كلية العلوم و التقنيات فاس
Faculté des Sciences et Techniques de Fès

جامعة سيدي محمد بن عبد الله
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah

EL ALF
ALIMENTS DE BETAIL ET VOLAILLE

Département de Génie Industriel

LST de Génie Industriel

Projet de Fin d'Etudes

Le bilan thermique de la chaudière au sein de EL ALF Fès

Lieu : **Société El ALF SA Fès**
Référence : 12/19GI

Préparé par :

-El-Ghayoury Mohamed

Soutenu le 12 Juin 2019 devant le jury composé de :

- Pr Said Haouache (Encadrant FST)
- Pr M. Rjeb (Examinateur)
- Pr N. El Ouazzani (Examinateur)
- Mr R. Lakhale (Encadrant Société)

Dédicace :

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,

A MA CHERE MERE

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma Considération pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vœux tant formulés, le fruit de vos Innombrables sacrifices. Puisse Dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur et Longue vie

A LA MEMOIRE DE MON PERE

ce travail est dédié à mon père , décédé trop tôt, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études.

J'espère que du monde qui est sein maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'un fils qui a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde !!

"A MES CAMARADES"

De la faculté des Science et Techniques Fès

A TOUTE MA FAMILLE

REMERCIEMENT

Accueillir un stagiaire dans une société est toujours une charge pour celle-ci, car cela nécessite un encadrement et des conseils afin de permettre au stagiaire de bénéficier de l'expérience et du savoir-faire de ses membres.

De ce fait je tiens à remercier vivement la société EL Alf représenté par **Mr. Ali BERBICH,** mais aussi Mme **SIHAME BENHAMANE**, la directrice générale de la société, de m'avoir accordé l'opportunité d'effectuer mon stage de perfectionnement, m'offrant ainsi la possibilité d'acquérir une expérience professionnelle. Je remercie ensuite **Mme. Bouchra** responsable des ressources humaines. **Mr MRABETE,** responsable du service maintenance, ainsi que tous les membres de l'équipe de maintenance

J'exprime ma profonde gratitude et immense respect à mon encadrant externe Monsieur **RADOUAN LAKHALE** de m'avoir encadré le long de toute la durée de stage, pour sa disponibilité et son soutien sans faille, pour son assistance, orientation et sages conseils qui nous ont été d'une grande utilité.

Je tiens à exprimer mon gratitude à **Mr. A. ENNADI** responsable de la Licence Sciences et Techniques, filière Génie industriel à la faculté des sciences et techniques de Fès, pour son enseignement enrichissant et laborieux.

Je tiens à remercier chaleureusement le professeur **Mr. S. HAOUACHE** de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès d'avoir consacré du temps à l'encadrement et à l'enrichissement de ce travail ainsi pour son aide, ses conseils pertinents, sa confiance et ses remarquables qualités humaines et professionnelles.

Je remercie également le professeur Mr. **M. Rjeb** ainsi que le professeur **Mr. N. EL Ouazzani** d'avoir accepté de juger ce travail et qui me font l'honneur d'être membres du jury.

Sommaire :

Introduction Générale.....1

CHAPITRE I : Présentation de la société……..……..2

I-Présentation ……....3

1-Présentation générale ……3

2- Fiche signalétique……..4

3-Organigramme ……...5

4-Activités ……6

5-Matières……..6

6-Produits……...6

7-Matériels……8

8-Unités de la société 9

II-Activités……....10

1-fabrication…...……..……...10

III-Service du département technique ……..12

1-Direction technique……..12

2-Laboratoire……...12

3-Service qualité ……12

4- Production……....13

5-Service maintenance……13

6-Prémix……...13

7-Service chaufferie……14

8-Service magasin des produits finis……...14

9-Service magasin des pièces de rechanges.....14

IV-Processus de fabrication d'aliments composés……..…...15

CHAPITRE II : Généralités sur les chaudières et Rappels Théorique fondamentaux...16

I-Généralités et définition……..17

1-Définition……17

2-Types de chaudière à combustible…….17

3-Comparaison des performances ……...……..19

II-Etude thermodynamique……....20

1- La chaleur……..20

2- Puissance thermique……..21

3- Formules des puissances thermiques 21

4- La combustion…….……..22

5- Le rendement de la chaudière……23

6- Formules des flux de pertes…….....23

CHAPITRE III : Description générale du service chaufferie de la société……..…..26

I- Local chaufferie de la société EL ALF ……27

1- Principe de fonctionnement……...27

2- Caractéristiques de l'installation……28

CHAPITRE IV : Bilan thermique et calcule de rendement de la chaudière…….33

I- Introduction……...….34

II- Bilan thermique……34

1- Définition……...34

2- Calcul du rendement……...40

3- Interprétations et solutions amélioratives……...41

3.1- Interprétation……....41

3.2- Recommandations…….....41

Conclusion générale……..……..44

Bibliographie…….45

Liste des abréviations :

MP : **Matière Première**

CD : **Cellule de Dosage**

VM : **Vise de dosage des Minéraux**

CP : **Cellule de Presse**

ER : **Elévateur**

TR : **Transporteur**

TD : **Transporteur de Dosage**

ED : **Elévateur de Dosage**

EB : **Elévateur de Broyage**

PDR : **Pièces de rechange**

R_{th} **:** **La résistance thermique**

Liste des figures

Figure 1 : Vue de la société 3
Figure 2 : Organigramme général de la société 5
Figure 3 : Vue en satellite de la société…….....8
Figure 4 : Processus de fabrication.....11
Figure 5 : Processus d'élaboration et de fabrication…….15
Figure 6 : Chaudière à tubes du fumée.....17
Figure 7 : Chaudière à tube d'eau…….……27
Figure 8 : Local chaufferie de la société.....27
Figure 9 : Schéma de fonctionnement de la chaudière au sein de la société EL ALF……..28
Figure 10 : Citernes de stockage de Fuel du la société EL ALF.....29
Figure 11 : Bâche alimentaire d'eau du local chaufferie de la société EL ALF.....30
Figure 12 : Générateur de vapeur…….....31
Figure 13 : Bilan d'énergie du système chaudière.....33
Figure 14: La forme de la chaudière….....38

Liste des tableaux

Tableau 1 : Fiche signalétique de la société.....4
Tableau 2 : Produits de la société 7
Tableau 3 : Matériel de la société 8
Tableau 4 : Comparaison des performances…….....19
Tableau 5 : Caractéristiques de la chaudière à étudier.....……..32
Tableau 6 : Paramètres pour le calcul des flux.....35

Introduction Générale :

Le secteur industriel est considéré comme l'un des plus gros segments de la demande énergétique, c'est pourquoi l'optimisation des coûts énergétiques est aujourd'hui au cœur des préoccupations de chaque entreprise industrielle.

L'efficacité énergétique est aujourd'hui une nécessité impérieuse face d'une part à la fin de l'énergie fossile abondante et au bas coût, et d'autre part, à l'enjeu de la lutte contre le réchauffement climatique qui suppose une diminution de l'émission des gaz à effet de serre.

C'est dans ce contexte d'économie d'énergie s'inscrit mon projet de fin d'études, j'ai eu l'occasion d'effectuer mon stage à la société anonyme EL ALF au sein du service maintenance, ma mission était de faire le bilan thermique de la chaudière à vapeur au sein de de EL ALF

Ce rapport est composé de quatre chapitres décrits ci-dessous :

1. Le 1er chapitre:****Présentation de la société****: nous allons présenter la société d'accueil, et processus de fabrication.
2. Le 2ème chapitre**: **Généralités sur les chaudières et rappels théoriques fondamentaux** **: est une description des chaudières de façon générale, leurs types et mise en place des formules et moyens de calculs nécessaires pour effectuer le bilan thermique
3. Le 3ème chapitre : **** Description générale du service chaufferie de la société **** : aborde un descriptif général de la locale chaufferie de la société EL ALF.
4. Le 4ème chapitre : ****Bilan thermique et calcule de rendement de chaudière**** : est une étude des paramètres qui influencent le rendement de la chaudière. Il sera consacré aussi aux interprétations des résultats du bilan thermique ainsi que quelques recommandations.

Puis nous terminerons par une conclusion.

Chapitre I

Présentation de la société

I- Présentation

1- Présentation générale

En 1974, la famille CHAOUNI créée EL ALF dans la zone industrielle de Sidi Brahim à Fès, une société anonyme de fabrication d'aliments composés pour bétail et volaille. En 1998, l'usine est déplacée au lotissement ENNAMAE, au quartier industriel de Bensouda dans la même ville. Aujourd'hui la société est membre du groupe Zalar Holding appartenant à la famille CHAOUNI, après plusieurs rachats et créations de nouvelles sociétés. Le groupe est le leader du secteur avicole Marocain et le seul acteur verticalement intégré sur l'ensemble de la chaîne de valeur. En effet, le Groupe détient des parts de marché dominantes dans cinq

Figure 1 : Vue de la société

secteurs d'activités : négoce de matière première, nutrition animale, accouvage, élevage, abattage et transformation. Les activités du Groupe, portées par plus de 2.200 collaborateurs, sont réparties sur l'ensemble du territoire national, principalement autour des zones d'influence de Casablanca et Fès. La société EL ALF est spécialisée dans la fabrication d'aliments de bétail et de volaille. Au fil du temps, elle s'est améliorée au niveau de la qualité et des services fournis aux clients, d'une part, par ses différentes certifications (ISO 9001, OHSAS 18001, ISO 22000), et d'autre part par la mise en place d'une gestion de production assez performante. L'usine principale s'étale sur une superficie de 6000 m^2 incluant une unité supplémentaire dite de Prémix (Unité servant à la préparation d'additifs alimentaires). À cela s'ajoute ICN (Industrie Céréalière du Nord), une usine d'extension dans la même zone industrielle destinée au stockage

des matières premières. La société est équipée d'un laboratoire de la réalisation d'analyses physico-chimiques et microbiologiques se trouvant dans les locaux de l'unité de Prémix.

EL ALF n'emploie une centaine de personne. Depuis le début de l'année 2009, la société se classe actuellement deuxième sur le marché marocain. Elle est considérée comme l'une des principales entreprises agricoles au Maroc avec un capital de 50.000.000 DH. Sa production journalière est de 800 Tonnes par jour. Le tableau ci-dessous représente la fiche signalétique de la société.

2- Fiche signalétique

Le tableau ci-dessous regroupe tous les principaux détails de l'entreprise :

Forme juridique	**Société anonyme**
Date de création	**1974**
Raison sociale	**EL ALF**
Siège social	**Lotissement ENNAMAE, Q.I Bensouda., Fès**
Effectif	• **144 Permanents** • **52 temporaires**
Activités	**Fabrication des aliments composés pour les volailles et les bétails**
Capacité	**800 tonnes/jour**
Superficie	**6000 m² (2500 m² couverts)**
Capital	**50 000 000 DH**
Destination des produits	• **Fermes propres à l'entreprise** • **Revendeurs** • **Eleveurs**
Certification	**ISO 9001** **OHSAS 18001** **ISO 22000**

Tableau 1 : Fiche signalétique de la société

3. Organigramme :

La société EL ALF est organisée selon l'organigramme suivant :

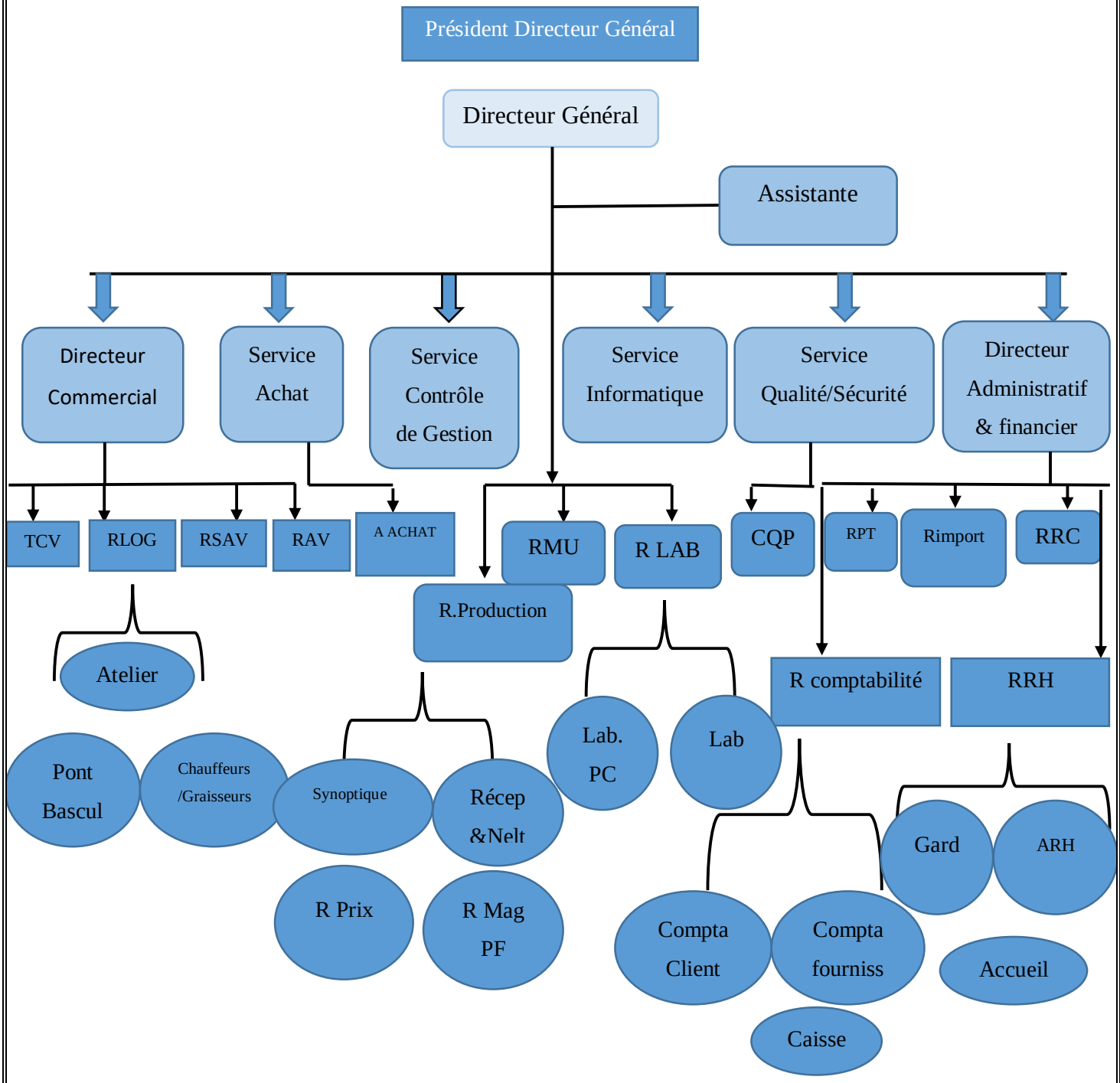


Figure 2 : Organigramme général de la société

4- Activités

La société EL ALF a pour activités :

- La fabrication d'un pré-mélange d'acides aminés, d'oligo-éléments et vitamines ce qu'on appelle Prémix incorporé à un pourcentage compris entre 0.5 et 1% lors de fabrication d'aliments composés.
- La fabrication d'aliments composés équilibrés au plan nutritionnel et étudié pour chaque type d'animal tel que : farine, miettes et granulés
- L'alimentation animale fait appel à deux types principaux de matières premières : les céréales et les sous-produits industriels notamment les tourteaux de soja et de colza. Plus que la totalité des céréales et surtout le maïs proviennent de l'étranger; 90% provient d'Amérique et 10% de l'argentine notamment importées par voie maritime, elles arrivent à la société par transport en vrac.

5- Matières

Au niveau des matières premières on peut distinguer :

- Céréales (MAÏS le plus utilisé, l'orge …)
- Les tourteaux issus de la transformation des graines oléagineuses (soja, tournesol)
- Les sous-produits de l'industrie alimentaire, tels que sons de blé provenant de la meunerie, mélasses fournies par l'industrie du sucre, …
- Les huiles et graisses, les complexes de minéraux, vitamines et additifs, Sel marin, les produits à base de poisson (farine de poisson), Levure séchée, utilisés en pourcentages minimes.

6- Produits

Les aliments composés sont des mélanges composés d'origine végétale ou animale à l'état naturel et les dérivés de leur transformation industrielle ainsi que les différentes substances organiques et inorganiques, comprenant ou non des additifs, qui sont destinés à l'alimentation animale par voie orale sous forme d'aliments complets ou complémentaires. Les aliments complets sont des mélanges d'aliments qui, grâce à leur composition suffisent à assurer une ration journalière. Alors que les aliments complémentaires sont des mélanges d'aliments qui contiennent des taux élevés de certaines substances et qui, en raison de leur composition, n'assurent la ration journalière que s'ils sont associés à d'autres aliments

Le tableau suivant montre une liste exhaustive des produits de la société :

Famille	Présentation du produit fini	Type d'aliment
Poulet de chair		
Pré-démarrage	Farine homogène	Aliment complet équilibré
Démarrage	Farine homogène ou miette	Aliment complet équilibré
Croissance	Miette ou granulé	Aliment complet équilibré
Finition	Granulé	Aliment complet équilibré
Entretien	Granulé	Aliment complet équilibré
Poule pondeuse		
Démarrage	Farine ou miettes	Aliment complet équilibré
Elevage	Farine ou miettes	Aliment complet équilibre
Pré-ponte	Farine ou miettes	Aliment complet équilibre
Pic de ponte	Farine ou miettes	Aliment complet équilibré
Ponte	Farine ou miettes	Aliment complet équilibré
Poule reproductrice		
Démarrage	Farine ou miettes	Aliment complet équilibré
Elevage	Farine ou miettes	Aliment complet ou équilibré
Pré-ponte	Farine ou miettes	Aliment complet équilibré
Période de reproduction	Farine ou miettes	Aliment complet ou équilibré
Coq		
Coq de reproduction	Farines ou miettes	Aliment complet équilibré
Dinde chair		
Démarrage 1	Miettes	Aliment complet équilibré
Démarrage 2	Miettes	Aliment complet équilibré
Croissance	Granulé	Aliment complet équilibré
Bovin		
Bovin démarrage	Granulé	Aliment complémentaire équilibré
Bovin d'engraissement	Granulé	Aliment complémentaire équilibré
Vaches laitières	Granulé	Aliment complémentaire équilibré
Bovin à l'entretient	Granulé	Aliment complémentaire équilibré
Ovin		
Ovin démarrage	Granulé	Aliment complémentaire équilibré
Ovin d'embouche	Granulé	Aliment complémentaire équilibré

Tableau 2 : Produits de la société

7- Matériels

Le tableau 3 montre les différents matériels utilisé par l'entreprise lors de la production depuis la réception de la matière première jusqu'à l'expédition :

Unité	Matériel
Réception matières premières	Pont Bascule - Deux fosses de réception
Transport de matières premières	Transporteurs TR1, TR2, TR3 ElévateursER1, ER2, ER3
Stockage matières premières	9 silos d'une capacité de 1500T chacun pour le stockage des céréales 3 silos d'une capacité de 500T chacun pour le stockage de tourteaux 14 silos d'une capacité variant entre 70T et 100T chacun pour conservation de MP à meilleures conditions 9 silos de Prémix et 3 silos de stockage de minéraux
Nettoyage	Emotteur et Aspirateur
Dosage	2 bennes peseuses
Pré-mélange	Pré-mélangeuse statique
Tamisage et épierrage	Tamiseur et épierreur
Mélange	Mélangeuse STOLZ de 8000 Litres pour recevoir un dosage automatique jusqu'à 5 liquides
Transfert du mélange vers la presse	Trémie sous mélangeuse Transporteur TF1 et l'élévateur EF1
Malaxage	Malaxeur
Pressage	3 presses
Refroidissement	Refroidisseur
Emiettage	Emietteur
Tamisage	Tamiseur
Stockage du PF	8 cellules de stockage d'une capacité de 250T (cellules de vidange)
Expédition PF	6 camions vrac d'une capacité globale de chargement de 100T 6 camions à benne de 30T chacun

Tableau 3 : Matériels de la société

8- Unités de la société

El ALF est composé de trois unités :

- L'usine principale : C'est là où se passe tout le processus de Fabrication, elle s'étend sur 6000m2. Elle abrite l'administration, un espace de stockage
- L'unité de prémix : destinée à la préparation et le stockage d'additifs alimentaires abritant parallèlement le laboratoire
- L'usine ICN : servant d'espace de stockage supplémentaire pour les matières premières.

L'image suivante situe les différentes unités dans la zone industrielle :

Figure 3 : Vue en satellite de la société

L'image présente est une capture effectuée sur la carte satellite en ligne HEREWEGO, à laquelle j'ai ajouté des textes pour situer les différentes unités.

II- Activités

1- Fabrication

La fabrication de l'aliment composé pour les animaux est l'activité de EL ALF. L'aliment est produit à base de céréales et de certains produits alimentaires issu de l'industrie tels que des huiles ou tourteaux de soja, de colza, farine de poisson, etc...

Principalement la céréale utilisée est le maïs, près de 90% de cette dernière est importée d'Amérique, la particularité de cet aliment composé est qu'il est équilibré sur le plan nutritionnel, la société offre un produit pour toutes les familles d'animaux à chaque étape de leur cycle de vie car il faut noter que les besoins nutritionnels des animaux aussi varient en fonction de leur âge.

C'est sur cette base qu'est effectuée la formulation.

À cela s'ajoute la fabrication d'un mélange d'acides aminés, d'oligo-éléments et de vitamines appelé Premix, ce dernier rentre dans la fabrication d'aliments composés à hauteur d'un pourcentage de 0,5 à 1 en fonction de l'aliment.

Le processus de fabrication de l'aliment composé de EL ALF peut être divisée en quatre étapes :

- La réception : C'est l'étape de début. Les matières sont reçues et stockés dans des silos.
- Le dosage : Elle consiste à réunir les différents éléments basés sur la formule qui vont rentrer dans la constitution de l'aliment.
- La fabrication : C'est l'étape la plus longue, elle contient le pré mélange, le broyage des éléments solides, puis le mélange avec tous les autres, à ce stade on obtient une farine homogène. Il y'a des clients qui achètent directement cette farine, et d'autre qui veulent le produit sous forme de granulé. La granulation commence par un malaxage et un pressage qui donnera au produit une forme de granulé. Ensuite le produit est refroidi puis émietté.
- L'expédition : C'est la dernière étape. Les produits sont acheminés soit en farine dans des camions, en granulés dans des sacs, ou en vrac par des camions directement chez le client.

La figure suivante présente le processus de production :

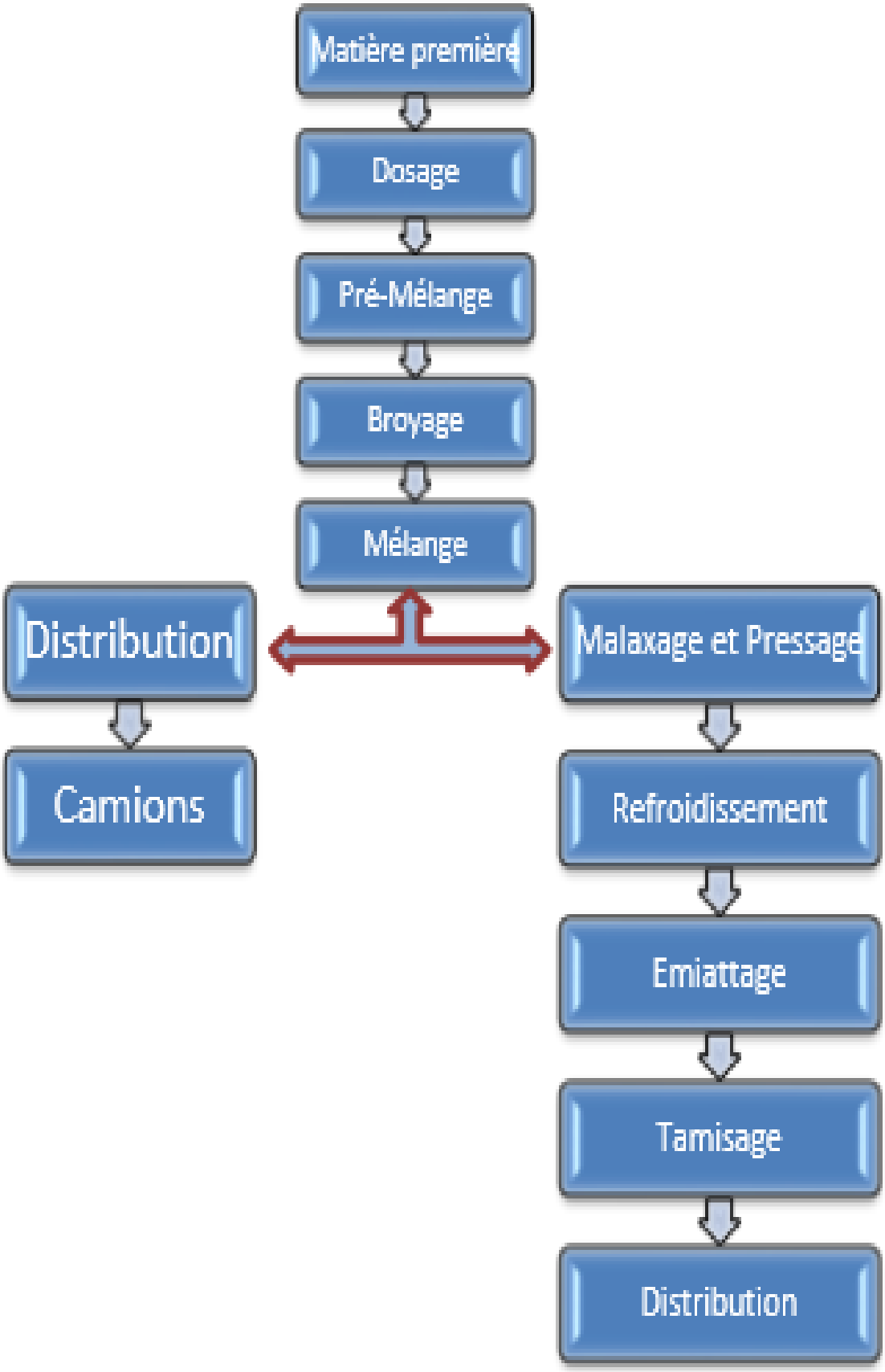


Figure 4 : processus de production

III- Services du département technique

1- Direction technique

Le directeur technique gère le département technique. Parmi ses missions, on trouve :

- L'achat de matière première
- La formulation
- La conclusion des projets
- La gestion des services techniques.

2- Laboratoire

A partir d'un plan de contrôle qui est rédigé par le service qualité, le laboratoire est tenu de faire des analyses de matière première à la réception et en cours de stockage ainsi que des analyses de produit finis. Ces analyses peuvent être :

- Des analyses de protéine.
- Des analyses du taux de calcium.
- Des analyses de matière minérale.
- Des analyses d'humidité.
- Des analyses de cellulose.
- Des analyses de matière grasse.
- Des analyses d'activité d'eau.

↳ Sur la base de ces analyses le responsable qualité rédige un rapport de qualité de matière première et de produit fini accompagnée des observations nécessaires.

3- Service qualité

La sécurité des aliments pour animaux est une condition indispensable pour la fabrication de denrées alimentaires sures et saines. La mise en œuvre de la qualité est également synonyme de confiance. Le responsable du service qualité classe les matières premières selon des familles par exemple : la famille céréale, la famille huilerie. Et les produits finis selon des gammes comme : la gamme poulet de chair, la gamme poulet pondeuse, la gamme dinde, etc....

Pour chaque matière première et produit fini le service qualité définie des paramètres d'analyse qui vise la valeur nutritionnelle du produit, accompagné des fréquences d'analyse pour les comparer avec des normes prédéfinis. Parmi les contrôles réalisés, on peut citer :

Détermination de la teneur en eau, dosage des protéines, la teneur en cellulose, matières grasses …. Etc.

Les analyses de ses paramètres au sein de la société **EL ALF** s'effectuent soit dans le laboratoire soit par un appareil capable d'effectuer des analyses précises et instantanées c'est l'INFRAXACT. C'est un analyseur (à base de l'infrarouge) idéal pour optimiser la production en agroalimentaire. C'est une solution capable de mesurer la composition des poudres, granules matière première autre produite broyée.

Un plan de contrôle est rédigé par le service qualité et remis au laboratoire, qui fait des analyses de matière première à la réception et en cours de stockage aussi pour le produit fini.

- Après la réception des résultats, un rapport d'analyse est établi accompagné des observations qui doivent être pris en considération lors de la formulation ou bien le stockage

4- Production

Le responsable de ce service pilote tous les services de productions ainsi que les ateliers d'entretien, il se charge aussi de :

- Gestion des agents de supervision.
- Gestion de stock de la matière première.
- La veille sur une production journalière de 800 tonnes minimum.
- Gestion d'équipe nettoyage et désinfection usine.

5- Service maintenance

Le service maintenance se charge d'assurer le suivi des processus de la maintenance afin d'améliorer la disponibilité et augmenté la fiabilité des machines et des bien les faire connaître par les agents concernés et de veiller qu'il soit appliqué rigoureusement.

6- Prémix

Le rôle principal du Prémix est la préparation d'un produit semis finis par un mélange des vitamines, des minéraux, des acides tels que les enzymes, la lysine, le natuphos et les anticoccidiens on se servant d'une mélangeuse et d'une balance.

Ce Prémix ou bien ce produit semi-finis est préparé quotidiennement suivant une formule préparée par le service production /entretien et qui est destiné à être injecté en cours de la production. Le service Prémix possède un stock de M.P constituant les additifs.

7- Service chaufferie

Dans le service chaufferie on trouve 3 chaudières, ce sont des machines qui produisent de la vapeur à partir de l'eau, et qui entre dans le processus de production au niveau de la presse. L'eau utilisé est traité puis analysé par le responsable du service afin d'éviter toute production de calcaire.

8- Service magasin des produits finis

Ce service comporte deux ensacheuses, chacune d'elle est liée à 4 cellules VRAC.

Ce produit fini est emballé dans des sacs de 50 kg puis emporté par des chaînes convoyeuses pour être livré ou bien stocké.

- La gestion du stock de produit fini est journalière, elle est calculée comme suit :
  Le nombre de sacs restés d'hier + la production d'aujourd'hui – les sorties (ventes et commandes).

9- Service magasin des pièces de rechange

Le magasin PDR comporte :

- Un stock huilerie
- Un stock PDR
- Un stock pièce d'usine
- Un stock de ferraille

Lorsqu' un problème est signalé, le responsable du magasin pièce de rechange rédige une demande de réparation (description du problème, matricule du véhicule, kilométrage, date...etc.) qui décrit les informations nécessaires et fait appel au mécanicien qui approuve le problème et le répare.

Si une demande de pièce se présente au magasinier, ce dernier s'assure qu'elle est disponible, établit un bon de sortie de pièce et enregistre la sortie sur le registre du magasin.

Dans le cas où la pièce n'est pas disponible, le magasinier rédige une demande d'achat qu'il envoie au service achat pour la valider.

IV- Processus de fabrication d'aliments composés

Le granulé est la forme sous laquelle se présente la majorité des aliments composés pour animaux, vient après dans l'ordre la farine et miettes destinées aux volailles (Poulet de chair, reproductrice, ponte).

Les granulés contiennent l'ensemble des matières premières que le fabricant a soigneusement assemblées pour constituer un aliment composé équilibré.

Le processus d'élaboration et de fabrication des aliments composés peut se dérouler en 4 phases principales :

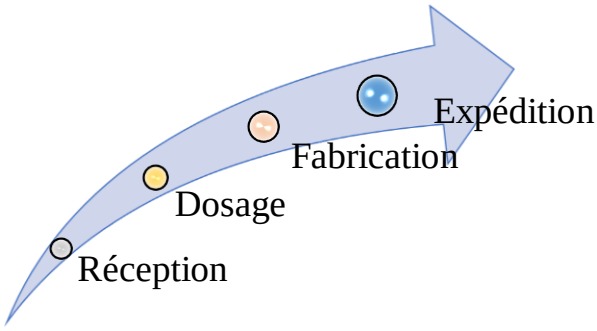


Figure 5 : processus d'élaboration et de fabrication

Ces quatre étapes sont précédées d'une étape de recherche et de formulation assurée par un responsable de formulation à la société qui compose, pour chaque race, des menus équilibrés en faisant au préalable une étude de caractéristiques des matières premières selon les besoins alimentaires des animaux afin d'assembler les ingrédients dans des proportions adaptées pour chaque type d'animal.

Chapitre II

Généralités sur les chaudières et rappels théoriques fondamentaux

I. Généralités et définition :

1. Définition :

La chaudière est un dispositif permettant de chauffer l'eau et de produire de la vapeur si l'eau est chauffée au-delà d'une certaine température pour une pression donnée Industriellement, on utilise les chaudières pour produire la vapeur nécessaire au fonctionnement des procédés. La source de chaleur peut-être fournie par un combustible (gaz, fioul, charbon…) ou une résistance électrique

2. Types de chaudière à combustible :

2.1. Les chaudières à tube de fumée :

2.1.1. Présentation :

Ce type de chaudière fournit un débit de vapeur saturée de 1 à 25 tonnes/heure, en basse et moyenne pression. Le combustible utilisé est soit du gaz soit du fioul. **Réf [1]**

2.1.2. Fonctionnement :

Le tube foyer, qui se trouve dans le ballon même de la chaudière, sous le plan d'eau, collecte les gaz chauds en sortie de brûleur. Les gaz chauds, accumulés dans un premier caisson à l'arrière de la chaudière, sont véhiculés par un groupe de tubes immergés dans l'eau du ballon vers un second caisson à l'avant de la chaudière. Un second groupe de tubes immergés emmène les gaz vers un troisième caisson à l'arrière de la chaudière, ce troisième caisson débouche sur la cheminée pour évacuation des fumées vers l'extérieur. Il y a donc circulation des gaz de combustion dans des tubes assurant, par conduction la vaporisation de l'eau. **Réf [1]**

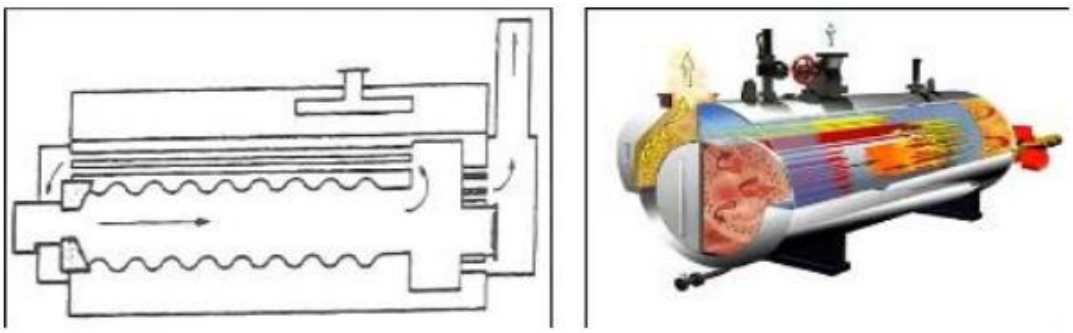


Figure 6 : Chaudière à tubes du fumée **Réf [1]**

2.2. Les chaudières à tube d'eau :

2.2.1. Présentation :

Ce type de chaudière fournit un débit de vapeur saturée supérieur à 20 tonnes/heure, en moyenne et haute pression. Le combustible utilisé est soit du gaz, du fioul, du charbon ou déchets. **Réf [1]**

2.2.2. Fonctionnement :

Ce type de chaudière possède deux réservoirs appelés ballon distributeur (en partie inférieure) et ballon collecteur (ou encore ballon de vaporisation, en partie supérieure), reliés par un faisceau de tubes vaporisateurs, dans cet ensemble circule l'eau qui se transforme en vapeur.

Les gaz chauds produits par le brûleur sont directement en contact avec les tubes vaporisateurs, à l'intérieur de ceux-ci se produit la vaporisation. La vapeur ainsi générée est collectée dans le ballon supérieur, l'eau excédentaire est ramenée vers le ballon inférieur par des tubes de chute non soumis à la chaleur.

Il y a donc circulation de l'eau dans des tubes placés à l'intérieur d'une enceinte contenant les gaz chauds. **Réf [1]**

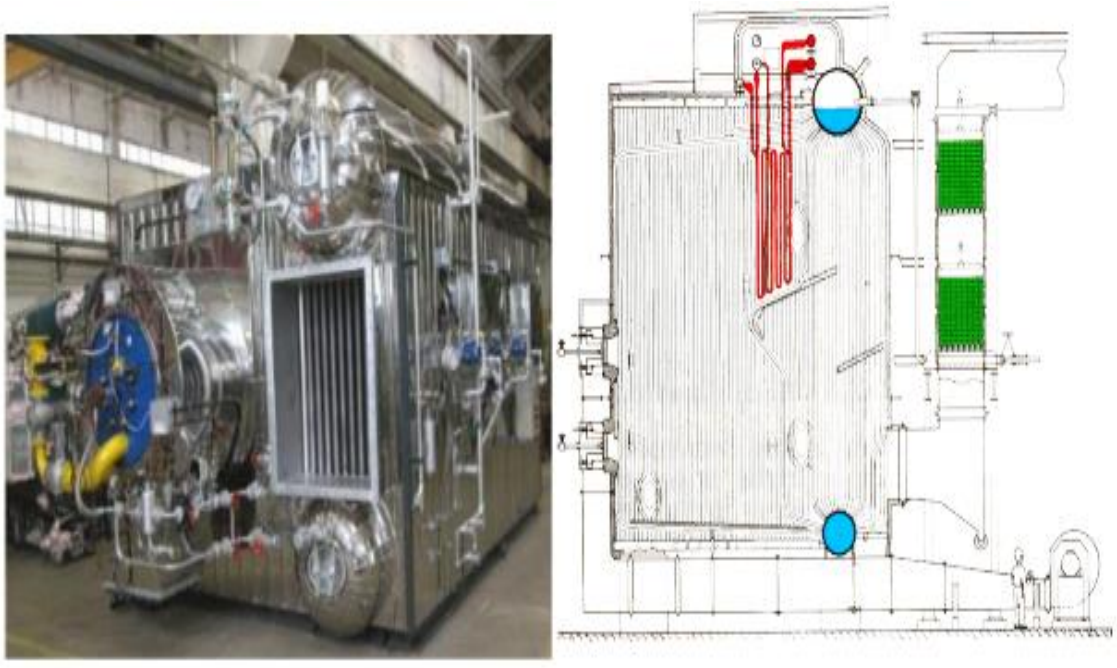


Figure 6 : Chaudière à tube d'eau **Réf [1]**

3. Comparaison des performances :

Le tableau suivant présente une comparaison entre les chaudières à tubes fumées et les chaudières à tubes d'eau :

Propriétés	Chaudières à tubes de fumée	Chaudières à tubes d'eau
Mise en route (à puissance équivalente)	Lente (grand volume d'eau à chauffer)	Rapide
Adaptation aux changements de régime	Médiocre (inertie importante)	Bonne
Surface de chauffe	Moyenne	Elevée
Sécurité	médiocres	Bonne
Encombrement	faible	Fort
Prix	limité	Elevée
Applications usuelles • **Puissance** • **Débit** • **Timbre (pression max. d'utilisation)**	• Moyennement élevée • 1.5 à 25 t/h • 10 à 20 bar	• Importante • 4 à 200 t/h • 90 à 100 bar (en circulation naturelle) et jusqu'à 225 bar (circulation forcée)

Tableau 4 : Comparaison des performances **Réf [1]**

D'après le tableau, on constate que les chaudières à tubes d'eau plus performantes que les chaudières à tubes de fumées.

II. Etude thermodynamique :

Nous allons étudier lors de ce projet un système thermique (la chaudière industrielle à vapeur) ce qui nécessite de définir les formes d'énergie qui peuvent être échangées au cours de sa transformation.

La chaleur ou énergie calorifique notée Q. Ce transfert se fait avec variation des variables d'état internes (la pression et la température).

1. Chaleur :

Les échanges d'énergie non réductibles à un travail s'appellent **chaleur.** Ce transfert d'énergie se fait sous la forme cinétique

Les transferts d'énergie sous forme de chaleur se font :

- par conduction dans les fluides immobiles et les solides.
- par convection dans les fluides mobiles.
- par rayonnement.

Ces deux effets sont :

→ Modification de température : l'expérience montre que lorsque le transfert thermique s'exerçant sur un corps pur homogène est positif, la température de ce corps peut s'élever. Dans ce cas, il s'agit d'une chaleur sensible.

Mathématiquement, la quantité de chaleur sensible Q échangée par un corps qui passe d'une température T_1 à une température T_2 est donnée par la relation suivante **Réf [3]** :

$$Q = mc\,(T_2 - T_1) \quad (1)$$

Avec :

Q : la chaleur sensible (en **J**)

m : est la masse du corps (en **kg**)

$\mathbf{T_1}$ et $\mathbf{T_2}$: les températures initiales et finales du corps (en **K** ou **°C**)

C : capacité calorifique massique du corps (en **J/kg.°C)**

→ Changement de phase : l'expérience montre que lorsque le transfert thermique s'exerçant sur un glaçon à 0°C est positif, le glaçon fond et se transforme en eau à 0°C. Il y'a changement de phase du corps pur (H2O) constituant le glaçon. On dit aussi qu'il y a un changement d'état physique. Dans ce cas il s'agit d'une chaleur latente.

En général : pour un changement d'état **Réf [3]** :

$$Q' = mL \qquad (2)$$

Avec :

m : la masse en **(kg)**

L : la chaleur latente massique de changement de phase en **(J/kg)**

2. Puissance thermique :

La puissance thermique (ou puissance de chauffage) désigne la quantité de chaleur (ou transfert thermique) traversant une surface isotherme par unité de temps. Il s'agit donc d'un flux de chaleur qui peut s'exprimer en watts, kilowatts ou mégawatts, la quantité de chaleur étant exprimée en joules et le temps en secondes. On exprime aussi une puissance thermique en kilocalories par heure (kcal/h) ou thermies par heure (th/h) **Réf [3]**.

$$P = Q/t \qquad (3)$$

Avec :

Q : énergie thermique (chaleur) en joule (**J**)

P : puissance thermique en watt (**W**)

3. formules des puissances thermiques :

3.1. Puissance thermique du fioul :

Il s'agit du flux thermique total du combustible introduit dans la chaudière, il suffit de multiplier le débit de combustible par son pouvoir calorifique inférieur PCI.

Sa formule est la suivante **Réf [3]** :

$$P_{fioul} = D_{fioul} * PCI \qquad (4)$$

Avec :

P_{fioul} : La puissance thermique du fioul en w (**W**)

D_{fioul} : Le débit massique du fioul en (**kg/s**)

PCI : Le pouvoir calorifique massique inférieur du fioul en (**J/kg**)

3.2. Puissance thermique de l'eau (P_{eau}) :

Il s'agit de puissance thermique absorbé par l'eau entre l'entrée et la sortie de la chaudière.

4. La combustion :

Le **fioul** est un combustible dérivé du pétrole, utilisé notamment dans les chaudières. Il est classé dans les ressources énergétiques fossiles. Il présente des rendements élevés mais compte tenu de sa très large utilisation pour la production d'énergie calorifique (pour le chauffage en chaudière) .

❖ **Combustion du fioul :**

Le fioul lourd est de C_{26} à C_{36} donc :

(1) $C_{26}H_{54} + 79/2\ O_2 \rightarrow 26CO_2 + 27H_2O$ + chaleur

(2) $C_{36}H_{74} + 109/2O_2 \rightarrow 36CO_2 + 37H_2O$ + chaleur

❖ **Quantité d'air nécessaire :**

- Pour la première équation : une mole de fioul nécessite 79/2 mole d'oxygène ce qui fait 197.5 mole d'air.

Ce qui donne aussi 1g de fioul nécessite 15.64g d'air.

- Pour la deuxième équation : une mole de fioul nécessite 109/2 mole d'oxygène ce qui fait 272.5 mole d'air.

Ce qui donne aussi 1g de fioul nécessite 15.62g d'air.

Donc on va prendre la moyenne :

Une mole de fioul nécessite 47 mole d'oxygène ce qui fait 235 mole d'air.

Ce qui donne aussi 1g de fioul nécessite 15.63g d'air.

5. le rendement de la chaudière :

Le rendement d'une chaudière est le rapport entre la puissance de la chaleur utile absorbée par l'eau et la puissance de la chaleur donnée par la combustion de combustible. Il exprime sa capacité à récupérer l'énergie de son combustible pour la restituer au circuit de chauffage, et il permet de prévenir la performance de la chaudière.

Sa formule est la suivante **Réf [3]** :

$$\eta = P_{eau} / P_{fioul} \qquad (5)$$

6. Formules des flux de pertes :

6.1. Flux de pertes par fumée :

La chaleur libérée par la combustion est en partie transmise à l'eau via le corps de chauffe et en partie transmise aux fumées de combustion, c'est la chaleur sensible.

Une partie est récupérée dans les échanges avec les conduites de fumées mais une partie de cette chaleur reste contenue dans les fumées et est perdue en sortie de chaudière.

Si le transfert thermique des fumées vers l'eau ne se fait pas bien, la chaleur sensible perdue en sortie de chaudière est plus élevée et le rendement est ainsi diminué. Cela peut être le cas si la suie s'amasse sur les parois des conduites.

Les pertes dans les fumées peuvent être calculées par la relation semi-empirique suivante **Réf [7]** :

Avec :

$$\Phi_{fumée}\,(\%) = k*(T_{fu} - T_a) / a(CO2) \qquad (6)$$

$\Phi_{fumée}$: le flux de pertes par fumée en % .

k : le coefficient de sierget varie avec la nature du combustible, est un nombre Adimensionnel.

T_{fu} : la température de la fumée en ˚C .

T_a : la température de l'air ambiant en ˚C .

a(CO2) : la teneur de CO2 dans la fumée en % .

6.2. Flux de pertes par purges :

Les purges d'une chaudière permettent de maintenir une concentration de sels inférieurs au seuil de saturation pour éviter la cristallisation des sels sur les tubes de la chaudière.

Les pertes par purges sont données par la relation suivante **Réf [7]** :

$$\Phi_{purge}(\%) = \frac{Dpurge * \Delta Hpurge}{Dfioul * PCI} * 100 \qquad (7)$$

Avec :

D_{purge} : le débit massique de purge de la chaudière en (**kg/s**)

ΔH_{purge} : la variation de l'enthalpie spécifique de l'eau à la température des Purges en (**j/kg**)

D_{fioul} : le débit du fioul en (kg/s)

PCI : le pouvoir calorifique inférieur du fioul en (**J/kg**)

6.3. Flux de pertes par parois :

Les pertes par parois proviennent des échanges thermiques de chaleur par conduction, convection et rayonnement entre les parois chaudes de la chaudière et l'air ambiant. Elles dépendent surtout des dimensions des parois de la chaudière et de la nature de leurs matériaux de construction. Un bon calorifugeage des chaudières permet de réduire ces pertes.

Pour une telle chaudière elles peuvent être évaluées approximativement par la relation suivante **Réf [4]** :

$$\Phi_{parois} = (T_m - T_a)/ R_{th}$$

Avec :

Φ_{parois} : le flux de perte par parois en (**W**).

T_m : la température moyenne de la chaudière en (**°C**)

T_a : la température ambiante en (**°C**)

R_{th} : la résistance thermique en (**°C/W**)

Chapitre III

Description générale du service chaufferie

de la société

I . Local chaufferie de la société EL ALF :

L'une des missions confiées pendant ma période de stage était tout d'abord comprendre l'installation et les différents paramètres de la chaufferie dans la société afin de pouvoir entamer toute autre étude ultérieure.

Figure 8 : Local chaufferie de la société

1. Principe de fonctionnement :

⇒ Pour chauffer l'eau à l'intérieur de la chaudière, il est nécessaire d'avoir une bonne combustion dans le foyer, alors comment peut-on avoir cette combustion ?

- Le Fuel se stocke dans les citernes indépendantes, puis grâce à *une pompe à* engrenage, ce fioul est aspiré des citernes de stockage et refoulé vers le bruleur sous forme liquide et sort à l'état gazeux par la combustion.
- Il pénètre ensuite dans un foyer à l'intérieur de la chaudière où se fait le transfert de chaleur entre le Fuel gazeux et l'eau liquide afin qu'il se transforme en état gazeux (vapeur).
- La vapeur se dirige finalement vers un collecteur pour distribuer selon les besoins des chaines de production

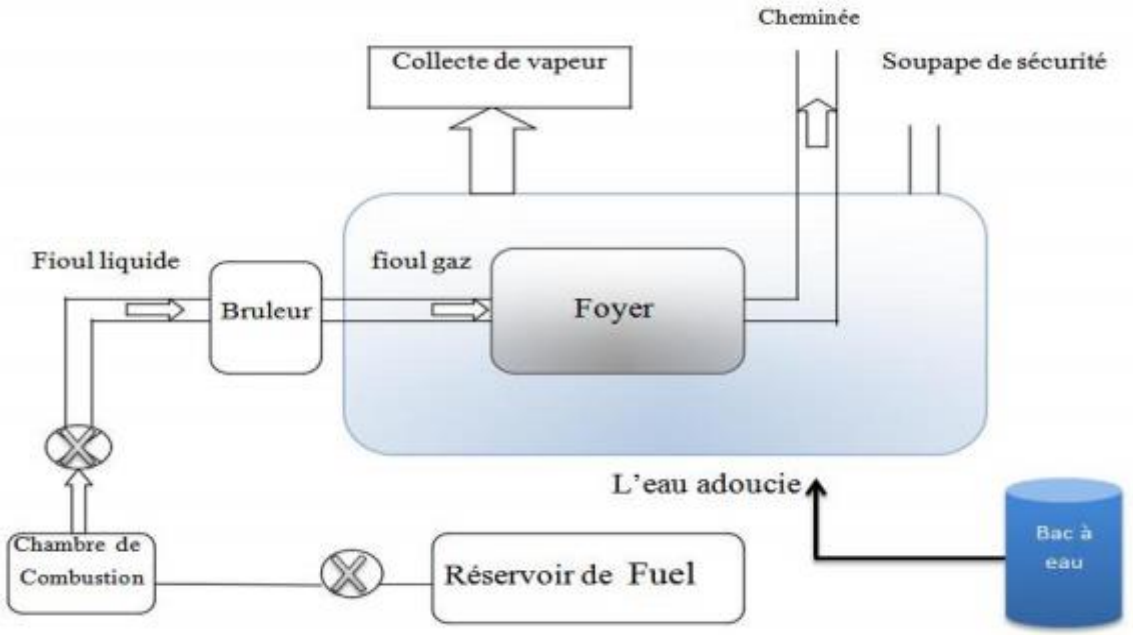


Figure 9 : Schéma de fonctionnement de la chaudière au sein de la société

2. Caractéristiques de l'installation :

Pour mieux comprendre l'installation de la locale chaufferie dans la société, nous allons spécifier les parties essentielles suivantes :

- Dépotage de Fuel ;
- Chambre de Combustion ;
- Bâche alimentaire d'eau ;
- Générateur de vapeur (Chaudière).

2.1. Dépotage de Fuel :

L'alimentation en fioul se fait à partir d'un réservoir de stockage relié au bruleur par des tuyauteries.

La société dispose de deux citernes de stockage :

- ✓ Citerne 1 : Capacité 44500 L.
- ✓ Citerne 2 : Capacité 30000 L.

Citerne 1 **Citerne 2**

Figure 10 : Citernes de stockage de fioul

2.2. Chambre de combustion :

C'est la partie essentielle de la chaudière où se fait la combustion de Fioul pour fournir l'énergie nécessaire pour transformer l'eau en vapeur. Le dépotage du fuel se fait dans les deux cuves cité précédemment puis à l'aide d'une pompe il passe dans un réchauffeur pour avoir une température de 70 °C ,une 2ème pompe envoie le Fuel à un 2ème réchauffeur pour avoir une température de 90 °C à une pression de 2bar , le fuel sort finalement avec une température de 100 °C et passe dernièrement par une pompe de haute pression (20bar) vers le bruleur.

2.3. Bâche alimentaire d'eau :

L’alimentation en eau est assurée par deux pompes qui amène l’eau adoucie du réserve du stock jusqu’à la chaudière. (Figure 11).

Figure 11 : Bâche alimentaire d’eau

2.4. Générateur de vapeur :

La chaudière ci-dessous est une génératrice de vapeur. Elle a pour rôle de transmettre la chaleur issue de la combustion de Fioul dans le foyer à l’eau alimentaire dont le but de l’évaporer jusqu’à une température de 200 °C et une pression de 7 Bars. (Figure 12)

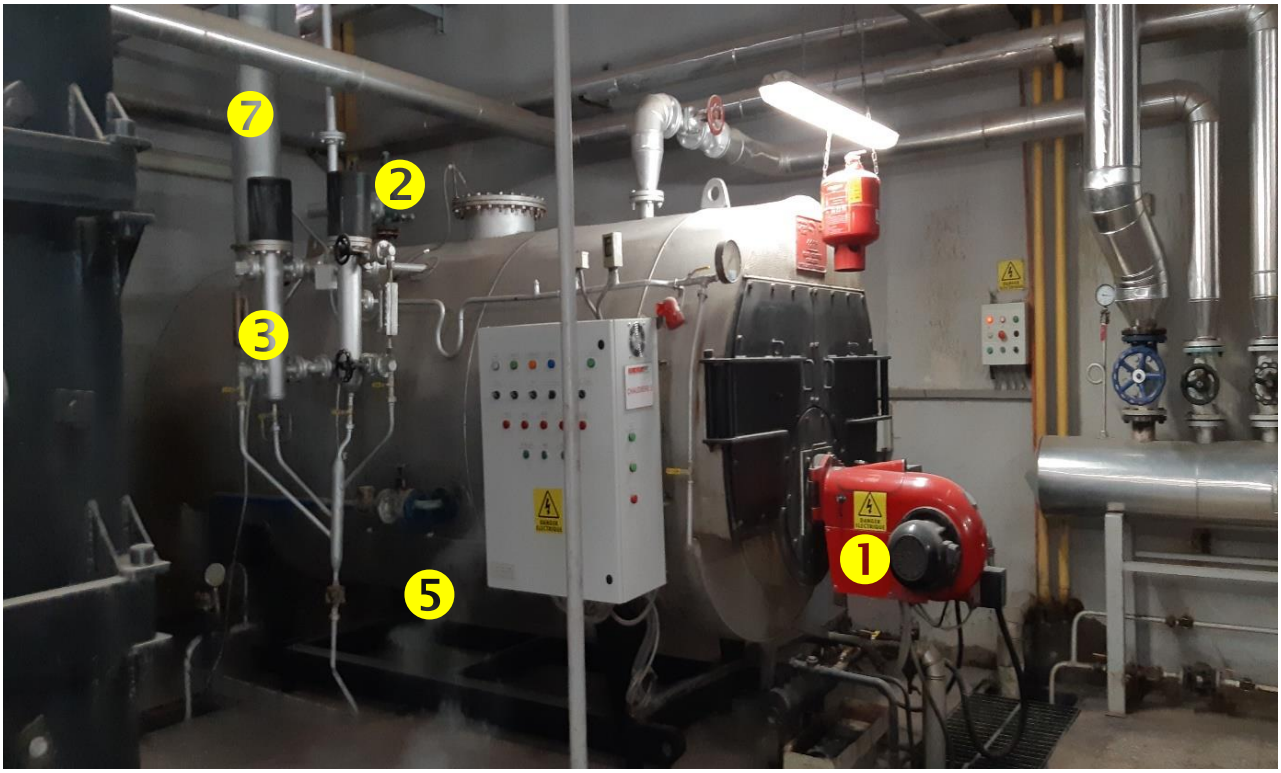


Figure 12 : Générateur de vapeur

Les composantes de la chaudière sont :

1. Brûleur
2. Soupape de sécurité
3. Indicateur de niveau de sécurité d'eau
4. Indicateur de niveau de sécurité de pression
5. Vanne de purge
6. Pompe d'alimentation d'eau
7. Cheminée

Caractéristiques de la chaudière :

Les chaudières utilisées à EL ALF sont au nombre de trois. Ces chaudières datent de 1995 . le tableau suivant regroupe les différentes caractéristiques :

Débit de vapeur	2 tonnes /h
Température d'eau	50 °C
Température maximale de la chaudière	250 °C
Pression de service	7 bar
Capacité	500 litres
Année de fabrication	1995
Rendement	93%
Matériaux	Acier
Constructeur	EGFI

Tableau 5 : Caractéristiques de la chaudière

Chapitre IV

Bilan thermique et calcul du rendement de la chaudière

I Introduction :

Toute entreprise est toujours dans la situation de minimiser les pertes afin de maximiser leurs profits. EL ALF dans cette situation voudrait réduire les pertes thermiques au niveau de la chaudière à vapeur qui dépendent à la fois de la production de vapeur et de la consommation du fioul. Dans ce cadre, j'ai effectué une étude sur pour trouver les causes responsables de l'abaissement du rendement de la chaudière d'une part, chercher des solutions d'améliorations et des propositions pour réduire les pertes d'autre part au sein de EL ALF . La description détaillée de la chaudière que j'ai fait dans le chapitre précédent il a permis de connaitre les différents éléments constituant l'installation, donc on a pu détecter les multiples énergies et pertes qui sont produites par la chaudière.

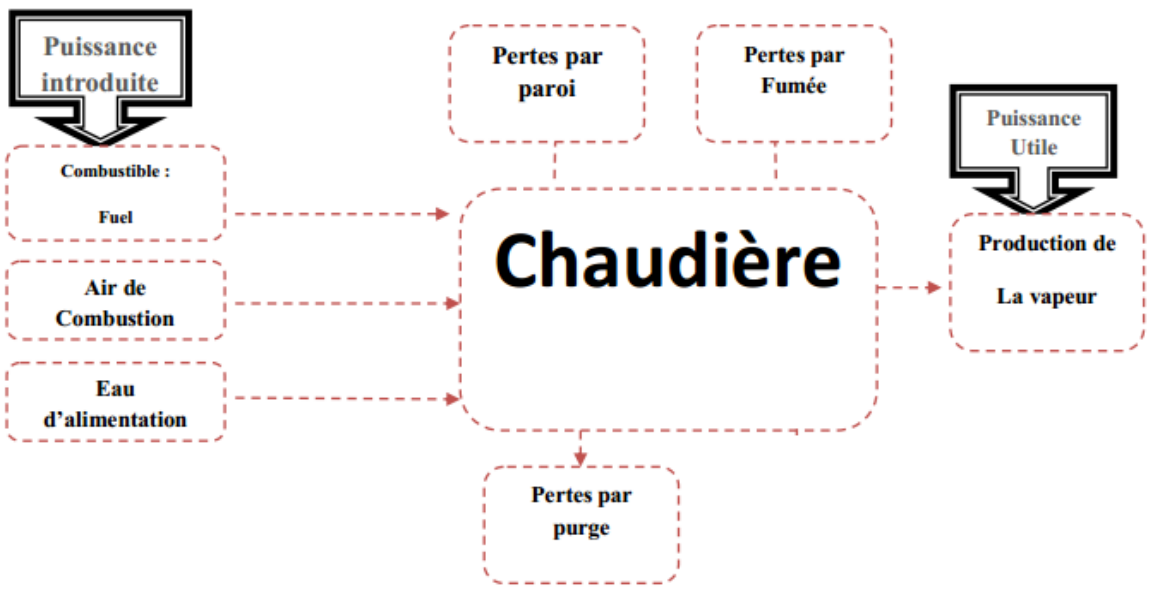


Figure 13 : Bilan d'énergie du système EL ALF

II. bilan thermique :

1. Définition :

Le bilan thermique d'une installation de production de l'énergie, comme la chaudière, c'est la détermination de différentes formes d'énergies **entrantes, sortantes et stockées**, en prenant en considération les différents types de pertes qui peuvent exister.

D’après le service technique on a :

L’eau d’alimentation	**D_{eau} : débit (kg/h)**	846
	T_e : Température d’entré (°C)	50
	T_f : Température de sortie (°C)	170
Combustible (fioul)	**D_{fioul}** : Débit **(kg/h)**	57.96
	T_c : Température (°C)	100
Fumées	**T_f** : Température (°C)	200
	Teneur du CO_2 (%)	12

Tableau 6 : Paramètres pour le calcul des flux

1.1. Puissance d’entrée :

La Puissance donné par la combustion de fioul P :

$$P_{fioul} = D_{fioul} * PCI$$

Avec :

D_{fioul} : 57.96 **kg/ h.** **Annexe 2**

PCI : 11.86 **kW h/ kg.** **Réf [6]**

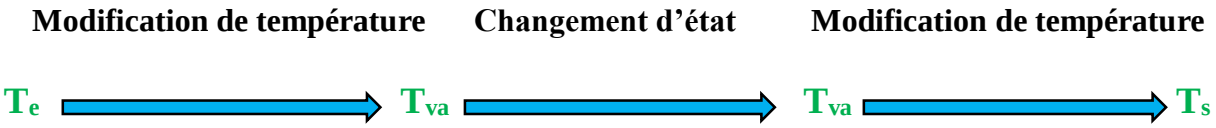
AN

$$P_{fioul} = 687.40 \text{ kW}$$

1.2. Puissance de sortie :

1.2.1. Puissance utile :

L'eau entre dans la chaudière avec une température de 50 °C puis il commence à se vaporiser à une température de 164.96°C puis il subit une augmentation de température jusqu'à 170 °C.



Donc on aura :

$$P_{eau} = D_{eau} * C * (T_{va} - Te) + De * Lv + De\ Cp(Ts - T_{va})$$

Avec :

Deau : débit d'eau d'entrée, **Deau** = 846 **kg/h** **Annexe 2**

C : la chaleur spécifique massique de l'eau liquide est 4.185 **kJ/kg** **Annexe 1**

T_{va} : température de vaporisation de l'eau à 7 bar, **T_{va}** = 164.96 **°C** **Annexe 1**

Te : température d'entré de l'eau**, Te** = 50 **°C**

Ts : température de sortie de vapeur, **Ts** = 170 **°C**

Lv : la chaleur latente massique de vaporisation à 7 bars**, Lv**= 2046 **kj/kg** **Annexe 1**

Cp : la chaleur spécifique massique de vapeur d'eau **: Cp** = 1.61 **kJ/kg.** **Réf [3]**

A.N :

$$P_{eau} = 846*4.185*(164.96 - 50) + 846*2046 + 846*1.61*(170 - 164.96)$$

$$P_{eau} = 595.76\ kW$$

1.2.2 Les pertes :

- **Les pertes par les purges :**

Ce type des pertes sont calculées par la formule **7** de chapitre 2

Durant ma période de stage, les données nécessaires au calcul ne sont pas disponibles.

En consultation avec le service technique, les pertes par les purges sont estimées à 1% :

$$P_{pu} = P_{fioul} * 1/100$$

AN :

$$P_{pu} = 6.87\ kW$$

- **Les pertes par les fumées :**

On peut évaluer les pertes par fumées dans une chaudière, par la formule **6** de chapitre 2 :

$$P_{fumée}\ (\%) = k*(T_{fu} - T_a) / a(CO2)$$

Avec :

k =0.6 pour le fioul N°7.

$T_{fu} = 200\ °C$

$T_a = 30\ °C$

$a(CO2) = 12$

Le pourcentage de CO2 contenu dans les fumées se mesure à l'aide de l'analyseur des fumées, durant mon stage cet appareil n'était pas disponible, c'est pour cela que j'ai pris la valeur de année 2018.

AN

$$P_{fumée}\ (\%) = 8.5\%$$

- **Les pertes par les parois :**

Pour calculer ces pertes,

On a la chaudière est de forme cylindre creux de conductivité thermique **λ,** de rayon intérieur $\mathbf{r_1}$, et de rayon extérieur $\mathbf{r_2}$, de longueur **L** .

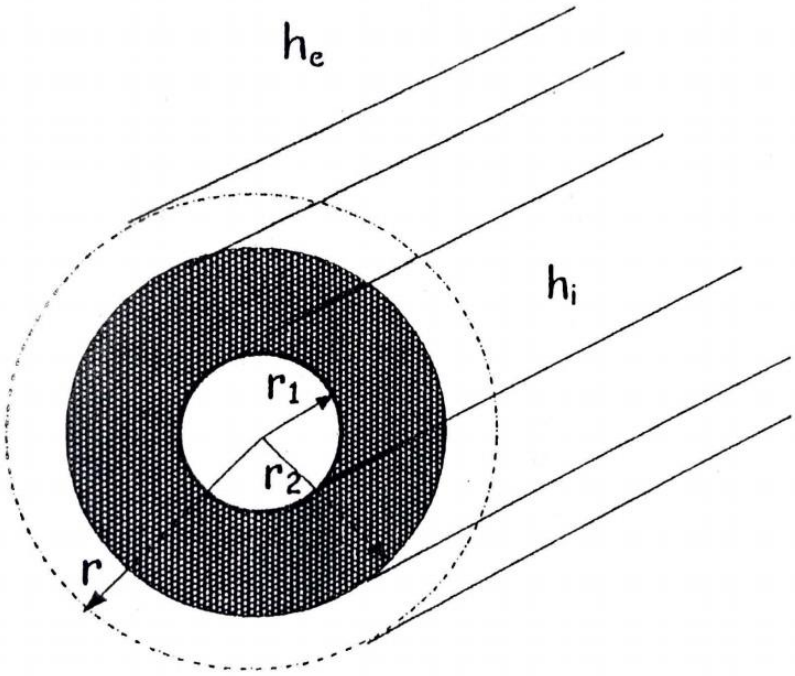


Figure 14 : La forme de la chaudière

Soit r le rayon du revêtement isolant et λ_i sa conductivité thermique, $\mathbf{h_i}$ et $\mathbf{h_e}$ sont les coefficients de transfert de chaleur par convection entre eau et les faces internes et externes

Isolant utilisé est l'amiante :

La résistance thermique dans ce cas est **Réf [4]** :

$$R_{th} = \frac{1}{hi\ 2\pi\ r1\ L} + \frac{\ln\frac{r2}{r1}}{2\pi\ \lambda\ L} + \frac{\ln\frac{r3}{r2}}{2\pi\ \lambda a\ L} + \frac{1}{he\ 2\pi\ r3\ L}$$

Données :

r_1 = 61.3 cm

r_2 = 62.5

r_3= 68.5 cm

L = 4 m

λ_a = 0.168 w/m.°C

λ = 50 w/m.°C

h_e = 20 w/m^2.°C

h_i = 1000 w /m^2.°C

AN :

R_{th} =0.02487 **°C/W**

Enfin on calcule le flux de chaleur à travers les parois :

$$\Phi_{parois} = (T_m - T_a)/ R_{th}$$

Avec :

T_m : la température moyenne dans la chaudière, **T_m = 400 °C**

T_a : la température ambiante, **T_a = 30 °C**

AN :

$$\Phi_{parois} = 14877.36 \text{ w}$$

Le pourcentage de flux des pertes par parois est :

$$P_{parois}(\%) = \Phi_{parois} / P_{fioul}$$

AN :

$$P_{parois}(\%) = 2.5\%$$

2. calcul du rendement :

Le rendement de la chaudière est calculé par la relation **5** du chapitre 2 :

$$\eta = P_{eau} / P_{fioul}$$

D'après les résultats trouvés précédemment :

- puissance de fioul : P_{fioul} = 687.4 **kW**
- puissance absorbée par l'eau : P_{eau} = 595.8 **kW**

On trouve que le rendement de la chaudière vaut :

$$\eta = 86.67\%$$

3. Interprétations et solutions amélioratives :

3.1. Interprétation :

On constate d'après le résultat obtenu que le rendement calculé est inférieur au rendement du constructeur (93%).

➡ Ceci justifie encore une fois que les pertes sont à l'origine de cet écart pour un Pourcentage de 13.33%.

D'après les calculs nous avons trouvé que les pertes par les fumées sont plus importantes par rapport aux autres. Cela montre que les pertes par les fumées ont une grande influence sur le rendement de la chaudière. Elles proviennent d'un excès d'air qui peut être dû à :

- Un mauvais réglage au niveau du brûleur.
- Des problèmes d'entretien tels qu'une mauvaise distribution de l'air ou une mauvaise pulvérisation du fioul.

3.2. Recommandations :

3.2.1. Pour les pertes par fumées :

- Maîtriser l'excès d'air par la mise en place d'un régulateur O2 / CO2 pour contrôler la quantité d'air nécessaire à la combustion afin d'avoir une bonne fumée dans la cheminée
- Nettoyer les surfaces d'échanges, par l'opération du ramonage qui doit être effectuée régulièrement.
- Mettre en place un économiseur (économiseur monté en casing sur la sortie fumée) : qui est un échangeur conçu pour récupérer la chaleur contenue dans les fumées chaudes des chaudières. Alors il devient intéressant d'utiliser cette chaleur pour préchauffer l'eau d'alimentation de la chaudière. Il sera installé entre la chaudière et la cheminée.

L'économiseur permet d'augmenter considérablement le rendement des chaudières de 4 à 6%.

Réduction des effets sur l'environnement

Les gaz libérés par la cheminée de la chaudière (NOX, NO, CO, CO_2) ont des effets néfastes sur l'environnement et la santé de l'homme par exemple : la destruction de la couche d'ozone, les pluies acides, les affections respiratoires. Pour limiter l'émission de ces gaz nous proposons de placer des filtres catalytiques.

3.2.2 Pour les pertes par les purges :

Les propositions concernant ce point sont :

- Diminuer le débit de l'eau de l'adoucisseur pour s'assurer de la qualité d'eau ainsi de la faiblesse teneur des sels dissous dans l'eau tels que les ions Mg2+ et Ca2+.
- Faire un nettoyage annuel de la chaudière pour enlever le calcaire qui se précipite dans les tubes.

3.2.3 Pour les pertes par les parois :

Depuis quelques années, l'amiante est légalement interdit à l'utilisation dans l'isolation, donc il faut la remplacer par un autre isolant. C'est pour cela nous suggérons d'utiliser la laine de verre (isolant minéral avec un très bon rapport qualité prix) afin de diminuer le flux de chaleur sortant de la chaudière

Les relations utilisées restent les même en modifiant la conductivité thermique de l'amiante par la laine de verre :

$\lambda_{laine} = 0.05$ **W/m.°C**

$\mathbf{R_{th} = 0.076\ °C / W}$

Et donc le nouveau flux à travers les parois est :

$$\Phi'_{parois} = 4868.42\ w$$

On définit le gain **Réf [4]** :

$$G = \frac{\Phi parois - \Phi' parois}{\Phi parois}$$

AN :

$$G = 67.27\ \%$$

On calcule à nouveau Le pourcentage des pertes par parois est :

$$\mathbf{P_{parois}\,(\%) = 0.82\%}$$

Le rendement et plus particulièrement les pertes n'ont pas été calculés d'une manière précise parce que nous ne disposons pas des données relatives au taux de salinité de l'eau de la purge, d'une fiche technique de la chaudière, l'analyse des teneurs en gaz carbonique dans la fumée, en oxygène, en azote…

Donc il faut impérativement commander les appareils de mesures capables de mesurer ces teneurs au niveau de la chaudière, ce qui permettrait un calcul plus précis du rendement.

Conclusion Générale :

Le stage effectué au sien du **EL ALF** m'a permis d'avoir un contact avec le milieu industriel et de connaitre les différentes étapes de production des produits d'aliments de Betail et volaille ainsi que les installations nécessaires pour ce type de fabrication.

Le sujet que nous avons traité « le bilan thermique de la chaudière au sein de EL ALF était très bénéfique, car il m'a permis de comprendre le circuit de la production de vapeur et de suivre les paramètres qui influencent sur le rendement de la chaudière.

À cet égard, nous avons suivi une démarche qui consiste en premier lieu, à évaluer la performance énergétique de la chaudière en calculant son rendement, et également les pertes engendrées durant la production de vapeur. Ainsi, proposer des actions et quelques perspectives pour l'amélioration.

Nous avons conclu que pour améliorer le rendement de la chaudière et prolonger sa durée de vie, il faut tout d'abord faire des suivies régulières de la qualité de l'eau alimentant la chaudière pour éviter les dépôts de tartre ainsi que la maitrise de l'excès d'air.

Pour cela nous avons proposé à la société différentes recommandations que nous pouvons résumer comme suit :

- ✓ Améliorer le système de traitement de l'eau d'alimentation pour éviter le cas de la chaudière encrassé.
- ✓ Nettoyer les surfaces d'échanges, par l'opération du ramonage.
- ✓ Mettre en place un économiseur.
- ✓ Changer isolant thermique qui est l'amiante par la laine de verre.
- ✓ Commander des appareils de mesure.

Pour résumer, il faut produire tout en respectant l'environnement, en protégeant les appareils et en économisant de l'énergie.

Bibliographie :

[1] http://ww2.ac-poitiers.fr/sc_phys/IMG/pdf/Chaudieres_a_vapeur_a_combustible.pdf

[2] https://fr.wikipedia.org/wiki/Flux_thermique

[3] Cours Thermodynamique : S. HAOUACHE, FST FES

[4] Cours transfert thermique : S. HAOUACHE, FST FES

[5]https://www.picbleu.fr/page/tableau-comparatif-pouvoir-calorique-inferieur-pci-des-énergies

[6]https://www.thermexcel.com/french/tables/vap_eau.htm

[7] http://www.elharzli.com/Telechargements/3.pdf

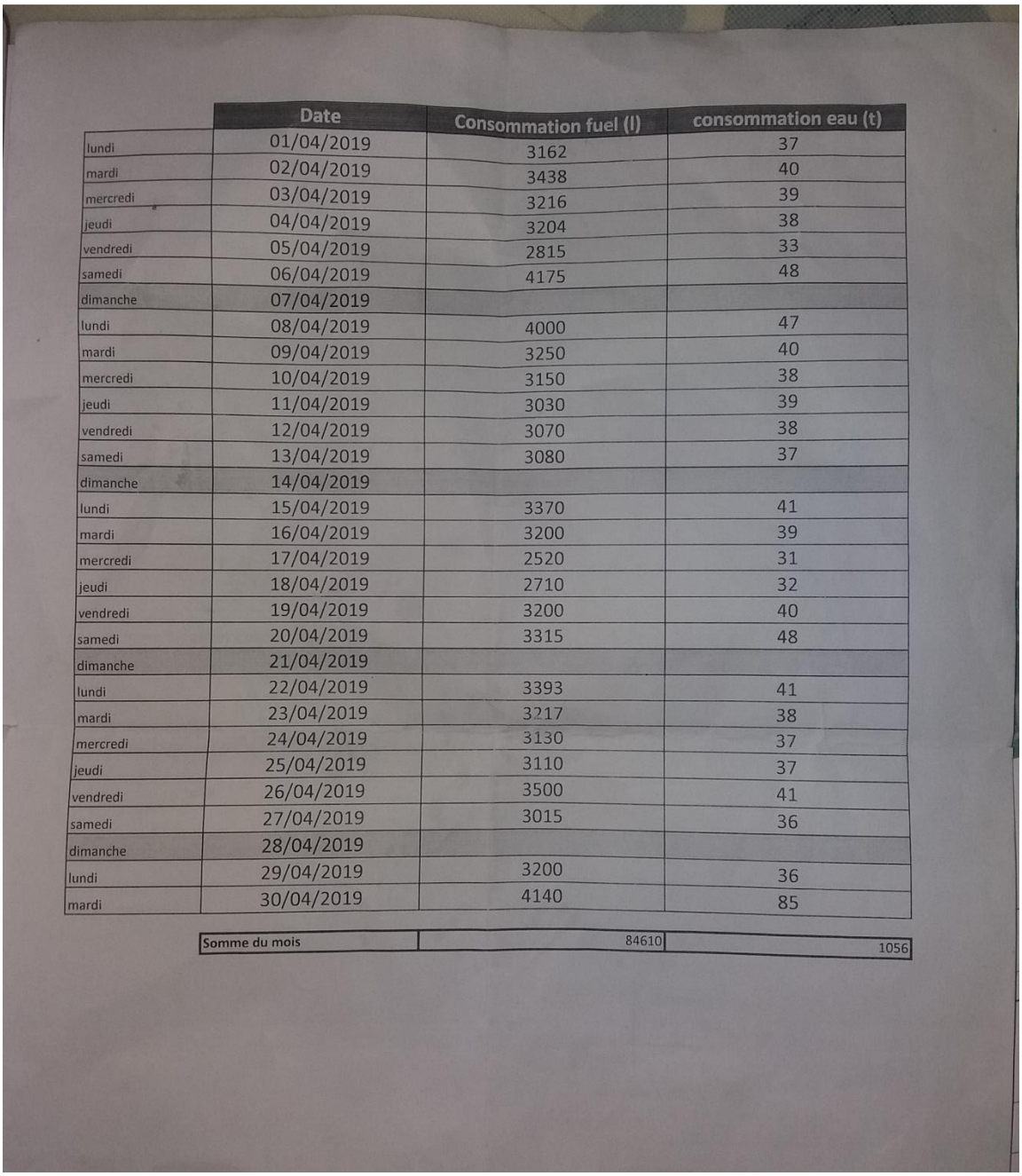
[8] https://energypedia.info/images/b/b4/Economie_d%27%C3%A9nergie_Sur_la_Production_de_Vapeur.pdf

Annexe 1

Pression absolue	Températ. évaporation	Volume massique vapeur	Masse volumique vapeur	Enthalpie spécifique de l'eau (Chaleur sensible)		Enthalpie spécifique de la vapeur (chaleur totale)		Chaleur latente de vaporisation		Chaleur spécifique vapeur	Viscosité dynamique vapeur
bar	°C	m3/kg	kg/m3	kj/kg	Kcal/kg	kj/kg	Kcal/kg	kj/kg	Kcal/kg	kj/kg.K	kg/m.s
0.02	17.51	67.006	0.015	73.45	17.54	2533.64	605.15	2460.19	587.61	1.8644	0.000010
0.03	24.10	45.667	0.022	101.00	24.12	2545.64	608.02	2444.65	583.89	1.8694	0.000010
0.04	28.98	34.802	0.029	121.41	29.00	2554.51	610.13	2433.10	581.14	1.8736	0.000010
0.05	32.90	28.194	0.035	137.77	32.91	2561.59	611.83	2423.82	578.92	1.8774	0.000010
0.06	36.18	23.741	0.042	151.50	36.19	2567.51	613.24	2416.01	577.05	1.8808	0.000010
0.07	39.02	20.531	0.049	163.38	39.02	2572.62	614.46	2409.24	575.44	1.8840	0.000010
0.08	41.53	18.105	0.055	173.87	41.53	2577.11	615.53	2403.25	574.01	1.8871	0.000010
0.09	43.79	16.204	0.062	183.28	43.78	2581.14	616.49	2397.85	572.72	1.8899	0.000010
0.1	45.83	14.675	0.068	191.84	45.82	2584.78	617.36	2392.94	571.54	1.8927	0.000010
0.2	60.09	7.650	0.131	251.46	60.06	2609.86	623.35	2358.40	563.30	1.9156	0.000011
0.3	69.13	5.229	0.191	289.31	69.10	2625.43	627.07	2336.13	557.97	1.9343	0.000011
0.4	75.89	3.993	0.250	317.65	75.87	2636.88	629.81	2319.23	553.94	1.9506	0.000011
0.5	81.35	3.240	0.309	340.57	81.34	2645.99	631.98	2305.42	550.64	1.9654	0.000012
0.6	85.95	2.732	0.366	359.93	85.97	2653.57	633.79	2293.64	547.83	1.9790	0.000012
0.7	89.96	2.365	0.423	376.77	89.99	2660.07	635.35	2283.30	545.36	1.9919	0.000012
0.8	93.51	2.087	0.479	391.73	93.56	2665.77	636.71	2274.05	543.15	2.0040	0.000012
0.9	96.71	1.869	0.535	405.21	96.78	2670.85	637.92	2265.65	541.14	2.0156	0.000012
1	99.63	1.694	0.590	417.51	99.72	2675.43	639.02	2257.92	539.30	2.0267	0.000012
1.1	102.32	1.549	0.645	428.84	102.43	2679.61	640.01	2250.76	537.59	2.0373	0.000012
1.2	104.81	1.428	0.700	439.36	104.94	2683.44	640.93	2244.08	535.99	2.0476	0.000012
1.3	107.13	1.325	0.755	449.19	107.29	2686.98	641.77	2237.79	534.49	2.0576	0.000013
1.4	109.32	1.236	0.809	458.42	109.49	2690.28	642.56	2231.86	533.07	2.0673	0.000013
1.5	111.37	1.159	0.863	467.13	111.57	2693.36	643.30	2226.23	531.73	2.0768	0.000013
1.5	111.37	1.159	0.863	467.13	111.57	2693.36	643.30	2226.23	531.73	2.0768	0.000013
1.6	113.32	1.091	0.916	475.38	113.54	2696.25	643.99	2220.87	530.45	2.0860	0.000013
1.7	115.17	1.031	0.970	483.22	115.42	2698.97	644.64	2215.75	529.22	2.0950	0.000013
1.8	116.93	0.977	1.023	490.70	117.20	2701.54	645.25	2210.84	528.05	2.1037	0.000013
1.9	118.62	0.929	1.076	497.85	118.91	2703.98	645.83	2206.13	526.92	2.1124	0.000013
2	120.23	0.885	1.129	504.71	120.55	2706.29	646.39	2201.59	525.84	2.1208	0.000013
2.2	123.27	0.810	1.235	517.63	123.63	2710.60	647.42	2192.98	523.78	2.1372	0.000013
2.4	126.09	0.746	1.340	529.64	126.50	2714.55	648.36	2184.91	521.86	2.1531	0.000013
2.6	128.73	0.693	1.444	540.88	129.19	2718.17	649.22	2177.30	520.04	2.1685	0.000013
2.8	131.20	0.646	1.548	551.45	131.71	2721.54	650.03	2170.08	518.32	2.1835	0.000013
3	133.54	0.606	1.651	561.44	134.10	2724.66	650.77	2163.22	516.68	2.1981	0.000013
3.5	138.87	0.524	1.908	584.28	139.55	2731.63	652.44	2147.35	512.89	2.2331	0.000014
4	143.63	0.462	2.163	604.68	144.43	2737.63	653.87	2132.95	509.45	2.2664	0.000014
4.5	147.92	0.414	2.417	623.17	148.84	2742.88	655.13	2119.71	506.29	2.2983	0.000014
5	151.85	0.375	2.669	640.12	152.89	2747.54	656.24	2107.42	503.35	2.3289	0.000014
5.5	155.47	0.342	2.920	655.81	156.64	2751.70	657.23	2095.90	500.60	2.3585	0.000014
6	158.84	0.315	3.170	670.43	160.13	2755.46	658.13	2085.03	498.00	2.3873	0.000014
6.5	161.99	0.292	3.419	684.14	163.40	2758.87	658.94	2074.73	495.54	2.4152	0.000014
7	164.96	0.273	3.667	697.07	166.49	2761.98	659.69	2064.92	493.20	2.4424	0.000015
7.5	167.76	0.255	3.915	709.30	169.41	2764.84	660.37	2055.53	490.96	2.4690	0.000015

Annexe 2 :

Relevés journaliers du compteur de consommation du fioul et d'eau du deux chaudières , pour une durée d'un mois (De 01 -04-2018 à 30-04-2018) :



	Date	Consommation fuel (l)	consommation eau (t)
lundi	01/04/2019	3162	37
mardi	02/04/2019	3438	40
mercredi	03/04/2019	3216	39
jeudi	04/04/2019	3204	38
vendredi	05/04/2019	2815	33
samedi	06/04/2019	4175	48
dimanche	07/04/2019		
lundi	08/04/2019	4000	47
mardi	09/04/2019	3250	40
mercredi	10/04/2019	3150	38
jeudi	11/04/2019	3030	39
vendredi	12/04/2019	3070	38
samedi	13/04/2019	3080	37
dimanche	14/04/2019		
lundi	15/04/2019	3370	41
mardi	16/04/2019	3200	39
mercredi	17/04/2019	2520	31
jeudi	18/04/2019	2710	32
vendredi	19/04/2019	3200	40
samedi	20/04/2019	3315	48
dimanche	21/04/2019		
lundi	22/04/2019	3393	41
mardi	23/04/2019	3217	38
mercredi	24/04/2019	3130	37
jeudi	25/04/2019	3110	37
vendredi	26/04/2019	3500	41
samedi	27/04/2019	3015	36
dimanche	28/04/2019		
lundi	29/04/2019	3200	36
mardi	30/04/2019	4140	85
Somme du mois		84610	1056