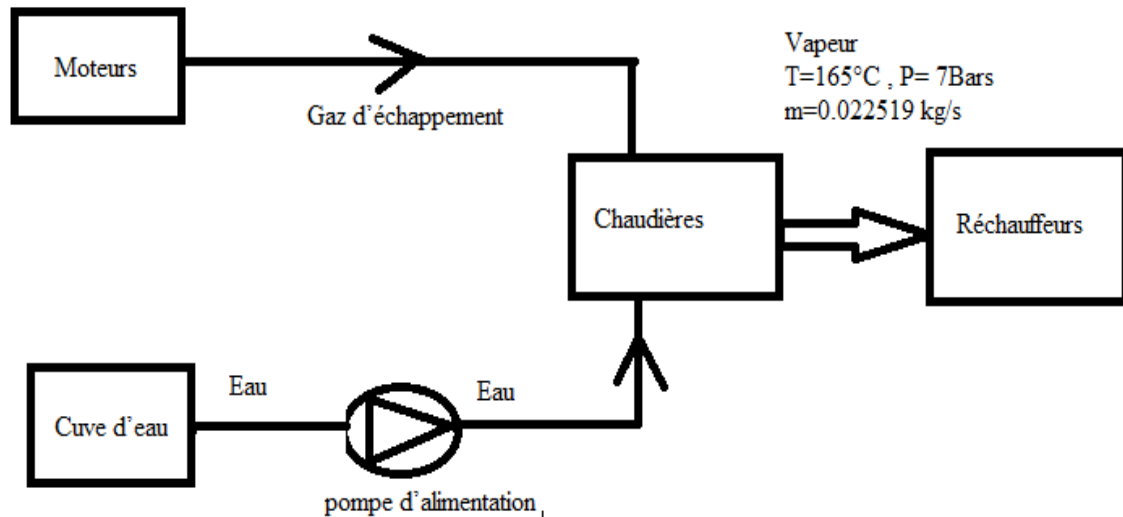


Figure 6: système de production de vapeur vue simplifiée

III.2.1 CUVE D'EAU D'ALIMENTATION

Une (01) cuve d'eau d'alimentation de 7 m³ de volume dans laquelle l'eau traitée, maintenue est pompée par les pompes d'eau d'alimentation vers chaudières.

III.2.2 POMPES D'EAU D'ALIMENTATION

Au total on a deux (02) pompes d'eau d'alimentation montées en parallèle entraînées électriquement, chaque pompe a une capacité de 1.5 m³/h et d'une puissance du moteur de 11 kW. Une pompe fonctionne en continue et à capacité constante pour alimenter les chaudières tandis que l'autre reste en veille.

III.2.3 LES CHAUDIERES DE RECUPERATION

Les trois (03) chaudières de récupération installées à la centrale de FARCHA II sont toutes des chaudières à tubes de fumée horizontale qui récupère une partie de gaz d'échappement issu des trois moteurs (M1, M4 et M5). L'eau traitée provenant de cuve d'eau d'alimentation est pompée vers chaque chaudière où l'eau est chauffée pour produire de la vapeur saturée.

Dans le tableau 5 ci-dessous sont consignées les caractéristiques des trois chaudières de récupération.

Tableau 5: Caractéristiques de chaque chaudière du système de récupération de la centrale de FARCHA II

Chaudière de récupération	
Model	UNEX H (2A)
Type	tube de fumée
Capacité	1700 kW
volume d'eau	6,2 m ³
Pression	7 bars

III.2.4 AMORTISSEUR DE GAZ D'ÉCHAPPEMENT

Les amortisseurs de gaz d'échappement sont installés pour contrôler le flux nécessaire de gaz d'échappement provenant des moteurs vers les chaudières selon le besoin. Ces amortisseurs sont munis d'un système de commande qui s'actionne automatiquement en fonction de la pression des chaudières et de la température des gaz d'échappement.

III.2.5 CHAUDIERE AUXILIAIRE

Une chaudière auxiliaire à tube d'eau de capacité 1500 kg/h qui produit de la vapeur saturée à 165° C et à la pression de 7 bars en chauffant de l'eau au moyen de gaz chaud généré par la combustion du LFO. La vapeur produite par cette chaudière a pour rôle d'assurer la demande au cas où les chaudières de récupération n'arrivent plus à satisfaire le besoin ou en cas de maintenance d'une de trois chaudières. Elle est équipée d'une vanne commandée par un moteur de 7 kW qui régule le débit d'air d'alimentation en fonction de niveau de l'eau dans la chaudière.

III.2.6 COLLECTEUR DE VAPEUR

Un collecteur de vapeur de 0,2 m³ collecte la vapeur saturée à la température de 165°C et à la pression de 7 bars produite par toutes les chaudières de la centrale et la distribue aux consommateurs (réchauffeurs).

Le collecteur est constitué d'une soupape d'entrée et sortie, d'un équipement de surveillance de pression et une conduite de purge avec une vanne manuelle et un piège à vapeur.

III.2.7 RESERVOIR DE CONDENSAT

Un réservoir de condensat de 1 m³ de volume, collecte le condensat revenant du système de distribution de vapeur, à partir duquel l'eau est pompée vers le réservoir d'eau d'alimentation en passant par un détecteur d'huile. L'unité de pompage comprend deux pompes de 2,2 kW de puissance et de 6,2 m³/h de capacité dont une pompe est en veille et l'autre se met en marche

automatiquement en fonction du niveau de condensat dans le réservoir.

III.3 CONSTATATIONS GENERALES SUR LES ORGANES DU MOTEUR

Lors de la maintenance de 500 heures (voir annexe 1) et 12000 heures (voir annexe 2), nous avons constaté quelques soucis inattendus qui auraient pu être évités si l'huile de lubrification était séparée. Ces soucis seront cités en deux points à savoir :

Maintenance de 500 heures

1. Formation d'une couche de boue d'huile sur la partie intérieure du couvercle du filtre centrifuge, réduisant l'efficacité de filtration et le temps de maintenance à 200 heures au lieu de 500 heures prévue par le constructeur.

Maintenance de 12000 heures

2. Encrassement du refroidisseur de l'huile par la boue d'huile en forme de patte, réduisant l'efficacité de refroidissement d'une part et d'autre part on assiste à une augmentation du cout de maintenance de ce dernier ;
3. Début de cavitation et grippages sur la mèche de la pompe à vis d'alimentation de l'huile entraînant une mauvaise lubrification des pièces du moteur et conduisant au remplacement de la pompe en question ;
4. Formation de dépôts de calamine sur les têtes de pistons ;
5. Usure de tous les segments, les joints d'étanchéité et les joints toriques de pompes injecteurs coté A et B.

Au regard de tous ces soucis, nous craignons de n'avoir d'autres choix que de passer à un réchauffeur électrique. Avant ce passage, nous étudierons dans les lignes qui suivent le réchauffeur à vapeur existant du système de séparation d'huile de lubrification.

IV. ETUDE RECHAUFFEUR D'HUILE A VAPEUR EXISTANT

Dans cette partie, nous étudierons le réchauffeur à vapeur du système de séparation d'huile de lubrification qui est un échangeur de chaleur. Plus précisément, nous déterminerons sa puissance thermique.

IV. 1 DEFINITION

Le réchauffage d'huile de lubrification des moteurs diesel de la centrale thermique de Farcha II a lieu dans un réchauffeur d'huile à vapeur qui est un échangeur de chaleur à plaques à contre-courant. La vapeur provenant des chaudières cède sa chaleur à l'huile pour la porter de 65°C à 95°C. La figure 7 ci-dessous présente le schéma du réchauffeur d'huile à vapeur.

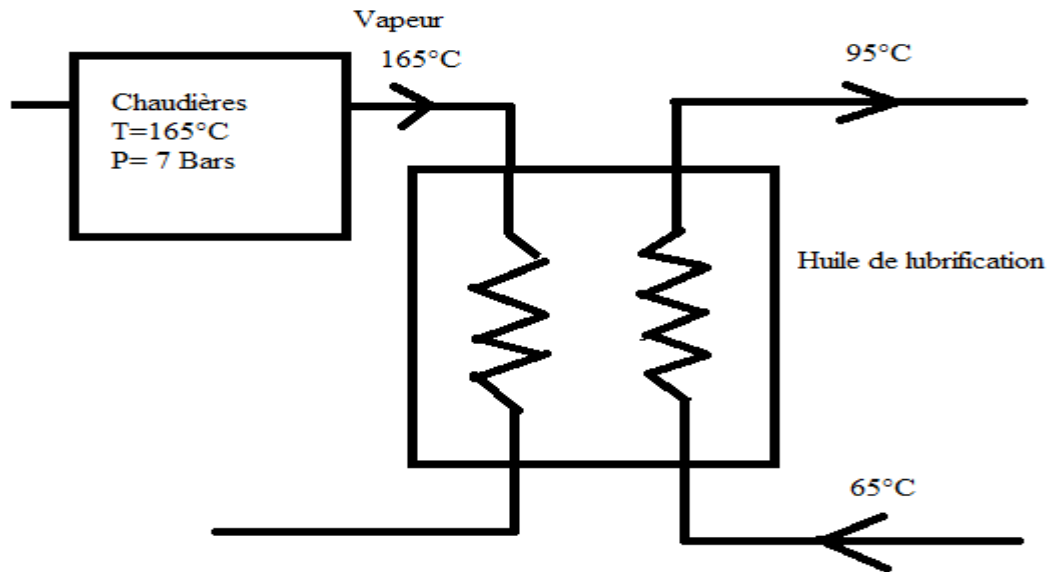


Figure 7: schéma du réchauffeur d'huile à vapeur

IV. 2 AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Les avantages et inconvénients de ce réchauffeur d'huile à vapeur sont présentés dans le tableau 6 ci-dessous :

Tableau 6 : Avantages et inconvénients du réchauffeur à vapeur [2]

Avantages	Inconvénients
Liquides visqueux possible	Puissances limitées
liquides avec particules	Pression maximale de 2,5 MPa
Encrassement réduit	Température maximale de 500°C
Aucun isolant nécessaire	Température maximale générale 200° C
	Difficultés d'entretien et de réparation

IV.3 PARAMETRE THERMIQUE DU RECHAUFFEUR

Nous déterminerons dans ce paragraphe la puissance thermique utile pour réchauffer notre huile de lubrification et le débit massique de la vapeur.

IV.3.1 PUISSANCE THERMIQUE DU RECHAUFFEUR

Puissance échangée coté huile

La puissance échangée coté huile est proportionnelle au débit massique, à la chaleur spécifique et à la différence de température. Elle s'exprime par l'équation (1) ci-dessous :

$$P_h = \dot{m}_h * C_h * (T_{sh} - T_{eh}) \quad (1)$$

Où

P_h : Puissance échangée coté huile (kW) ;

$\dot{m}_h$: Débit massique (kg/s) ;

C_h : Chaleur spécifique huile (kJ.kg⁻¹K⁻¹) ;

T_{sh} : Température sortie huile (°C) ;

T_{sh} : Température entrée huile (°C) ;

DONNEES [3] :

Température sortie huile : 95° C ;

Température entrée huile : 65° C ;

Chaleur spécifique : 2 kJ.kg⁻¹.K ;

Masse volumique : 900 kg/m³ ;

Débit volume : 3100 l/h

Débit massique : 2790 kg/h.

APPLICATION NUMERIQUE

$$P_h = \frac{2790}{3600} * 2 * (95 - 65) = 46,5 \text{ kW}$$

PUISSANCE ECHANGE COTE VAPEUR

La puissance échangée coté vapeur est le produit du débit massique et la chaleur latente d'évaporation. Elle s'exprime par l'équation (2) ci-dessous :

$$P_h = P_v = \dot{m}_v * L_{ev} \quad (2)$$

Où

P_v : Puissance échangée coté vapeur (kW) ;

$\dot{m}_v$: Débit massique vapeur (kg/s) ;

L_v : Chaleur latente (kJ/kg)

DONNEES

Puissance thermique coté huile : 46,5 kW ;

Chaleur latente : 2064,92 kJ/kg.

APPLICATION NUMERIQUE

$$\dot{m} = \frac{46,5}{2064,92} = 0,022519 \text{ kg/s}$$

L'étude du réchauffeur à vapeur du système de séparation d'huile de lubrification des moteurs diesel de la centrale thermique de Farcha II a permis de déterminer sa puissance thermique. Installés (les réchauffeurs) dans le but de réchauffer l'huile de lubrification à partir de la vapeur produite par les chaudières de récupération, malheureusement aucun d'entre eux n'est mis en service, parce qu'il n'y a de vapeur et mettre ces réchauffeurs en service revient à dire qu'il faut aussi mettre toutes ces chaudières en service dont le cout de maintenance serait élevé.

Connaissant la puissance thermique et les températures d'entrée et sortie d'huile, dans la partie suivante de ce mémoire nous passerons du réchauffeur à vapeur à un réchauffeur électrique.

V. PASSAGE D'UN RECHAUFFEUR A VAPEUR A UN RECHAUFFEUR ELECTRIQUE

Cette partie portera sur le passage d'un réchauffeur à vapeur d'huile de lubrification des moteurs diesel à un réchauffeur électrique, dans le but de rendre opérationnel le système de séparation d'huile lubrification.

Hormis le système de chauffage d'huile de lubrification des moteurs diesel à partir de la vapeur, il existe bien d'autres systèmes qui peuvent aussi réchauffer cette dernière à partir de l'électricité ou à partir d'un brûleur à combustion à gaz ou à fuel.

V.1 SYSTEME DE CHAUFFAGE D'HUILE A PARTIR DE L'ELECTRICITE

Le système de chauffage à partir de l'électricité est un système qui permet de chauffer un fluide, un gaz ou un local grâce à une résistance électrique qui produit de la chaleur lors qu'elle est parcourue par un courant électrique. Ce phénomène s'appelle l'effet joule.

Il existe plusieurs technologies de réchauffeurs électriques, mais pour cette étude, nous tenons à décrire deux technologies spécifiquement conçues pour le chauffage d'huiles minérales dont notre huile de lubrification en fait partie. La figure 9 ci-dessous montre le schéma de base d'un système de chauffage à partir de l'électricité.

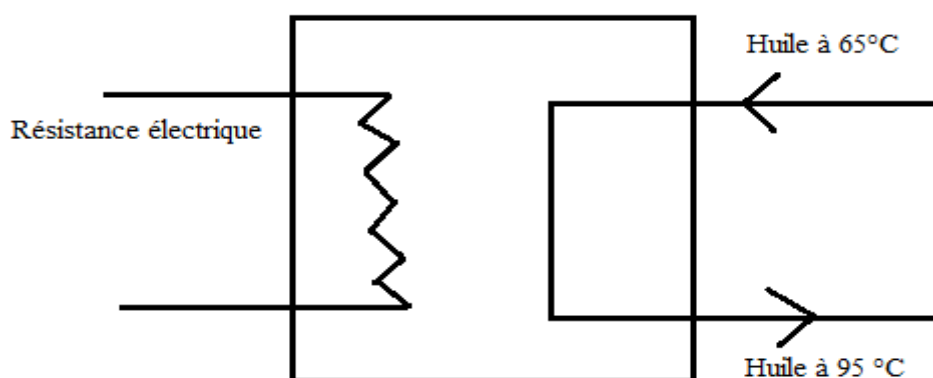


Figure 8: Schéma de base d'un système de chauffage à partir de l'électricité

V.1.1 DIFFERENTES TECHNOLOGIES

Nous allons décrire la technologie HEATPAC EHM Heater et WATTCO ensuite pour chaque technologie nous donnerons ses caractéristiques techniques et en fin nous déterminerons la puissance électrique et les pertes, l'énergie électrique et estimer le coût d'investissement de la technologie choisie.

➤ HEATPAC EHM Heater

Le HEATPAC est un système automatique de chauffage à partir de l'électricité qui chauffe toutes les huiles minérales dont les viscosités sont élevées.

Il est constitué d'un élément chauffant (résistance électrique), d'un manomètre à l'entrée, d'une sonde de température à la sortie et d'un boîtier électrique dans lequel se trouve une unité de contrôle du courant électrique fournit à la résistance électrique. La figure 10 ci-dessous montre le réchauffeur HEATPAC.

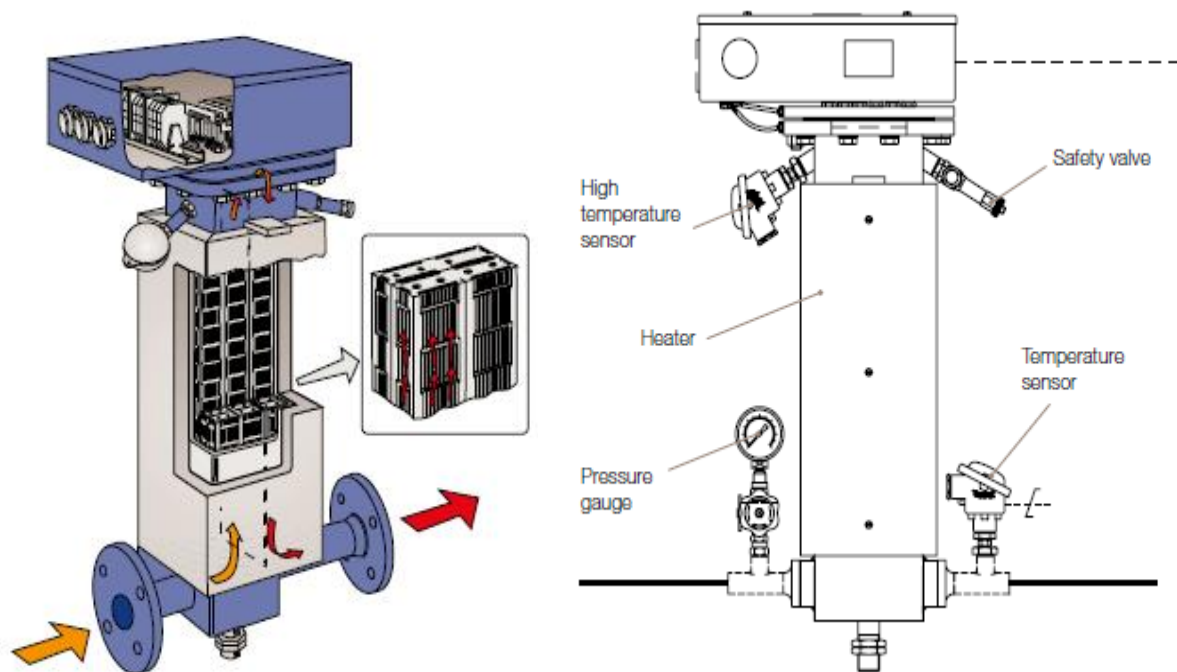


Figure 9: Réchauffeur électrique HEATPAC [4]

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Dans le tableau 7 ci-dessous sont consignées les caractéristiques techniques du HEATPAC EHM Heater.

Tableau 6: Caractéristiques du réchauffeur HEATPAC EHM heater [4]

Désignations	valeurs
Puissance (kW)	50
Température maximale (°C)	160
Température ambiante maximale (°C)	55
Fréquence (Hz)	50/60

Tension d'alimentation (V)	380
Tension d'alimentation d'unité de contrôle (VDC)	24
Pression maximale de fonctionnement (bar)	15
Pression maximale de test (bar)	22
Rendement (%)	95

➤ WATTCO

WATTCO est un dispositif électrothermique utilisé dans les industries pour le chauffage d'huiles, pétrole, graisse etc. il est constitué d'éléments chauffants contenu dans un vaisseau cylindrique, d'une entrée et d'une sortie, d'une vanne de sécurité, d'un module de contrôle qui permet de maintenir la température souhaitée à la sortie du dispositif. La figure 11 ci-dessous présente le réchauffeur WATTCO.



Figure 10: réchauffeur électrique WATTCO

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Dans le tableau 8 ci-dessous sont consignées les caractéristiques techniques du réchauffeur WATTCO.

Tableau 7: Caractéristiques du réchauffeur WATTCO [5]

Désignations	valeurs
Puissance (kW)	50
Température maximale (°C)	120
fréquence (Hz)	50/60
tension d'alimentation (V)	380
tension d'alimentation d'unité de contrôle (VDC)	24
Classe de protection	IP65

V.1.2 PUISSANCE ELECTRIQUE

La puissance électrique c'est le rapport entre la puissance utile et le rendement. Elle est déterminée par l'équation (3) ci-dessous :

$$P_{elec} = \frac{P_u}{\eta} \quad (3)$$

Où

P_{elec} : Puissance électrique (kW) ;

P_u : Puissance utile (kW) ;

η : Rendement (%).

V.1.3 ENERGIE ELECTRIQUE CONSOMMEE

L'énergie électrique consommée est le produit de la puissance électrique et le temps de fonctionnement. Elle s'exprime par l'équation (4) ci-dessous :

$$E_{elec} = P_{elec} * T \quad (4)$$

Où

P_{elec} : Puissance électrique (kW) ;

T : Temps de fonctionnement (h)

V.1.4 PERTES

Les pertes sont égales à la différence entre la puissance électrique et la puissance utile. Elles s'expriment par l'équation (5) ci-dessous :

$$P = P_{elec} - P_u \quad (5)$$

Où

P : Pertes (kW) ;

P_{elec} : Puissance électrique (kW) ;

P_u : Puissance utile (kW)

APPLICATION NUMERIQUE

PUISSANCE ELECTRIQUE

DONNEES :

Puissance utile : 46,5 kW ;

Rendement : 95%

$$P_{elec} = \frac{46,5}{0,95} = 48,94 \text{ kW}$$

PERTES

$$P = 48,94 - 46,5 = 2,44 \text{ kW}$$

ENERGIE ELECTRIQUE CONSOMMEE

DONNEES :

Le temps de fonctionnement est déterminé en fonction du nombre d'heures du Groupe Diesel 4. Ce groupe Diesel a réalisé 12000 heures de fonctionnement en quatre (04) ans, soit huit (08) heures du temps par jour.

Temps de fonctionnement : 8 heure / jour

$$E_{\text{elec}} = 48,94 * 8 = 391,52 \text{ kWh/Jour}$$

DEVIS ESTIMATIF

Le tableau 8 ci-dessous résume le montant global du passage au réchauffeur électrique et celui de main d'œuvre d'installation.

Tableau 8: Montant global du passage au réchauffeur électrique

Désignations		Quantité	Prix unitaire (FCFA)
Réchauffeur électrique Heatpac	Référence	1	2 925 000
	1761646-01		
Montant total (FCFA)		2 925 000	
Main d'œuvre (FCFA)		2 92 500	
Total (FCFA)		3 217 500	

Le montant total du passage aux réchauffeurs électriques s'élève à 3 217 500 Fcfa.

V.1.5 RESULTAT

Dans le tableau 9 ci-après sont consignés la puissance électrique, les pertes thermiques ainsi que l'énergie électrique du réchauffeur électrique.

Tableau 9: résultat du passage au système de chauffage par électricité

DESIGNATIONS	VALEURS
Puissance électrique (kW)	48,94
Pertes thermiques (kW)	2,44
Energie électrique consommée (kWh)	391,52

Le passage du réchauffeur à vapeur à un réchauffeur électrique a permis de déterminer la puissance électrique et l'énergie électrique consommée. Produire 46,5 kW à partir de l'électricité consommerait 391,52 kWh pour huit (08) du temps de fonctionnement par jour. Le coût de l'énergie serait de 58 728 FCA par jour à raison de 150 FCFA le kWh, très cher en termes de cout, et surtout, vu que l'énergie électrique nationale au TCHAD est à 100% produite

à partir de l'énergie fossile (fuel) qui est la principale source d'émission de gaz à effet de serre, donc très mauvais aussi pour l'environnement.

Dans le paragraphe suivant, nous proposerons l'utilisation d'un brûleur à combustion dont les 46,5 kW viendraient directement du PCI du combustible donc moins cher en termes de coût.

V.2 SYSTEME DE CHAUFFAGE D'HUILE A PARTIR D'UN BRULEUR A COMBUSTION

Le système de chauffage d'huile à partir d'un brûleur à combustion est un dispositif mécanique qui permet de produire la chaleur en assurant un mélange entre un combustible liquide (fuel, huile...), solide (déchets biomasse broyés) ou gazeux (méthane, butane...) avec de l'air. La figure 12 ci-dessous, montre le schéma de base d'un brûleur à combustion.

Dans le cadre de cette étude, nous optons pour un brûleur à combustible fuel.

En effet, il existe plusieurs technologies des brûleurs à fuel, mais nous ne décrivons que quelques-uns. Et en fin déterminer le débit massique du combustible et le volume du combustible à brûler.

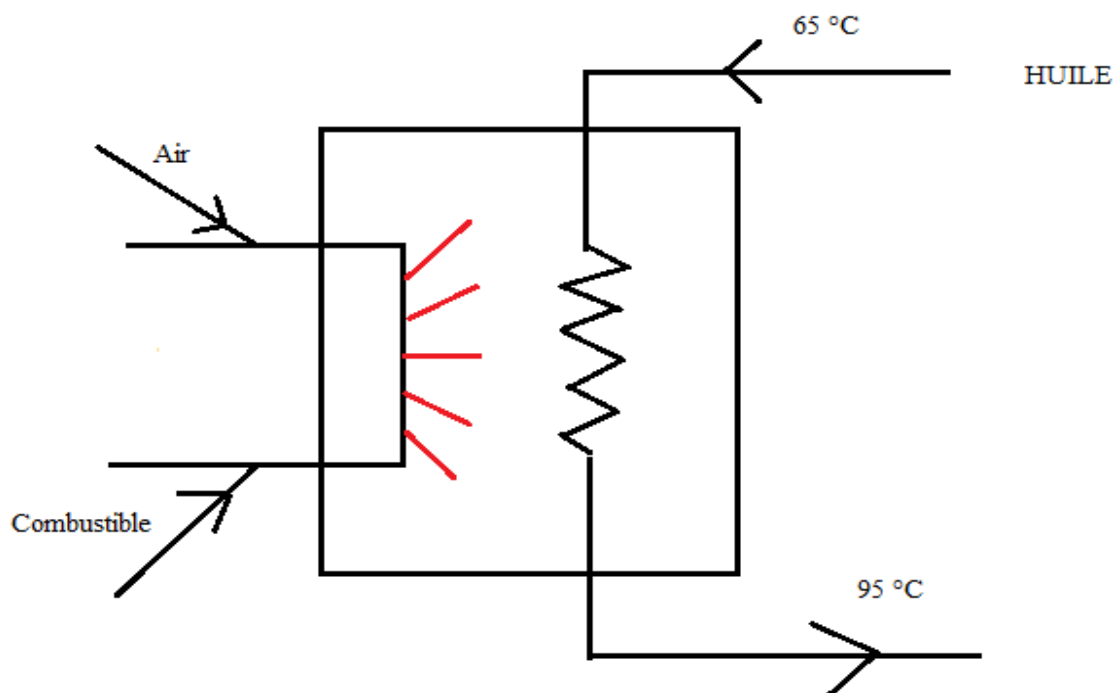


Figure 11: Schéma de base d'un brûleur à combustion

V.2.1 DIFFERENTES TECHNOLOGIES

La technologie De Dietrich et Joannes seront décrites en premier lieu dans le paragraphe ci-dessous, ensuite nous donnerons les caractéristiques techniques de chaque technologie.

➤ De Dietrich

De Dietrich est un brûleur à combustion constitué principalement d'un caisson d'air, d'un bouton de réglage de volet d'air, d'une pompe à fuel équipée d'un moteur électrique, d'un transformateur d'allumage, d'un coffret de contrôle et de sécurité avec bouton de réarmement qui contrôle le quantité fuel et l'air injecté et d'une tête de combustion. La tête de combustion c'est le lieu où la combustion a lieu, elle est constituée d'un réchauffeur fioul, d'électrodes d'allumage, d'un gicleur et d'un tabulateur.

La figure 13 ci-dessous présente le brûleur De Dietrich.

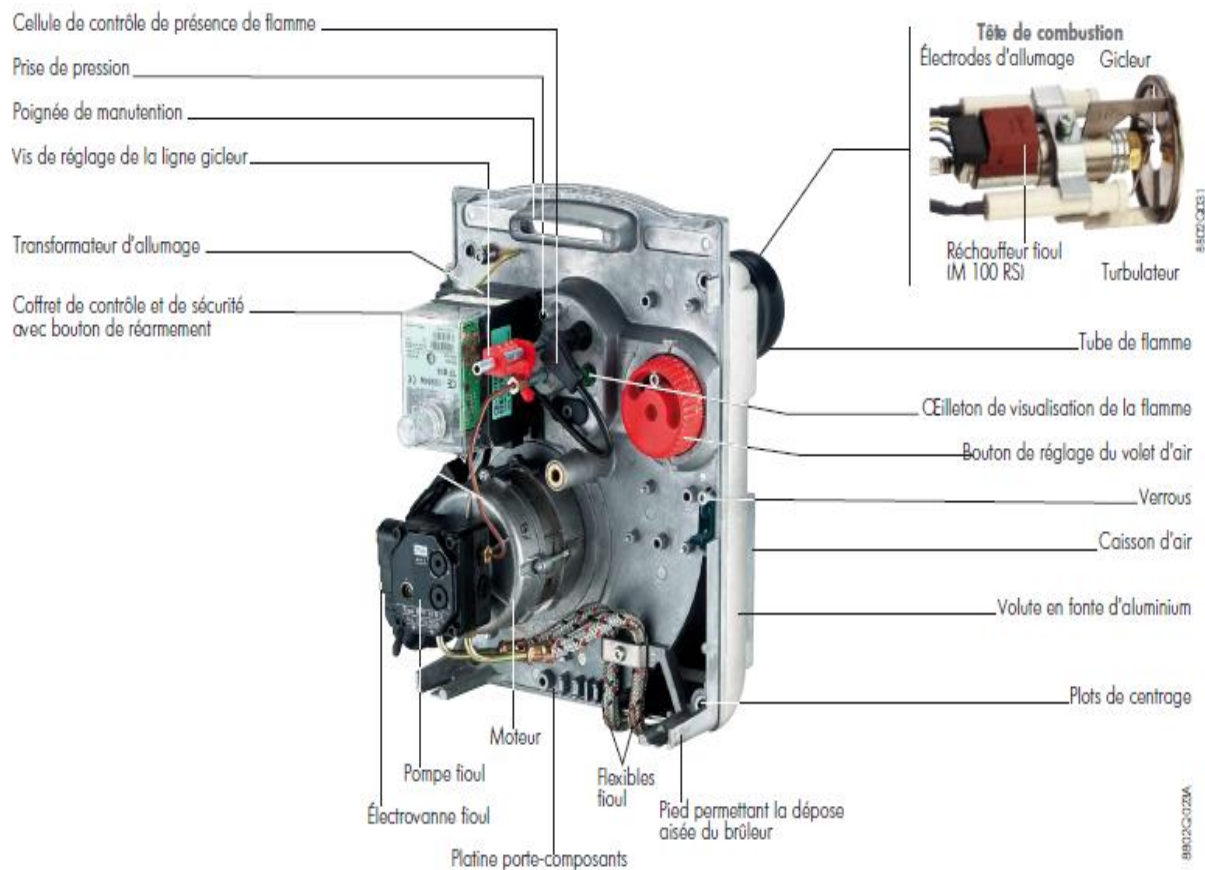


Figure 12: Brûleur à combustion De Dietrich [6]

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Dans le tableau 10 ci-dessous sont consignées les caractéristiques techniques du réchauffeur De Dietrich.

Tableau 10: caractéristiques techniques de De Dietrich [6]

Désignations	valeurs
Puissance brûleur (kW)	50

pression fioul (kg/h)	4,2
Pression foyer (mbar)	1,4
puissance moteur (W)	150
Poids net (kg)	18
Fréquence (Hz)	50 / 60
rendement (%)	94

➤ Joannes

Joannes est un bruleur à combustion qui utilise du fuel comme combustible. Constitué d'une pompe à fuel qui refoule le fuel vers la tête de combustion, d'un moteur qui alimente la pompe, d'un transformateur de tension, d'un dispositif de réglage d'air pour assurer une bonne combustion, d'un module de contrôle et d'une tête de combustion. La figure 14 ci-dessous présente le bruleur Joannes.



Figure 13: Bruleur à combustion Joannes

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Dans le tableau 11 ci-dessous sont consignées les caractéristiques techniques du réchauffeur De Dietrich.

Tableau 11: Caractéristiques techniques du bruleur Joannes

Désignations	valeurs
Puissance bruleur (kW)	50
débit massique (kg/h)	4,5
Pression foyer (mbar)	1,8
puissance moteur (W)	100
Pression pompe (Bar)	230
Fréquence (Hz)	50
Poids net (kg)	12

V.2.2 DEBIT MASSIQUE DU COMBUSTIBLE

Le débit massique du combustible est égal à la puissance utile divisé par le produit du PCI et le rendement. Il s'exprime par l'équation (6) ci-dessous [7] :

$$m = \frac{P_u}{PCI \cdot \eta} \quad (6)$$

Où

m : Débit massique du combustible (kg/s) ;

P_u : Puissance utile (kW)

PCI : Pouvoir calorifique inférieur (kcal/kg).

DONNEES

PCI : 10500 kcal/kg ;

Puissance utile : 46,5 kW ;

Rendement : 94 %

APPLICATION NUMERIQUE

$$m = \frac{46,5}{\left(\frac{10500}{860}\right) * 0,94}$$

$$m = 4,05 \text{ kg/h}$$

V.2.3 VOLUME DU COMBUSTIBLE

Le volume du combustible est égal au rapport entre la masse du combustible et la masse volumique du combustible. Il s'exprime par l'équation (7) ci-dessous :

$$V = \frac{m}{\varphi} \quad (7)$$

Où

V : Volume (m³) ;

φ : Masse volumique (kg/m³) ;

DONNEES

Masse volumique du fuel : 860 kg/m³

Masse : 32,4 kg

APPLICATION NUMERIQUE

$$V = \frac{32,4}{860} = 37,67 \text{ Litres/jour}$$

DEVIS ESTIMATIF

Le tableau 12 ci-dessous résume le montant global d'utilisation des brûleurs et celui de main d'œuvre d'installation.

Tableau 12 : Montant global d'utilisation des brûleurs

Désignations		Quantité	Prix unitaire (FCFA)
Brûleur De Dietrich	Référence G 100 S	1	259 350
Montant total (FCFA)		259 350	
Main d'œuvre (FCFA)		25 935	
Total (FCFA)		285 285	

Le devis estimatif total d'utilisation des brûleurs s'élève à 285 285 Fcfa.

RESULTAT

Dans le tableau 13 ci-après sont consignés la masse du combustible et le volume du combustible brûlé.

Tableau 13: Résultat du passage au système de chauffage à partir du brûleur

DESIGNATIONS	VALEURS
Masse du combustible (kg)	32,4
Volume du combustible (l)	37,67

Le passage à un brûleur de combustion a permis de déterminer la masse du combustible et le volume du combustible à brûleur. Dans la partie suivante, nous estimerons l'impact environnemental et le coût d'énergie pour savoir laquelle des deux solutions est moins coûteuse en termes de coût d'énergie et moins polluante.

VI. IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET COUT ENERGETIQUE

Dans cette partie nous évaluerons la quantité de CO₂ émise par chacune de solution envisagée dans la partie précédente et puis nous estimerons le coût de l'énergie électrique consommée par le réchauffeur électrique et le coût du volume du combustible brûlé par le brûleur à combustion.

VI.1 IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Il s'agit de faire un bilan environnemental afin de pouvoir déterminer les émissions du

réchauffeur électrique et celui du bruleur à combustion.

En tenant compte de préoccupation récente de ces dernières années sur l'environnement, nous pouvons citer trois types d'émissions :

1. Les émissions de substances appauvrissant la couche d'ozone ;
2. Les polluants affectant la qualité de l'air, sous-sol, l'eau ;
3. Les émissions entraînant un renforcement de l'effet de serre.

Parmi ces émissions, celle qui joue un rôle primordial dans les procédés énergétiques est celle qui entraîne le renforcement de l'effet de serre. Afin de caractériser ces émissions, le GWP₁₀₀ (Global Warning Potential) qui correspond à cent (100) ans a été introduit et l'émission pris en compte est le CO₂.

Dans le tableau 13 ci-dessous sont présentés la quantité de CO₂/kWh émises de différentes filières de production d'énergie.

Tableau 14: Facteur d'émission du kWh par filière de production d'énergie [8]

facteur d'émission du kWh par filière de production, ACV	g CO ₂ /kWh moyen
Fuel	840
Gaz	600
Charbon	1040
Nucléaire	12
Hydraulique	24
Eolien	11
Solaire PV	48
Solaire CSP	27
Biomasse	234

Connaissant le coefficient d'émissions, nous pouvons déterminer la quantité de CO₂ émise par le réchauffeur électrique ainsi que celle du bruleur à combustion.

1. RECHAUFFEUR ELECTRIQUE

Nous déterminerons la quantité du CO₂ émise par l'équation (8) ci-dessous. Elle est égale au produit de l'énergie consommée et l'équivalent du CO₂ émis par kilowatt heure.

$$Q_{CO_2rech\ elec} = E_{elec} * Eq_{CO_2} \quad (8)$$

Où

$Q_{CO_2rech\ elec}$: Quantité CO₂ émis (g) ;

E_{elec} : Energie électrique consommée (kWh) ;

Eq_{CO_2} : Equivalent CO2 émis (gCO2/kWh).

DONNEES

Energie électrique : 379,59 kWh ;

Equivalent CO2 émis : 0,840 kgCO2/kWh.

APPLICATION NUMERIQUE

$$Q_{CO_2 \text{ rech élec}} = 391,52 * 0,84 = 328,87 \text{ kg/jour}$$

2. BRULEUR A COMBUSTION

Pour le brûleur à combustion, la quantité du CO2 émis est égale au produit du PCI, la masse du combustible utilisé et du l'équivalent du CO2 émis par kWh par le bruleur (300 g/kWh [9]), elle s'exprime par la formule (9) ci-dessous.

$$Q_{CO_2 \text{ bruleur}} = PCI * m * Eq_{CO_2} \quad (9)$$

Où

$Q_{CO_2 \text{ brûleur}}$: Quantité CO2 émis par le bruleur (g) ;

PCI : Pouvoir calorifique inferieur (kcal/kg) ;

m : Masse du combustible (kg).

DONNEES

PCI : 10500 kcal/kg ;

Eq_{CO_2} : 300 g/kWh ;

APPLICATION NUMERIQUE

$$Q_{CO_2 \text{ brûleur}} = \frac{10500}{860} * 32,4 * 0,3 = 14,83 \text{ kg/Jour}$$

VI.2 COUT ESTIMATIF DE L'ENERGIE CONSOMMEE

Nous estimerons le coût de l'énergie consommée par le réchauffeur électrique ainsi que celui du brûleur à combustion. Pour le réchauffeur électrique, le coût sera estimé en fonction du prix de kWh qui est de 150 francs CFA/kWh, quant au brûleur à combustion, le coût de l'énergie consommée sera estimé en fonction du prix fuel qui est de 548 francs CFA/litre.

1. RECHAUFFEUR ELECTRIQUE

Le coût de l'énergie électrique consommée par le réchauffeur électrique est égal à l'énergie électrique consommée multipliée par le prix du kWh. Il est exprimé par la formule (10) ci-dessous :

$$C_{\text{éner élec rech.élect}} = E_{elec} * P_{kWh} \quad (10)$$

Où

Céner élec_{rech.élect} : Coût énergie électrique consommée (F CFA) ;

E_{élec} : Energie électrique consommée (kWh) ;

P_{kWh} : Prix du kWh (F FCA/kWh).

DONNEES

E_{élec} : kWh : 391,52 kWh;

P_{kWh} : 150 F CFA/kWh;

APPLICATION NUMERIQUE

Céner élec_{rech.élect} = 391,52 * 150 F CFA/Jour

2. BRULEUR A COMBUSTION

Le coût de l'énergie thermique consommée par le brûleur à combustion est égal au volume du combustible utilisé multipliée par le prix du fuel. Il est exprimé par la formule (11) ci-dessous :

$$\text{Céner therm}_{\text{bruleur}} = V * P_{\text{fuel}} \quad (11)$$

Où

Céner therm_{bruleur} : Cout énergie thermique consommée (F CFA) ;

V : Volume du combustible (l) ;

P_{fuel} : Prix du fuel (F FCA/litre).

DONNEES

P_{fuel} : 548 FCFA/l ;

V : 37,67 l.

APPLICATION NUMERIQUE

Céner therm_{bruleur} = 37,67 * 548 = 20 643, 16 FCFA/Jour

L'étude d'impact environnement et coût d'énergie consommée des deux systèmes de chauffage qu'il soit à partir de l'électricité ou à partir d'un brûleur à combustion a permis de savoir que le système de chauffage à partir d'un bruleur émet le moins de CO2 comparé au système de chauffage à partir de l'électricité. Quant au coût d'énergie nous pouvons aussi dire que le système chauffage à partir d'un brûleur coute moins cher que celui à partir de l'électricité

Dans le paragraphe suivant, nous proposerons l'utilisation des capteurs solaire basse température pour produire de la vapeur et réchauffer l'huile à partir de cette dernière.

VII. PROPOSITION SUR L'UTILISATION D'UN CAPTEUR SOLAIRE POUR PRODUIRE DE LA VAPEUR

Les énergies renouvelables à savoir le solaire, l'éolien, la biomasse, etc. se présentent comme des sources d'énergies alternatives qui respectent l'environnement contrairement aux énergies fossiles qui émettent des gaz à effet de serre. Pour un développement durable, le recours vers ces énergies renouvelables semble être le choix le plus judicieux qui soit, même si leur coût d'investissement est très élevé.

En effet, la présente proposition consiste à utiliser des capteurs solaires combinés à une chaudière pour produire de la vapeur, ceci dans le but de permettre à la société d'utiliser ses réchauffeurs à vapeur d'huile de lubrification existants sans nécessairement passer soit à un réchauffeur électrique ou soit à un brûleur à combustion. La vapeur sera produite par les capteurs pour couvrir le besoin à 80 %, en absence du soleil, la chaudière prend le relais pour assurer la continuité de la production de vapeur.

Il existe à ce jour de capteurs solaires sous vide à basse température qui peuvent produire de la vapeur jusqu'à 120° C [10], avec cette température, nous y arriverons aussi à réchauffer l'huile de lubrification de 65° C à 95° C.

VII.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le principe de fonctionnement du système de production de production de vapeur à partir des capteurs solaires se présente comme suit :

Le système est constitué des capteurs solaires, d'un réservoir de stockage, d'une chaudière, d'une pompe, d'un réservoir d'eau et d'un échangeur de chaleur.

Dans un premier temps l'eau contenue dans le réservoir est aspirée par la pompe puis refoulée aux capteurs. Ensuite, au niveau des capteurs solaires, elle (eau) est chauffée par le rayonnement solaire pour produire de la vapeur à 120 °C. Des capteurs solaires une partie de vapeur passe par l'échangeur de chaleur (le réchauffeur) pour réchauffer l'huile de lubrification et l'excès de la vapeur serait stocké dans un réservoir et restituée lorsque les capteurs produiraient de la vapeur en deca de la température souhaitée. En absence du soleil, la chaudière se démarre pour produire de la vapeur et couvrir la demande. La figure 15 ci-dessous montre le schéma de base de la présente proposition.

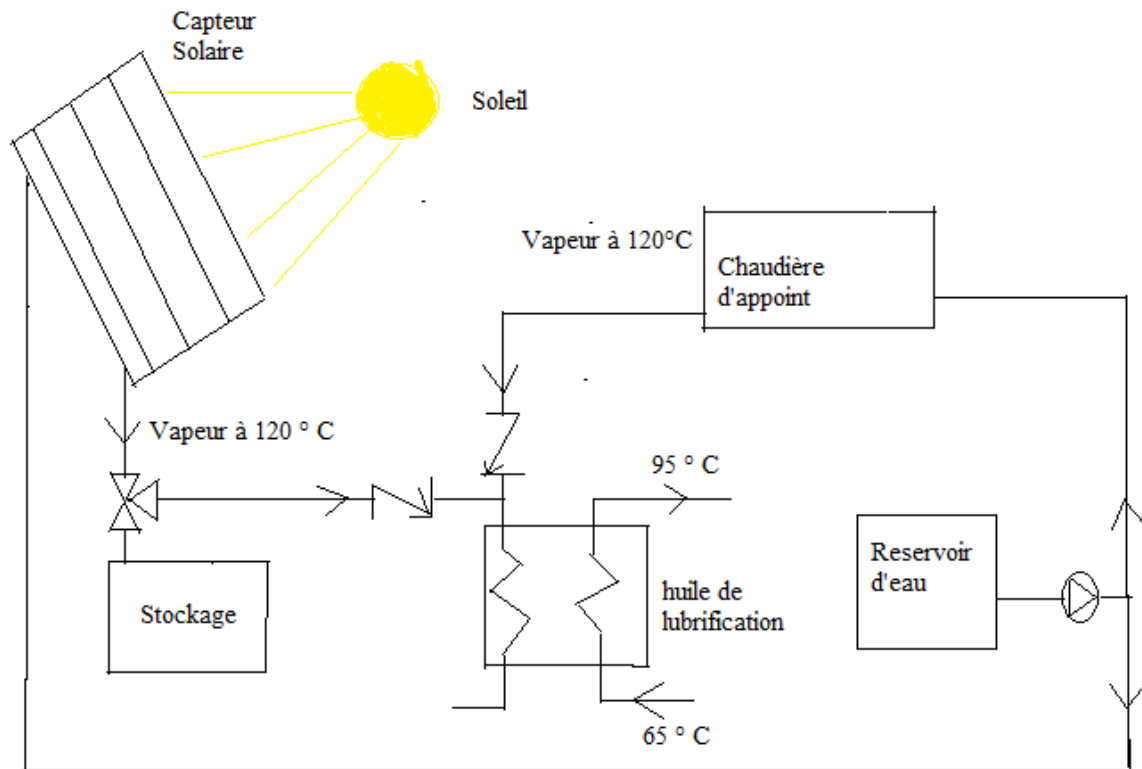
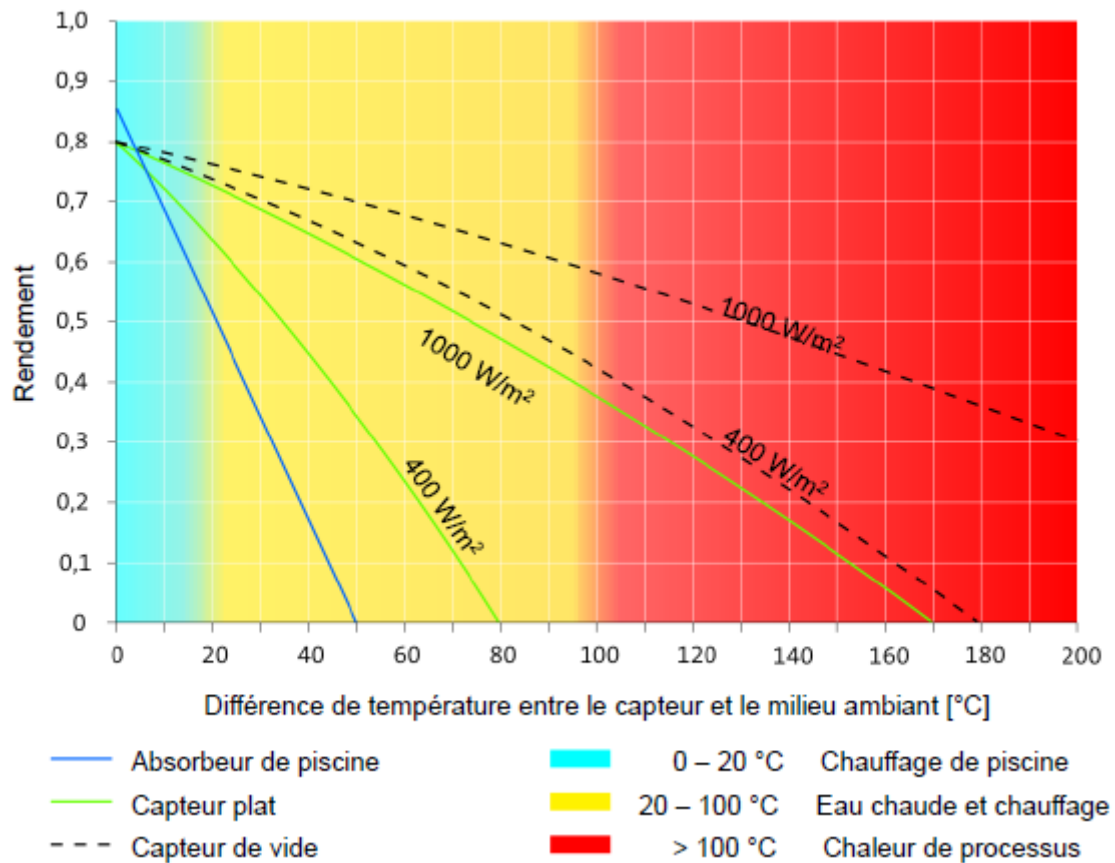


Figure 14: proposition sur l'utilisation d'un capteur solaire

RENDEMENTS DES DIFFERENTS TYPES DE CAPTEURS SOLAIRES BASSE TEMPERATURE

La figure ci-après présente les rendements de différents types de capteurs solaires basse température en fonction des températures d'utilisation.



Source : Energieplus, <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16760>

Figure 15 : Rendement des capteurs solaires

BESOIN BRUT JOURNALIER EN CHALEUR

Le besoin brut journalier dépend du besoin net journalier et des pertes. Il s'exprime par l'équation (12) [11] ci-dessous :

$$B_{\text{brut}} = \frac{B_{\text{net}}}{1-P} \quad (12)$$

Où

B_{brut} : Besoin brut (kWh) ;

B_{net} : besoin net (kWh)

P : Pertes (%).

DONNEES

Pertes : 20%

APPLICATION

$$B_{\text{brut}} = \frac{46,5 \times 8}{1-0,2} = 465 \text{ kWh}$$

SURFACE CAPTEUR

La surface du capteur est le produit du taux de couverture solaire et le besoin brut, divisé par le produit du rendement du capteur solaire et l'ensoleillement global total de la période considérée.

Elle s'exprime par l'équation (13) [11] ci-dessous :

$$S_{CS} = \frac{FS \cdot B_{net}}{\eta_{cs} \cdot I_{GM}} \quad (13)$$

S_{CS} : Surface du capteur solaire

FS : Taux de couverture solaire

I_{GM} : Ensoleillement global total

η_{cs} : Rendement du capteur solaire sous vide

DONNEES

Taux de couverture solaire : 80%

Ensoleillement global total : 5,14 kWh/m²

Rendement du capteur : 55%

APPLICATION NUMERIQUE

$$S_{CS} = \frac{0,8 \cdot 46,5 \cdot 8}{0,55 \cdot 5,14} = 105,27 \text{ m}^2$$

BESOIN NET COUVERT PAR LA CHAUDIERE

Le besoin net couvert par la chaudière est égale au produit du taux de couverture de la chaudière et du besoin net total en chaleur. Il s'exprime par l'équation (14) ci-dessous :

$$B_{net C} = T_{C C} \cdot B_{net} \quad (14)$$

$T_{C C}$: Taux de couverture chaudière (%) ;

$B_{net C}$: Besoin net couvert par la chaudière (kWh).

APPLICATION NUMERIQUE

$$B_{net C} = 0,2 \cdot 46,5 \cdot 8 = 74,4 \text{ kWh}$$

VOLUME DU COMBUSTIBLE BRULE PAR LA CHAUDIERE

Le volume brûlé du combustible brûlé par la chaudière s'exprime par l'équation (15) ci-dessous :

$$V = \frac{B_{net} C}{PCI * \rho * \eta} \quad (16)$$

DONNEES

Rendement du Chaudière : 85 %

Pouvoir calorifique inferieur : 10500 kcal/kg

Masse volumique : 860 kg/ m³

APPLICATION NUMERIQUE

$$V = \frac{74,4}{\left(\frac{10500}{860}\right) * 860 * 0,85} = 8,33 \text{ litres}$$

COUT DU COMBUSTIBLE

Le cout du combustible brûlé par la chaudière d'appoint est égal au volume du combustible utilisé multiplié par le prix du fuel. Il est estimé par la formule (16) ci-dessous :

$$C_{comb,chaudière} = V * P_{fuel} \quad (17)$$

$C_{comb,chaudière}$: Cout combustible chaudière (F CFA) ;

V : Volume du combustible (l) ;

P_{fuel} : Prix du fuel (F CFA/litre).

DONNEES

P_{fuel} : 548 FCFA/l ;

V : 8,33 l.

$$C_{comb,chaudière} = 8,33 * 548 = 4 564$$

$$\mathbf{C_{comb,chaudière} = 4 564,84 \text{ FCFA/jour}}$$

CHOIX DU CAPTEUR

Nous avons choisi un de capteur à tubes sous vide dont les caractéristiques sont illustrées sur le tableau (15) ci-dessous.

Tableau 15: Caractéristiques du capteur choisi

Désignations	Valeurs
Référence	THCT1858B902
Surface Brute (m2)	3,384
Surface du capteur (m2)	2,66
Pression de service max (Bar)	9
Surface d'absorption effective (m2)	1,421
Matériau utilisé pour les tubes	Borosilicate à très haute absorption solaire
Réflecteur	Aluminium
Nombre de tubes	18
Poids (kg)	65

La surface totale nécessaire des capteurs est 105,27 m², alors que nous avons de capteur de 2,66 m², donc il nous faut sensiblement 40 capteurs solaires pour couvrir le besoin.

CHOIX DE LA CHAUDIERE D'APPOINT

Le tableau (16) ci-dessus illustre les caractéristiques de la chaudière d'appoint choisi.

Tableau 16 : caractéristiques de la chaudière d'appoint

DEVIS ESTIMATIF

Le montant total d'utilisation des capteurs solaires combiné à une chaudière est consigné dans le tableau (17) ci-dessous.

Tableau 17 : Devis estimatif d'utilisation des capteurs solaires

VIII. CONCLUSION

Cette étude a porté essentiellement sur l'étude de la substitution d'un réchauffeur à vapeur par un réchauffeur électrique d'huile de lubrification de moteurs diesel. A l'issu de cette étude, il ressort que cette substitution souhaitée par la SNE n'est pas une bonne option car il (réchauffeur électrique) émettrait plus de CO₂ (**328,87 kg/Jour**) et le cout de la consommation énergétique serait très élevé (**58 728 Fcfa**).

L'utilisation des capteurs solaires combinés à une chaudière s'élève à **26 124 280 Fcfa**, elle permettrait à la SNE de réaliser un gain journalier de **54 163 Fcfa**.

RECOMMANDATIONS

Nous recommandons fortement le recours vers le système de capteur solaire basse température combiné à une chaudière d'appoint. Cette recommandation loin d'être une solution technico-économique et environnementale mais elle prouvera la volonté des responsables administratifs et techniques de la SNE de marquer un premier pas vers la transition énergétique tant souhaitée par les nations lors de différents grands sommets sur le climat et le développement durable.

Bibliographie

- [1] A. laval, Heatpac CBM Échangeur de chaleur à plaques brasées, 1998.
- [2] L. d. r. e. é. éolienne, «Etude et conception d'un échangeur thermique pour un système hybride de type éolien-Diesel-stockage d'air comprimé,» Québec, 2008.
- [3] SNE, «Rapport interne d'huile moteur utilisé,» N'djamen, 2010.
- [4] A. Laval, Réchauffeur Electrique Heatpac EHM, 2001.
- [5] WATTACO Manufacturer of Electrical Heating Elements and Controls, Les Réchauffeurs à circulation.
- [6] De Dietrich, M100/G100 Bruleurs Fioul et Gaz.
- [7] Y. COULIBALY, «Thermodynamique applquée 2iE,» 2014.
- [8] EDF, «Calcul des émissions de CO2 évitées,» 2016.
- [9] A. c. Fioul, «les éco-innovations du chauffage au fioul domestique».
- [10] Y. M. SORO, Cours Energie soaire thermique 2iE, Ouagadougou, 2014.
- [11] N. K. Edem, Low temperature solar thermal : Solar collectors, Ouagadougou, 2015.

SOMMAIRE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : PROGRAMME DE MAINTENANCE DE 500 HEURES DE MOTEURS WARTSILA.....	I
ANNEXE 2 : PROGRAMME DE MAINTENANCE DE 12000 HEURES DE MOTEURS WARTSILA.....	II

ANNEXE 1 : PROGRAMME DE MAINTENANCE DE 500 HEURES DE MOTEURS WARTSILA

	Travaux
Filtre centrifuge	Nettoyer les filtres centrifuges plus fréquemment si nécessaire
Mécanisme de commande	Nettoyer et graisser le mécanisme de commande
Eau de refroidissement	Contrôler la qualité et la teneur en additifs de l'eau
Pompe d'injection	Nettoyer toutes les pompes et les injecteurs
Huile de lubrification	Prélever l'échantillon d'huile afin de l'analyse

ANNEXE 2 : PROGRAMME DE MAINTENANCE DE 12000 HEURES DE MOTEURS WARTSILA[8]

Désignations	Travaux
Circuit combustible	remplacer les conduits d'alimentation de carburant coté A et
Pignon d'entraînement du régulateur	contrôler et les pièces si nécessaire
Pompe à eau HT et BT	déposer, contrôler et remplacer les pièces usées
Pignon de la pompe HT et BT	contrôler et les pièces si nécessaire
Vanne thermostatique d'eau HT et BT	nettoyer et contrôler
Pompe à huile de lubrification	inspecter et remplacer les pièces si nécessaire
Pignon d'entraînement de la pompe à huile de lubrification	contrôler et les pièces si nécessaire
Vanne thermostatique d'huile	nettoyer et contrôler
	remplacer les joints toriques
Pompe à huile de pré lubrification	contrôler et remplacer les pièces si nécessaire
Turbocompresseur	contrôler, nettoyer et remplacer les pièces si nécessaire
Bielles	remplacer les coussinets de tête de bielles après métrologie
	remplacer les vis de bielles
	remplacer les cales de bielles
	contrôler les douilles de pieds de bielles
culasses	démonter et nettoyer la partie inférieure, les soupapes d'admission et d'échappement
Chemises de cylindres	Contrôler les chemises de cylindres: Mesurer l'alésage des chemises, les remplacer la chemise si les limites d'usure sont dépassées
Pistons	contrôler les pistons
Pistons, segments de piston	inspecter et nettoyer
	Vérifier la hauteur des rainures de bague (le jeu de hauteur des bagues)
Huile de lubrification	remplacer l'huile de lubrification
pompes d'injection	nettoyer, inspecter et remplacer les pièces usées des pompes d'injection

