

Faculté des Sciences et Techniques de Fès



Département de Génie Industriel



LST de Génie Industriel

Projet de Fin d'Etudes

Le bilan thermique de la chaudière à
vapeur de la chaîne de production

Lieu : Société laitière centrale du nord

Référence : 10/15GI

Préparé par :

- Essalih Safaa
- Hadadi Hajar

Soutenu le 16 Juin 2015 devant le jury composé de :

- Pr. Rzine Bouchra
- Pr. Mohamed Rjeb
- Pr. Haouache Said
- Mr. Nassouh Driss

REMERCIEMENT

Nos remerciements s'adressent tout particulièrement à la direction de la SLCN Fès qui nous a accordée ce stage fructueux et enrichissant qui a duré deux mois.

Nous tenons vivement à exprimer notre profonde reconnaissance à **Monsieur Driss NASSOUH** notre encadrant, pour son aide, sa collaboration, ses précieux conseils et sa compréhension qu'il a montrée à notre égard, ainsi que pour toutes les informations utiles qu'il n'a cessé de nous fournir durant toute la période de notre stage.

Un remerciement particulier à notre encadrant **Monsieur Saïd HAOUACHE** pour ses précieux aides et conseils, et sa disponibilité que nous avons beaucoup appréciée.

Enfin, que tous le personnel technique du service maintenance et les agents de SLCN, ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce stage, trouvent ici l'expression de nos vifs remerciements.

DEDICACE

Nous dédions ce travail en premier lieu nos chers parents, nulle dédicace n'est susceptible de vous exprimer notre profonde affection, notre immense gratitude pour tous les sacrifices que vous avez faits et que vous allez faire pour nos études.

On le dédie aussi à :

Nos frères et Nos sœurs.

Nos chers formateurs et formatrices pour leurs efforts et leurs soutiens.

Toutes nos amies de la section Génie industriel.

Tous ceux qui nous ont aidées de près ou de loin.

Enfin à tous le personnel de La SCLN.

Sommaire

INTRODUCTION	6
Chapitre 1 : la présentation de la société :	7
I. Historique :.....	8
II. Identification :.....	8
III. Organisation de la société :	8
1. La direction générale.....	8
2. La direction technique.....	9
3. La direction commerciale.....	9
4. La direction financière	10
5. La gestion administrative.....	10
IV. Organigramme de la société :	11
V. Description de la chaine de production :	12
1. Approvisionnement en lait cru :.....	12
2. Réception, refroidissement et stockage du lait cru :.....	12
3. Les procédés de fabrication des produits laitiers :	19
Chapitre 2 : généralités sur les chaudières à combustible	21
I. Généralités et définition :.....	22
1. Définition :.....	22
2. Types de chaudière à combustible :	22
3. Comparaison des performances :.....	24
II. Etude thermodynamique :	24
1. Chaleur :.....	24
2. Puissance thermique :	25
3. La combustion :	25
Chapitre 3 : description de la chaudière à vapeur au sein de la SLCN	27
I. Description de l'installation de la chaudière à vapeur au sein de la SLCN :.....	28
II. Description des composants de la chaudière à tube de fumée :.....	30
1. Le brûleur :	31
2. Soupape de sûreté :.....	35
3. Pressostat de régulation :	35
4. Cheminée :.....	35
5. Indicateur de niveau de sécurité d'eau :.....	35
6. Pompe d'alimentation en eau :	36
7. La vanne de purge :	36

Projet de fin d'étude

8. Foyer de chaudière :	36
9. Tubes de fumée :	36
III. Fonctionnement :	37
Chapitre 4 : bilan thermique de la chaudière à vapeur au sein de la SLCN	38
I. Introduction :	39
II. Evaluation des pertes :	39
III. Calcul de bilan thermique :	41
1. Energie entrante :	41
2. Energie sortante :	41
3. Calcul du rendement :	43
IV. Interprétations des résultats et recommandations :	44
1. Interprétation :	44
2. Recommandations :	45
Pour les pertes par les fumées :	45
CONCLUSION :	47
BIBLIOGRAPHIE.....	48

INTRODUCTION

Notre formation à la Faculté des sciences et techniques de Fès est clôturée par un stage de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de la licence Génie industriel.

Ce stage a pour objectif de compléter les connaissances théoriques et pratiques acquises par l'étudiant lors de sa formation et d'avoir une expérience purement professionnelle pour bien s'adapter au marché du travail.

Nous avons eu l'occasion d'effectuer notre stage à la société anonyme marocaine de l'industrie laitière « Société Laitière Centrale du Nord » au sein du service maintenance, notre mission était de faire le bilan thermique de la chaudière à vapeur de la chaîne de production de la société laitière centrale du nord.

Le rapport de stage se compose de quatre chapitres :

- Le premier chapitre sera consacré à la présentation de la société SLCN et à quelques généralités sur le lait et sur la chaîne de production.
- Dans le deuxième chapitre nous parlerons des chaudières de façon générale ainsi que leurs types.
- Dans le troisième chapitre nous allons décrire les composantes de la chaudière à tubes de fumée, son fonctionnement ainsi que l'installation de la chaudière au sein de la SLCN.
- Le quatrième chapitre sera consacré aux interprétations des résultats du bilan thermique ainsi que quelques recommandations.
Puis nous terminerons par une conclusion.

Chapitre 1 : la présentation de la société :



I. Historique :

La SLCN ou la Société Laitière Centrale du Nord est une société agro-alimentaire, située à 5 Km au Nord-Ouest de la ville de Fès.

Elle a été créée le 18 Mai 1976 par des agriculteurs soutenus par l'Office du Développement Industriel (ODI), pour le traitement du lait collecté avec une capacité de 60 mille litres par jour.

L'investissement de départ s'élève à la somme de 3 millions de Dirhams, répartis en 3000 actions, elle a entré en fonction le 12 Novembre 1979, et elle a lancé 5 produits : Lait pasteurisé, RAIBI, Fromage frais, Yaourt et le Beurre.

Entre 2000 et 2004 la société a investi dans la modernisation et l'extension des différentes structures de fabrication et distribution. Aujourd'hui, la société ne cesse de diversifier et d'améliorer la qualité de ses produits pour répondre aux exigences des consommateurs et être compétitive sur un marché fortement concurrentiel.

II. Identification :

Nom	Société laitière centrale du nord (SLCN)
Statut social	Société anonyme(S.A)
Capital social	63.000.000 DH
Activité principale	Production et commercialisation du produit laitier
Marque	Saïss lait
Effectif du personnel	110 personnes
%capacité de production	Installe : 60000 l/j, réelle 21000l/j, taux de remplissage 30%
Marché	Fès, Meknès et leur région
Adresse	Km 5, route ben souda Fès
Tel	0635726274/0535655096
Fax	0535655070
E-mail	saisslait@yahoo.fr

III. Organisation de la société :

1. La direction générale

La direction générale gère et organise tout le service de l'entreprise suivant une politique générale à travers :

- ❖ L'organisation des réunions régulières concernant les problèmes rencontrés au niveau aussi bien de la production et la qualité que de l'entretien et l'approvisionnement.
- ❖ L'instauration d'une procédure claire à suivre par les services de production et commercialisation.

2. La direction technique

a. Service de production

Ce service a pour principale activité la production de tous les produits laitiers fabriqués au niveau de cette société.

Le processus de fabrication de ces produits est soumis à un contrôle sévère de qualité. Ce contrôle consiste, d'une part, à faire des examens physicochimiques préliminaires permettant de s'assurer de la qualité du lait tout au long du processus de production et d'autre parts, de veiller sur tenue continue de l'hygiène au sein de l'entreprise.

Ces examens s'effectuent dans un laboratoire. En effet, au niveau de cette structure s'effectuent toutes les analyses physicochimiques et les analyses bactériologiques sur les matières premières, produits finis et produits en cours pour assurer la qualité de ces derniers. Sans oublier la préparation des ferments.

b. Service de maintenance

Il y a aussi le service maintenance qui est constitué de deux ateliers à savoir :

- Installation technique, qui a pour missions la maintenance, l'entretien et la réparation des machines qui assurent la fabrication des produits laitiers de ladite société.
- Parc automobile, où les véhicules de la SLCN sont contrôlés mécaniquement, entretenus et réparés.

3. La direction commerciale

En plus des opérations courantes à savoir l'achat des matières premières et la vente des produits fabriqués par la SLCN, ce département fournit des informations sur le type de produit désiré sur demande du client. Il fait aussi des estimations de la demande pour informer le service production ce qui permettrait à ce dernier d'organiser ses plans de productions.

Ce service est le premier responsable de l'état du stock des produits finis c'est pour cela qu'il donne beaucoup d'importance au contrôle des quantités. Soit les quantités sorties du stock (commande, casses frigo ou bien dégustation) soit aux quantités entrées du stock (production ou bien les rendus les livreurs de la société) ainsi il contrôle et calcule la quantité des produits détruits des vendeurs et des clients afin de déterminer la quantité vendus pour faciliter la facturation au niveau du service informatique. Ce département fournit également des informations sur le type de produit désiré sur demande du client. Il fait aussi des estimations de la demande pour informer le service production ce qui permettrait à ce dernier d'organiser ses plans de productions. Sans oublier que ce service assure la gestion des fichiers clients et vendeurs pour chaque jour afin de calculer le nombre des recettes par vendeur ou bien par clients et par produits.

4. La direction financière

Cette direction comporte deux services à savoir le service comptabilité qui enregistre les commandes, les ventes, les mouvements du stock, les effets à recevoir. Et celui informatique qui consiste à enregistrer toutes les opérations du vécu de la société.

a. Service de comptabilité

Ce service a pour fonction de veiller à l'enregistrement, au jour le jour, de l'ensemble des opérations quotidiennes effectuées par la société, que ce soit des opérations de ventes, d'achats ou de règlements, à l'aide d'un logiciel MOUHASSIB.

b. Service informatique

Ce service (dont le rôle est très important au sein de la société et qui consiste à enregistrer au jour le jour toutes les opérations d'entrées-sorties du magasin ou des différents ateliers, ainsi que le suivi des états (clients, fournisseurs, livreurs,...) et de traiter toutes les informations recueillis pour être diffusées aux autres services).

5. La gestion administrative

Ce département a pour mission de coordonner entre tous les services de la société il comporte :

a. Service de ressources humaines

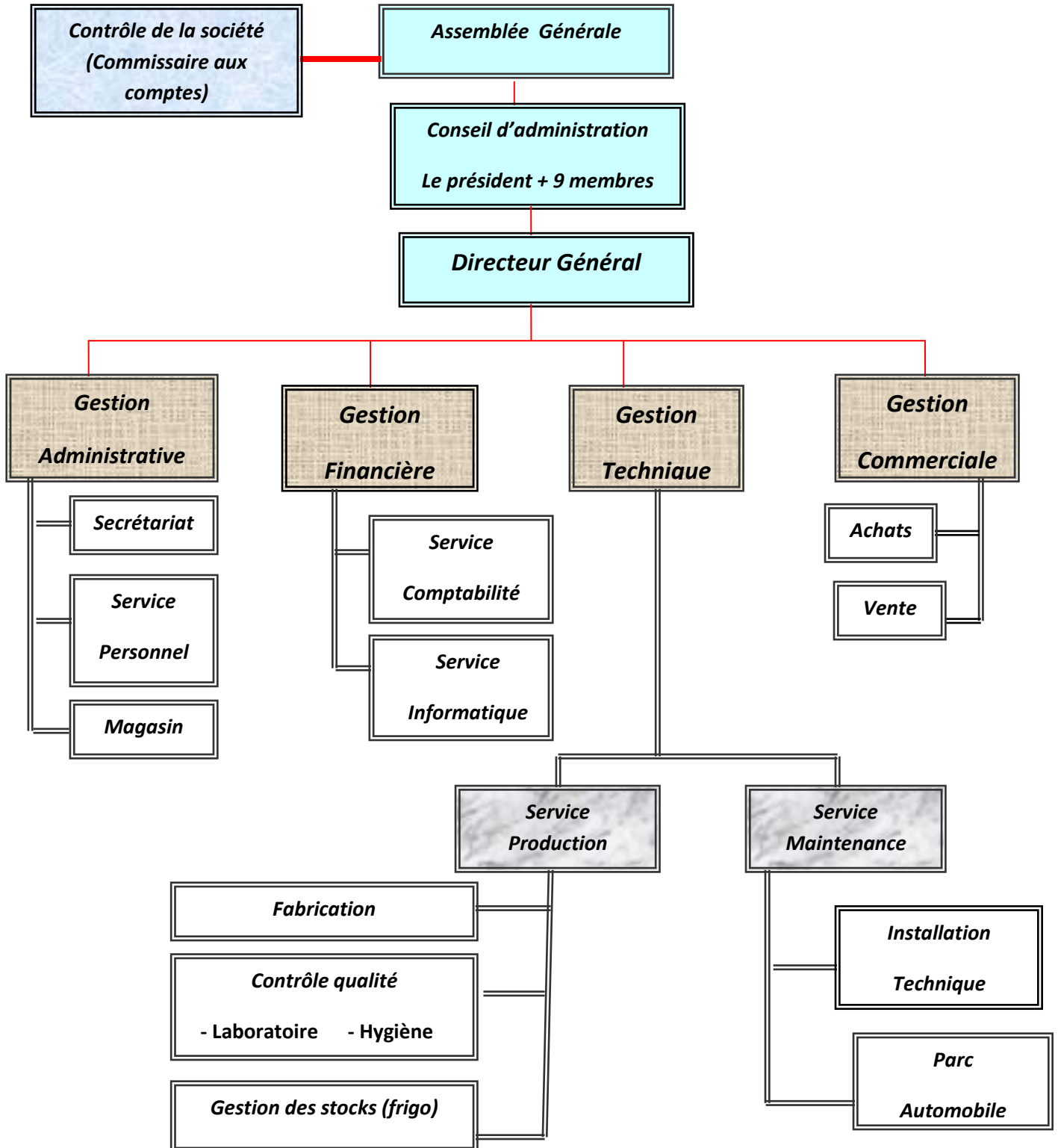
Le personnel consiste le pivot pour toute entreprise, et sa bonne gestion assure son succès et son aller en avant. En effet , le capital humain joue le rôle du protecteur des intérêts de l'entreprise en assurant la bonne marche de sa politique de travail, ainsi que le contrôle régulier des différents services de la société , pour que les taches soient claires pour chacun de ses employés.

b. Secrétariat

Il s'occupe du classement des archives, de la coordination administrative entre les services de l'entreprise, de la réception et la transmission du courrier, etc.

IV. Organigramme de la société :

Organigramme de la société



V. Description de la chaîne de production :

1. Approvisionnement en lait cru :

Cette tâche est assurée par le service production laitière ; il s'occupe de la collecte du lait cru des différentes coopératives de la région (FES : RAS EL MAE, SIDI HARASEM, SEFROU : BOUGHIOUI, SIDI KACEM : MECHRAE BEL KSIRI).

La collecte s'effectue deux fois par jour (à partir de 6h et 14h) par des camions citerne iso thermique contenant 3 compartiments de capacité différente.

A l'arrivée, le chauffeur présente au responsable de la réception un bon de livraison dans lequel il a mentionné : le N° de bon, N° de citerne, N° de l'agriculteur, heure d'arrivée et le lettrage annoncé.

Avant d'amener l'échantillon au laboratoire, le lait est testé par le bromocrésole qui fait apparaître le degré d'acidité du lait, si il donne une coloration jaune le lait est acide, verte : légèrement acide, violette : bon lait.

A ce moment là, le responsable prend des échantillons de chaque compartiment pour effectuer les analyses physico-chimiques (test d'antibiotique, acidité, test d'alcool, extrait sec, matière grasse...).

2. Réception, refroidissement et stockage du lait cru :

a. Réception :

Si le lait est conforme, l'opérateur passe au dépotage. Le lait ensuite sera débarrassé des substances volatiles (malodorantes) en passant dans un dégazeur, puis il est aspiré par une pompe centrifuge menée d'un purgeur qui permet l'usage du dégazeur et éviter ainsi des prises d'air par la pompe, ensuite le lait passe par un compteur volumétrique pour déterminer le volume exact du lait entrant tout en traversant un filtre en acier inoxydable qui retient les impuretés macroscopiques.

b. Refroidissement et stockage :

Pour freiner la prolifération microbienne, on amène le lait à une température de 4 °C en utilisant un échangeur à plaques à contre courant où les plaques constituent la surface d'échange de chaleur. Chaque plaque intègre un joint formant un système fermé de passages alternatifs et parallèles entre les plaques, à travers lesquels le fluide principal (le lait à 20 °C) circule à contre courant avec le fluide frigoporteur (l'eau glacée à 0°C), ce qui permet l'échange de chaleur.

Le lait est ensuite, stocké dans un tank isotherme en acier inoxydable équipé d'un agitateur qui empêche la formation de la crème à la surface. La capacité de stockage du lait cru est de l'ordre de 250.000 litres.

c. Thermisation et écrémage du lait :

i. Thermisation :

Il n'est pas possible de pasteuriser le lait immédiatement après réception. Le lait doit être stocké dans des cuves de stockage pendant plusieurs heures ou plusieurs jours. Dans ces conditions même une réfrigération poussée ne suffit pas à éviter une grave détérioration de la qualité. Donc la thermisation consiste à préchauffer le lait à une température inférieure à la température de pasteurisation, pour inhiber provisoirement la croissance des bactéries, notamment les pathogènes. Le lait est chauffé à 75 °C, une combinaison de température et de durée qui n'active pas l'enzyme phosphatase (qui va nous servir pour s'assurer de l'efficacité de la pasteurisation pour éviter la multiplication des bactéries sporulées aérobies après la thermisation, le lait doit être refroidi rapidement à 4 °C ou moins et ne doit pas être mélangé au lait non traité. De nombreux experts estiment que la thermisation a un effet favorable sur certaines bactéries sporulées. Le traitement thermique fait revenir de nombreuses spores à l'état végétatif, et elles sont donc détruites lors de la pasteurisation ultérieure du lait.

Le lait qui est initialement à une température de 4 à 8 °C passe à 75 °C pour assurer la destruction d'une bonne proportion de micro-organismes en vue de garder le produit à un niveau bactériologique acceptable en attendant son utilisation, pour cela, on fait passer le lait cru dans un thermiseur à plaques.

Le thermiseur est composé de trois sections :

- 1) Le lait cru vient du tank 25 à une température entre 4 et 6 °C pour passer à la section de préchauffage permettant la récupération de la chaleur du lait chaud par un circuit lait froid / lait chaud, le lait ressort ainsi à 45 °C et est envoyé à l'écrémeuse puis revient au thermiseur avec la même température.
- 2) Section où la température du lait est augmentée jusqu'à 75 °C par de l'eau chaude par l'échangeur de chaleur à plaque à contre courant, puis passe dans le chambreur pour maintenir la température de 75 °C durant le temps nécessaire.
- 3) Section de refroidissement du lait, qui a été déjà pré-refroidi par contact indirect avec le lait cru entrant au thermiseur, ensuite on passe à un refroidissement final à 6 °C par l'usage de l'eau glacée.

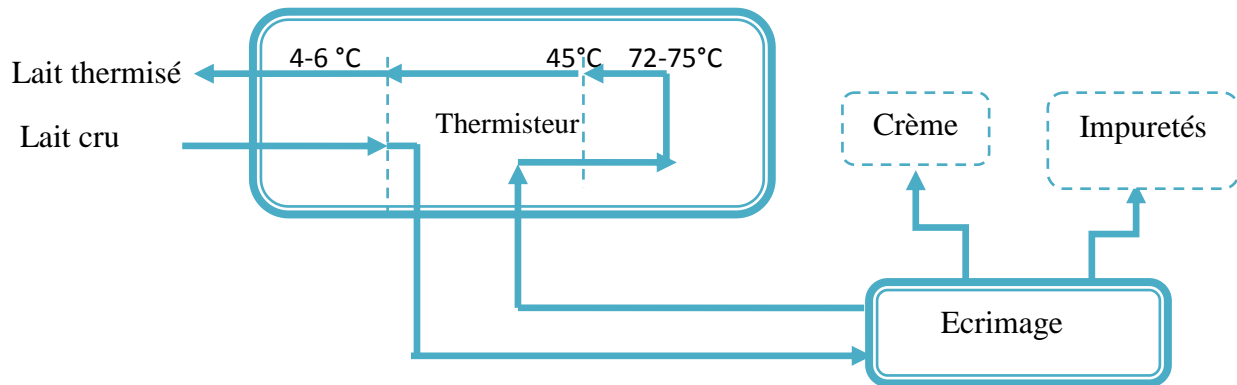


Schéma de la thermisation-écrémage

ii. Ecrémage du lait :

Après avoir préchauffé le lait à une température de l'ordre de 45 °C, on procède à l'écémage. C'est une opération de séparation mécanique moyennement une centrifugeuse qui permet, d'une part, l'élimination des impuretés suspendues dans la solution et d'autre part, l'isolation de la crème du lait écémé.

L'évacuation des impuretés de l'écémuse s'effectue par l'ouverture périodique d'une électrovanne (durée de débouillage : 0.5 à 2 secondes, mais cette durée peut être variable selon la quantité de boues à éjecter) qui entraîne un volume d'eau destiné au nettoyage de bas de l'écémuse (chambre à boues).

Par jeu de vanne, le lait écémé est soutiré vers la deuxième section du thermisteur et la crème à 400 g/l de matière grasse est récupérée dans une cuve qui a une capacité de 2370 l.

Après avoir traversé le système de standardisation (écémage), le débit de crème est divisé en deux flux. L'un, dont le débit permet de conférer au lait la teneur en matière grasse finale désirée, va vers l'homogénéisateur, et l'autre, la crème excédentaire, va vers la cuve de stockage de la crème.

d. La pasteurisation :

Le lait est aspiré par une pompe vers un tank de lancement équipé d'un flotteur qui maintient le niveau constant du lait (régulateur). Ce lait passe à un traitement thermique très adéquat nommé : la pasteurisation.

La pasteurisation est un traitement thermique qui vise à détruire les germes pathogènes et à réduire la flore totale.

Le pasteurisateur est constitué d'échangeur de chaleur qui comporte plusieurs sections ainsi qu'un chambreur. L'échangeur de chaleur à plaques à contre-courant rectangulaires disposées verticalement et

Projet de fin d'étude

constituée de plusieurs plaques serrées les unes contre les autres par des joints qui assurent une bonne circulation et qui peut réchauffer ou refroidir en continu.

Le principe de l'échangeur de chaleur est simple, le lait circule parallèlement à un fluide thermique et entre les deux fluides se trouve une plaque (surface de chauffe). L'écart de température entre les deux fluides provoque un courant thermique à travers la surface de chauffage. Le fluide froid se réchauffe donc et le fluide chaud se refroidit.

L'échangeur est constitué de trois sections :

- La section de récupération de chaleur :

Le lait froid est préchauffé par le lait chaud sortant du chambreur. Cette section permet un préchauffage du produit entrant et un pré-refroidissement du produit sortant. Aucune énergie extérieure n'est nécessaire, ce qui permet d'économiser beaucoup d'énergie.

- La section de chauffage :

Doit amener le produit préchauffé dans la section de récupération à la température de pasteurisation (la température et le temps de pasteurisation sont des facteurs très importants que l'on devra choisir avec précision, en fonction de la qualité du lait et de la durée de conservation requise) mais le barème le plus fréquemment adopté est de l'ordre de : 95 °C pendant 3 à 4 minutes. Ensuite, le lait passe dans le chambreur.

Un chambreur qui est un tube calorifuge dont le volume permet, selon le débit, de maintenir la température de pasteurisation durant le temps nécessaire.

A la sortie du chambreur, le produit est pré-refroidi dans la section de récupération de chaleur.

- La section de refroidissement :

Après un pré-refroidissement dans la section de récupération de chaleur entre le lait chaud/froid, un brusque refroidissement est effectué afin que la température du produit reste un minimum du temps entre 60 °C et 10 °C, plage de température favorisant la prolifération microbienne. Ainsi, après pasteurisation, le lait est refroidi à une température voisine du point de congélation afin de ralentir le développement des germes restants.

Cette tâche est réalisée grâce à un échange de chaleur entre le produit (lait pasteurisé) et l'eau glacée.

e. Homogénéisation :

L'homogénéisation est une opération qui sert à empêcher les globules gras de remonter à la surface du lait en réduisant leur diamètre.

Le produit pénètre dans le bloc-pompe et mis sous pression par la pompe à pistons. La pression obtenue dépend de la contre-pression assurée par la distance entre le clapet et le siège de la tête d'homogénéisation, le lait est forcé dans un étroit orifice annulaire de 0.1 mm où les globules gras sont fonctionnés.

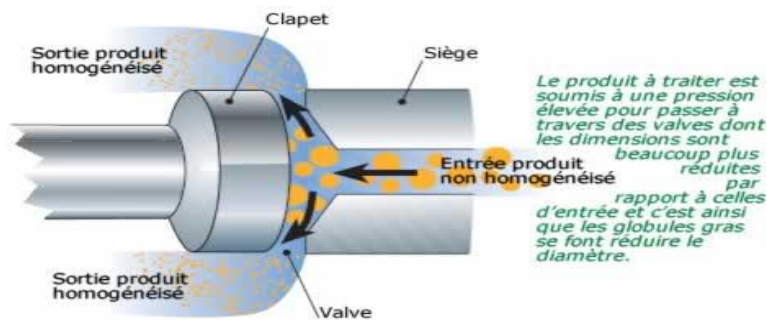


Figure 5 : Principe de fonctionnement d'un homogénéisateur

f. Conditionnement :

Le conditionnement est l'ultime étape dans la chaîne de production.

Destinée à véhiculer les produits laitiers fluides dans les réseaux de production et de distribution, l'emballage doit avoir certaines qualités :

- Etre attrayant par sa forme et sa présentation ;
- Offrir une protection efficace au produit contre les chocs physiques, la lumière et la chaleur ;
- Préserver le contenu des odeurs ou saveurs étrangères ;
- Faciliter la manipulation du produit ;
- Etre économique et adapté aux exigences modernes de production.

i. Types d'emballage :

❖ L'emballage en carton :

L'emballage en carton, malgré sa faible résistance, est apprécié par les consommateurs pour son apparence, sa forme et sa commodité. Il permet, en outre, une bonne protection du produit. Fabriqué de carton enduit de polyéthylène.

Les équipements utilisés pour ce type d'emballage sont nombreux et offrent beaucoup de flexibilité et de rapidité. L'opération entière, incluant le montage du contenant, le remplissage, le scellage et la mise en caisses, est de plus en plus intégrée pour répondre aux exigences nouvelles des usines.

❖ L'emballage en plastique flexible :

Les avantages de ce plastique sont : coût minime ; la possibilité de fabriquer ou d'assembler directement les contenants sur la doseuse, réduisant d'autant les besoins d'espace d'entreposage ; le prix inférieure des doseuses requises...

Les inconvénients des emballages flexibles, signalons leur manipulation difficile pour le consommateur et une protection insuffisante du produit contre les rayons lumineux, sensible à la chaleur ambiante par rapport au carton (d'après des suivis effectués pendant la livraison).

ii. Appareils de conditionnement :

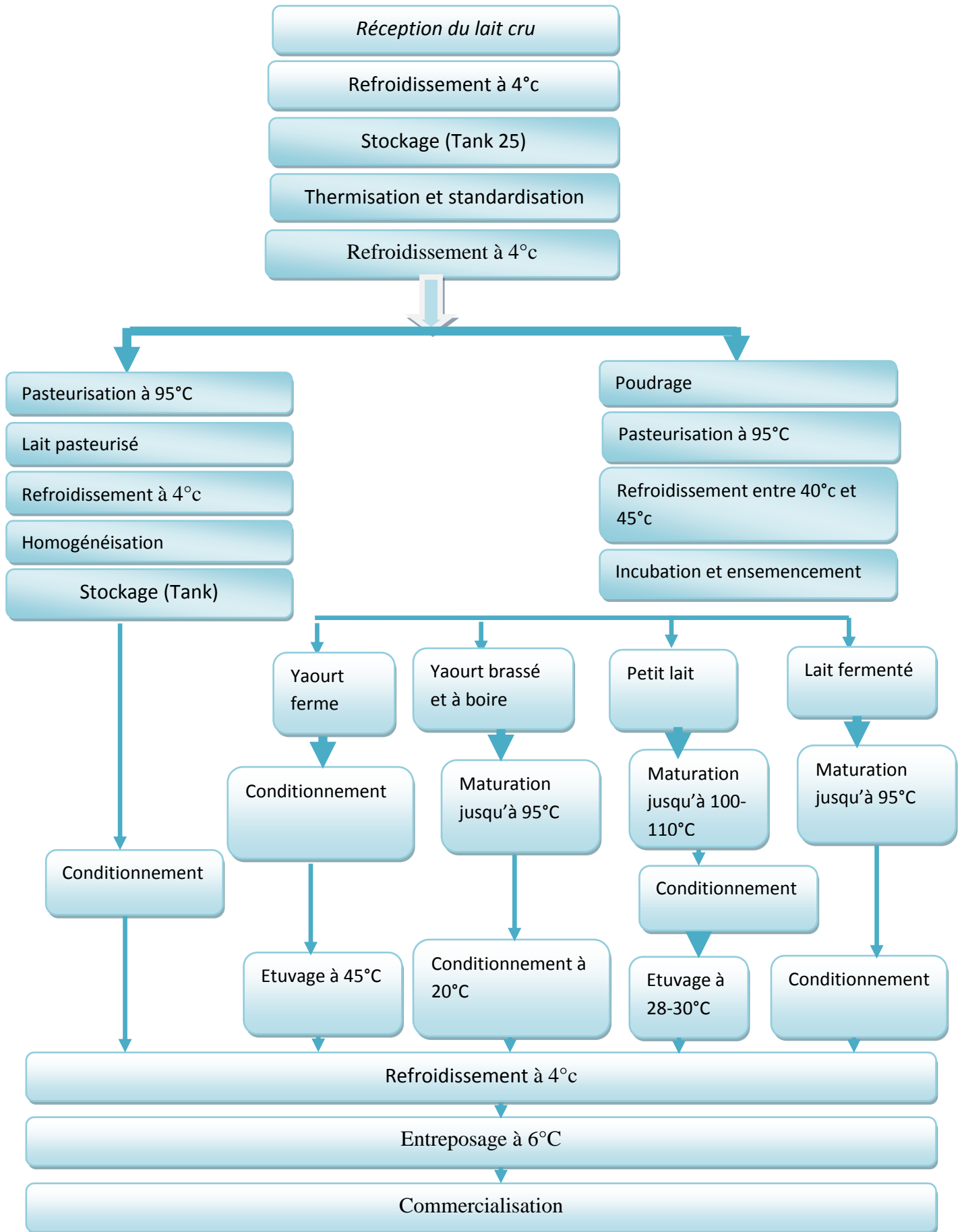
Les équipements varient en fonction du type d'emballage utilisé et de la cadence désirée, ils sont de deux types : ceux qui opèrent par gravité et ceux dites volumétriques fabriqués généralement en acier inoxydables pour les parties qui entrent en contact avec l'aliment et pourvus d'un système de nettoyage.

Le conditionnement est réalisé par trois types de machines à savoir :

- Galdi RG50 :
Permet le conditionnement du lait pasteurisé et lait fermenté « Doulci » dans des emballages cartonnés de ½ litre.
- La PREPAC :
Cette machine permet d'emballer le lait pasteurisé, lait fermenté « Doulci » et le petit lait « LBEN » dans des sachets en polyéthylène, d'un ½ litre ou d'un ¼ litre qui sont au début sous forme de film en polystyrène, après pliage et soudure verticale par une résistance, le lait est injecté à l'aide d'une pompe doseuse à la fin de processus le sachet (plein) est fermé et détaché des autres, à la réception des sachets se trouve des ouvriers qui vont les classer dans des caisses.
- La THERMOPACK :

C'est une machine remplisseuse de pots, assurant la fermeture et la soudure des pots ainsi que marquage des dates sur les étiquettes. Elles permettent le conditionnement du yaourt (brassé, fermé, Raibi), capables aussi de produire des séries de douze pots de polystyrène.

Projet de fin d'étude



3. Les procédés de fabrication des produits laitiers :

a. Lait pasteurisé :

- 1- Après thermisation et standardisation détaillée, le lait est pasteurisé, puis refroidi jusqu'à 4 °C
- 2- Le conditionnement est effectué par :
 - « PREPAC » dans un emballage en plastique.
 - « GALDI » dans un emballage en carton.
- 3- Le lait est conservé en chambre froide de (5-8 °C) jusqu'à commercialisation.

b. Le yaourt :

- 1- Après thermisation et standardisation, viens l'étape du poudrage où on ajoute les ingrédients suivants :

La poudre du lait pour augmenter l'extrait sec du lait.

Le conservateur alimentaire.

Le sucre.

- 2- Le mix est pasteurisé, puis refroidi jusqu'à 40-45 °C, température adaptée au développement des ferments lactique du yaourt.
- 3- Le produit estensemencé avec le ferment lactique et aromatisé puis brassé.

i. Le yaourt ferme:

- 4- Après incubation dans la cuve, si l'acidité dépasse 25 °D on passe directement au conditionnement dans des Pots de polystyrène par la machine « thermo-pack ».
- 5- C'est la période d'incubation : le produit est maintenu à 40-45°C dans l'étuve.
- 6- Quand l'acidité est entre (90 °D-95 °D) après 6 à 8 heures d'incubation à 40-45 °C, le produit se solidifie, c'est la coagulation.
- 7- Pour stopper la fermentation en le fait subir un choc thermique de 3 à 4 °C dans le tunnel.
- 8- Le yaourt est conservé en chambre froide de (5-8 °C) jusqu'à commercialisation.

ii. Le yaourt brassé (youplait) :

- 9- L'incubation est dans des cuves de fermentation où le produit est maintenu à 40-45 °C.
- 10- Après 6 à 8 heures d'incubation à 40-45 °C, le produit se solidifie
- 11- La fermentation est stoppée par agitation pour le conditionner par « THERMOPACK » dans des pots de polystyrène.
- 12- Le yaourt est conservé en chambre froide de (5-8 °C) jusqu'à chargement.

iii. Le lait fermenté (chahy) :

- 13- 4- L'incubation est dans des cuves de fermentation où le produit est maintenu à 40-45 °C.
- 14- 5- Quand l'acidité est entre (90 °D-95 °D) après 6 0 8 haures d'incubation à 40-45 °C, le produit se solidifie, c'est la coagulation.

15- 6- La fermentation est stoppé par agitation pour le conditionné soit par :

16- « PREPAC » dans un emballage en plastique.

17- « GALDI » dans un emballage en carton.

18- Le yaourt est conservé en chambre froide de (5-8 °C) jusqu'à chargement.

iv. Petit lait (LBEN) :

4- L'incubation est dans des cuves de fermentation où le produit est maintenu à 40-45 °C.

5- Quand l'acidité est au environ de 100-110 °D après 12 à 16 heures d'incubation à 40-45 °C, le produit se solidifie, c'est la coagulation.

6- La fermentation est stoppée par agitation pour le conditionner soit par :

« PREPACK » dans un emballage en plastique.

« GALDI » dans un emballage en carton.

7- Le yaourt est conservé en chambre froide de (5-8 °C) jusqu'à chargement.

Chapitre 2 : généralités sur les chaudières à combustible



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 de la pression atmosphérique. 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.

Ce type de chaudière se compose de deux compartiments distincts :

- L'un dans lequel brûle le combustible : Le foyer.
- Un autre dans lequel l'eau est chauffée.

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.

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.

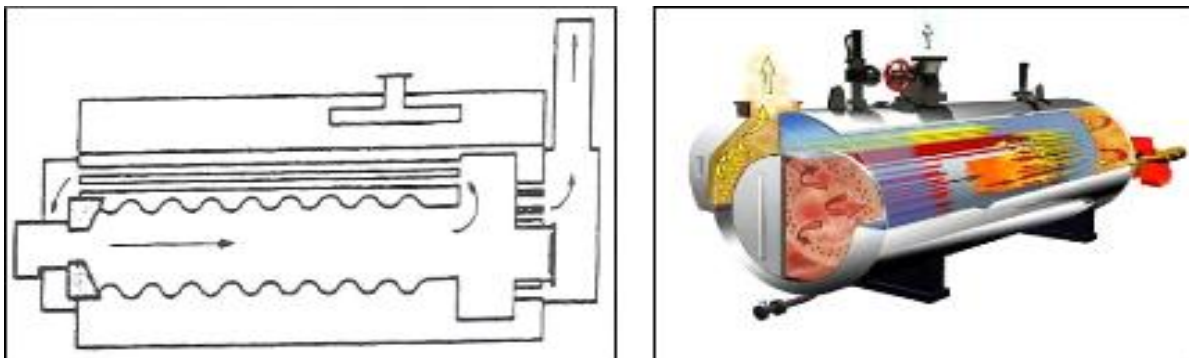


Figure 1 : la chaudière à tube du fumée. [Réf[1]]

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.

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.

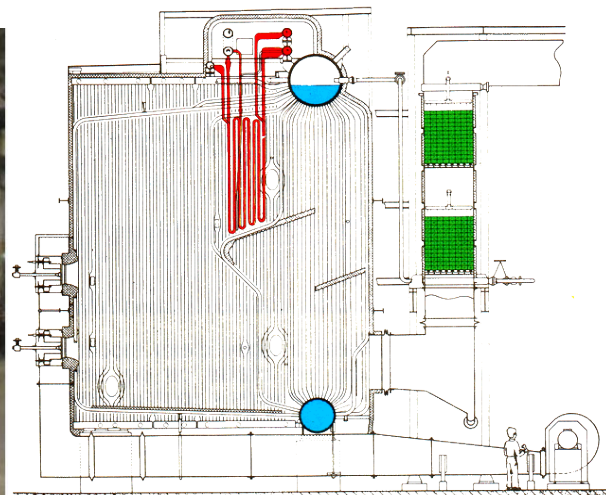


Figure 2 : la chaudière à tube d'eau. [Réf[2]]

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	Médiocre	Bonne
Encombrement	Faible	Fort
Prix	Limité	Elevé
Applications usuelles <ul style="list-style-type: none">• Puissance• Débit• Timbre (pression max. d'utilisation)	<ul style="list-style-type: none">• Moyennement élevée• 1.5 à 25 t/h• 10 à 20 bars	<ul style="list-style-type: none">• Importante• 4 à 200 t/h• 90 à 100 bar (en circulation naturelle) et jusqu'à 225 bar (circulation forcée)

Tableau 1 : comparaison des performances entre les chaudières à tubes de fumées et les chaudières à tubes d'eau [Réf[2]]

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 moléculaire correspondant à une agitation désordonnée.

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 ;

Le transfert de chaleur peut avoir deux types d'effets sur un système, ces deux types pouvant coexister pour un corps hétérogène ou se succéder pour un corps pur homogène.

Projet de fin d'étude

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:

$$Q = m c (T_2 - T_1)$$

Où Q est la chaleur sensible (en J), m est la masse du corps (en kg), c est la chaleur massique de ce corps (en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), T_1 et T_2 sont les températures initiales et finales du corps (en K).

- 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 (H_2O) 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 :

$$Q' = mL$$

Où m est la masse en kg du système et L la chaleur latente 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).

$$P = Q/t$$

Avec :

Q : énergie thermique (chaleur) mesurée en joule [J].

P : puissance thermique en watt [W].

3. La combustion :

3.1. Définition :

La combustion est une réaction chimique d'oxydation d'un combustible par un comburant. Les produits de combustion s'appellent aussi gaz brûlés ou fumées.

Projet de fin d'étude

La combustion fournit de l'énergie calorifique et émet généralement de la lumière. Dans un phénomène de combustion, les corps en présence sont les suivants :

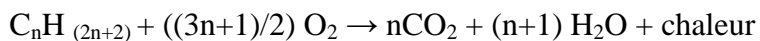
- ❖ Le combustible
- ❖ Le carburant
- ❖ Le produit de combustion

3.2. Quantité d'air nécessaire à la combustion :

La combustion industrielle étant réalisée avec l'oxygène de l'air, il est plus intéressant de connaître le volume d'air que celui d'oxygène nécessaire à la combustion.

En général :

La combustion complète d'un alcane dans le dioxygène donne la réaction chimique suivante :



Avec :

Réactifs : alcane et dioxygène.

Produits : dioxyde de carbone et eau.

Le fioul n'est pas un composant pur, mais un mélange de composés de type CH_yO_x et de chaînes carbonées, avec d'autres composés azotés, soufrés et hydrogénés, ainsi que de l'eau. L'oxydation de ces composés en présence de chaleur consomme l'oxygène de l'air et produit des gaz que l'on retrouve dans les fumées de combustion (CO_2 , H_2O sous forme de vapeur, NO , NO_2 , N_2O , SO_2 , SO).

3.3. Excès d'air :

Si la quantité d'oxygène fournie lors de la combustion est inférieure à la quantité stœchiométrique, on se place par exemple en défaut d'air et les réactions de combustion ne sont pas les mêmes, on forme par exemple du CO à partir du carbone, au lieu de former du CO_2 .

Afin de favoriser la combustion complète du combustible, on se place général en excès d'air. On s'assure ainsi que le maximum de molécules de combustible sont en contact avec l'oxygène. On introduit dans la chambre de combustion jusqu'à 30% d'air en plus de la quantité stœchiométrique.

Chapitre 3 : description de la chaudière à vapeur au sein de la SLCN



I. Description de l'installation de la chaudière à vapeur au sein de la SLCN :

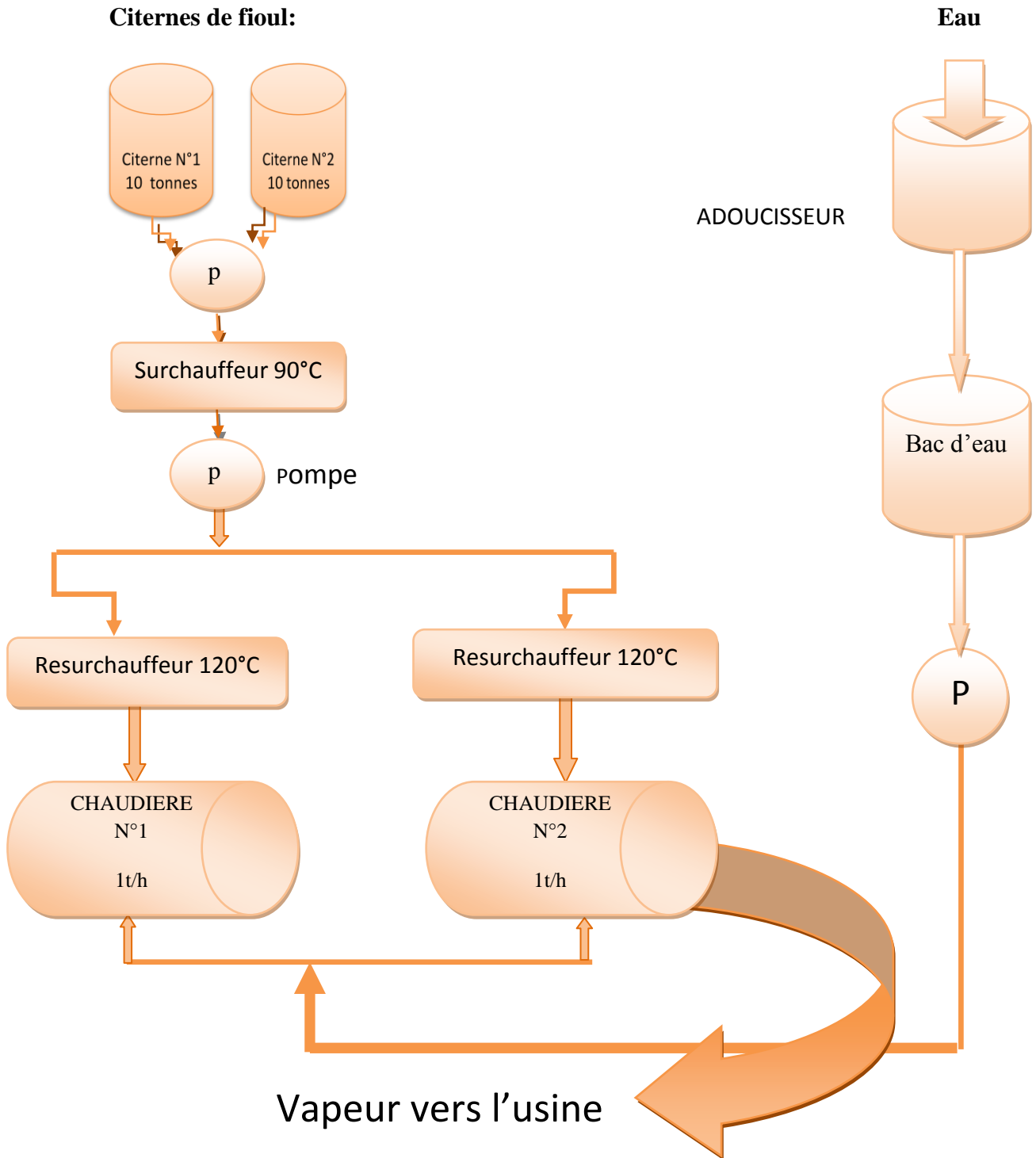
A l'intérieure de la salle des chaudières existe :

- Chaudière 1 : production maximale est 1000 kV/h de vapeur.
- Chaudière 2 : production maximale est 1000 kV/h de vapeur.
- Un bac de stockage d'eau.
- Un adoucisseur

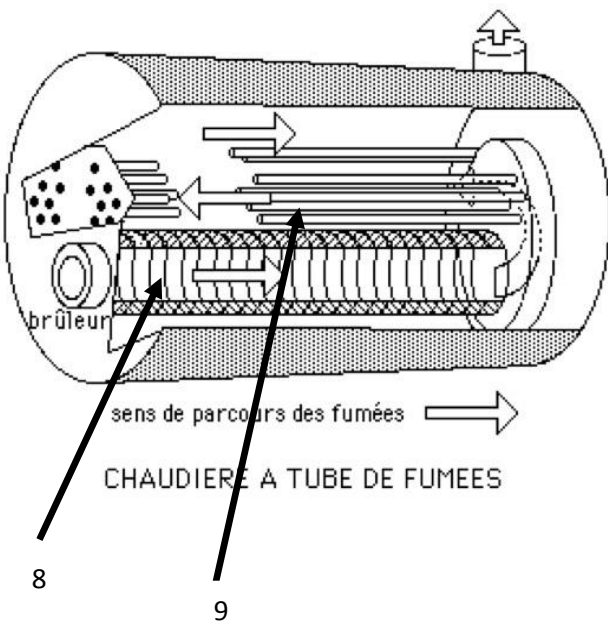
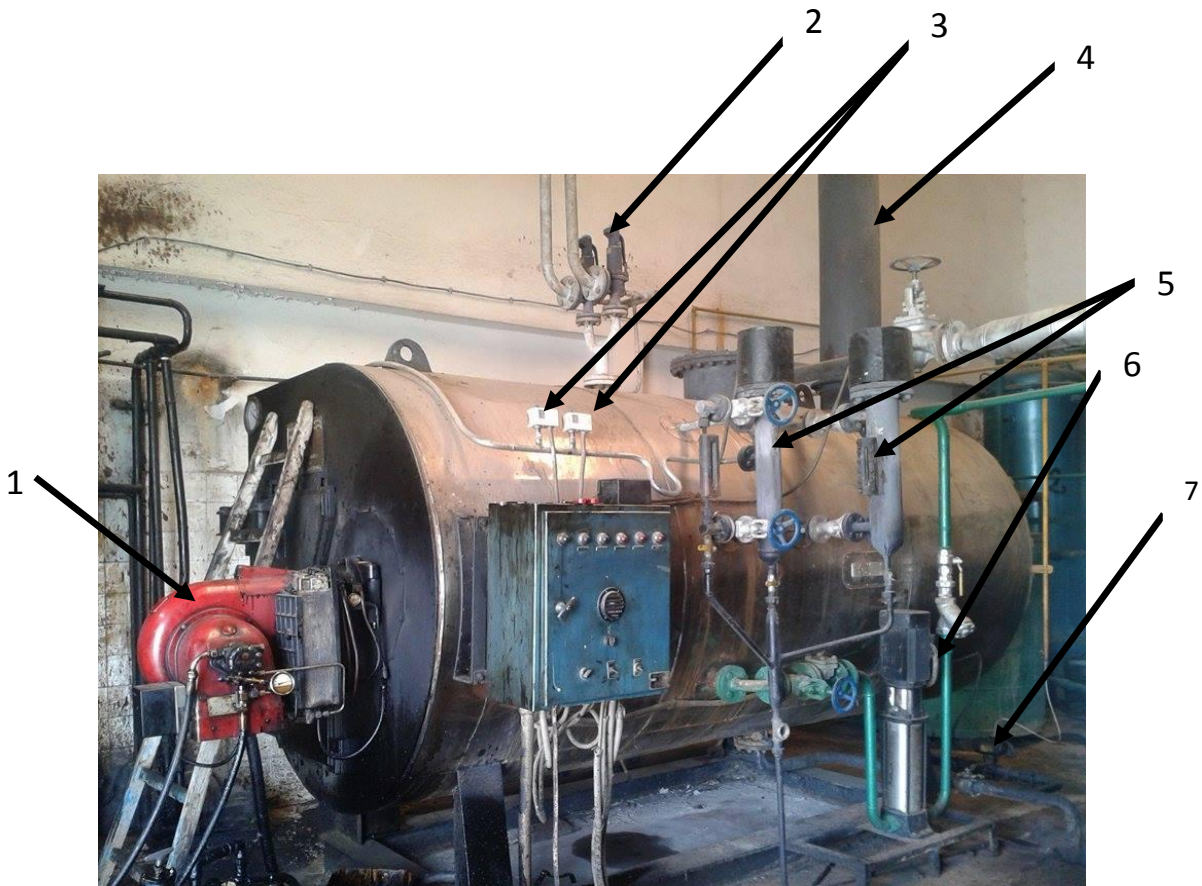
L'eau passe par un système de traitement que l'on appelle adoucisseur afin d'obtenir de l'eau déminéralisée, diluée pour éviter l'entartrage autour des tubes dans la chaudière au cours du chauffage de l'eau.

L'eau adoucie entre à la chaudière avec une température égale à 60°C due au retour condensat (retour de la vapeur non consommable vers la bac d'eau ce qui permet d'augmenter la température de l'eau d'alimentation)

Le fioul se stocke dans des citernes indépendantes des chaudières, puis grâce au pompe à engrenage, ce fioul est aspiré des citernes de stockage et refoulé vers le brûleur, en passant par le filtre à fioul, dirigeant ensuite vers le surchauffeur et le resurchauffeur où celui-ci subit un chauffage par des résistances électriques.



II. Description des composants de la chaudière à tube de fumée :



La chaudière comprend :

1. Brûleur
2. Soupape de sûreté
3. Pressostat
4. Cheminée
5. Indicateur de niveau de sécurité d'eau
6. Pompe d'alimentation en eau
7. Vanne de purge
8. Foyer
9. Tube de fumée

1. Le brûleur :

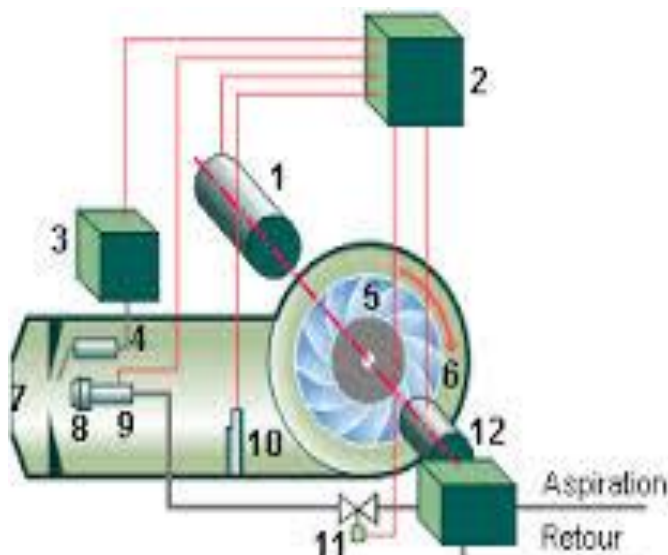
a. Définition :

Le brûleur est la partie cruciale dans la chaudière, il a pour fonction de mélanger le combustible avec l'air et de fournir de l'énergie grâce à la combustion du mélange ainsi obtenu.



b. Composantes d'un brûleur fioul :

Le brûleur est constitué de plusieurs parties :



1. Servomoteur
2. Boîte de contrôle
3. Transformateur
4. Electrodes
5. Ventilateur
6. Volet d'air
7. Déflecteur
8. Gicleur
9. Réchauffeur
10. Cellule photorésistante
11. Electrovanne
12. Pompe et régulateur de pression

Figure 3 : les composants de brûleur à fioul. [Réf[3]]

1. **Le servomoteur** : un moteur à deux vitesses, c'est l'élément qui fait la régulation de la quantité d'air et de fioul nécessaire à la combustion.
2. **Boîte de contrôle** : Commande la mise en marche et à l'arrêt des composants du brûleur à fioul et s'assure que le cycle de combustion est réalisé en toute sécurité.
3. **Transformateur** : il transforme une tension de 220V à 1200V et provoque une flamme d'étincelles entre les électrodes.
4. **Électrodes**

- 5. Ventilateur :** assurer le débit d'air nécessaire à la combustion en vainquant la résistance que rencontre l'air jusqu'à la flamme, la résistance que rencontre la flamme et les fumées dans la chambre de combustion.

Le ventilateur tournant à vitesse constante, un registre d'air permet de régler le débit d'air garantissant une combustion correcte. Ce registre peut être installé à l'aspiration ou au refoulement du ventilateur.

- 6. Volet d'air :** Le volet permet le réglage du débit d'air nécessaire à la combustion, l'ajustement de l'excès d'air se fait par action sur la position à l'ouverture du volet d'air

Le volet d'air est commandé par un dispositif de positionnement qui le positionne selon l'étape du cycle de démarrage de la chaudière ou le régime de fonctionnement du brûleur

Le volet d'air est en position d'ouverture totale en phase balayage au démarrage de la chaudière, puis il est en phase de fermeture à l'enclenchement de la flamme puis en positions intermédiaires selon les allures du brûleur, première allure, deuxième allure ou autre.

- 7. Déфлекteur :** Le déflecteur du brûleur est un organe qui permet une rotation de la flamme dans le foyer de la chaudière

L'air est ventilée tangentiellement à l'allure de la flamme, cette rotation de flamme dans le foyer de la chaudière permet un meilleur mélange d'air carburant et assure une combustion complète avec le minimum d'excès d'air.

- 8. Gicleur :** dispositif mécanique qui répand le combustible en petites gouttes, pour que le fluide puisse être brûlé.

- 9. Réchauffeur :** En augmentant la température du combustible avant sa pulvérisation, le réchauffeur a pour objectif :

- de diminuer la viscosité du fioul et donc d'améliorer sa pulvérisation et donc sa combustion.
- d'atténuer les variations de viscosité du fuel liées à la température de stockage et aux caractéristiques du fioul acheté.

- 10. Cellule photorésistante:** a pour rôle de détecter la flamme fioul, la cellule photorésistante réagit directement à la lumière émise par la flamme. Cette réaction est pratiquement instantanée, ce qui permet une commande rapide du système de sécurité. La cellule est constituée par un semi-conducteur dont la résistance varie en fonction inverse de son éclairement : ce matériau a la propriété de ne permettre le passage du courant que lorsqu'il est éclairé.

- 11. Electrovanne :** libère le combustible au moment déterminé par la programmation.

12. Pompe et régulateur de pression : La pompe qui aspire le fioul a également pour mission de maintenir, via un régulateur, une pression suffisante au fioul pour permettre sa pulvérisation.

c. Schéma de fonctionnement de brûleur à fioul :

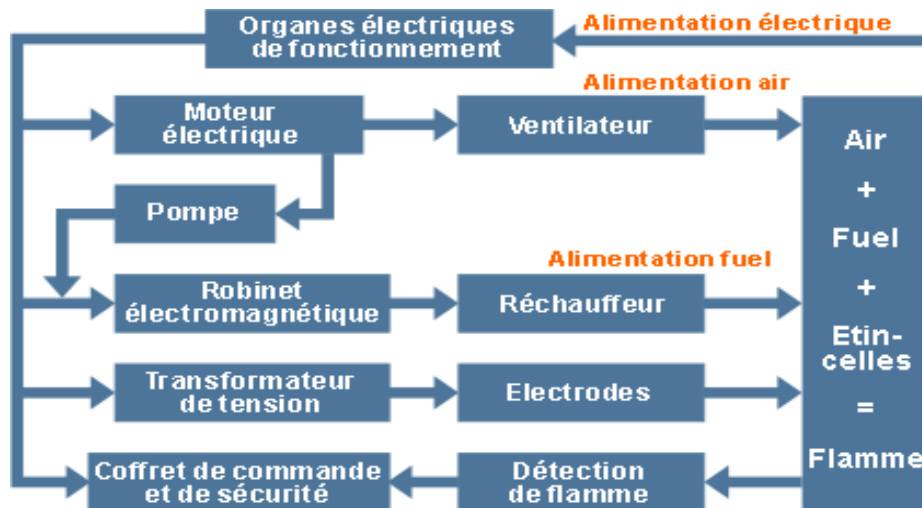


Figure 4 : schéma de fonctionnement de brûleur à fioul. [Réf[3]]

Le brûleur fioul a pour fonction de mélanger, dans des proportions correctes, l'air comburant et le fioul pour permettre la combustion.

L'alimentation en air assurée par un ventilateur qui puise l'air ambiant de la chaufferie.

L'alimentation en fioul est assurée par une pompe qui puise dans le réservoir. La pompe a également pour mission de maintenir, via un régulateur, une pression suffisante au fioul pour permettre sa pulvérisation. L'électrovanne libère le combustible au moment déterminé par la programmation. Le gicleur assure la pulvérisation du fioul des milliards de gouttelettes et le réglage du débit nominal de fioul. La pulvérisation du fioul a pour objectif d'augmenter la surface de contact entre le fioul et l'air comburant. Cela permet une évaporation plus importante du fioul à sa surface et favorise son mélange avec l'air.

d. Cycle de démarrage du brûleur d'une chaudière :

Par mesure de sécurité certaines conditions doivent se réunir pour autoriser le démarrage du brûleur d'une chaudière :

- Un niveau minimal d'eau dans la chaudière ;
- Une pression maximale dans la chaudière ;
- Une température maximale d'eau dans la chaudière.

Le cycle de démarrage d'une chaudière commence par une étape de balayage suivie de l'allumage, une première allure de flamme, une éventuelle deuxième allure ou même une troisième allure du brûleur...

➤ **Phase balayage :**

Au cours de cette étape l'électrovanne du carburant liquide ou gaz est fermée, il n'y pas de passage de carburant, le volet d'air est ouvert au fond et le ventilateur du brûleur refoule le maximum d'air dans le foyer de chaudière.

Cette étape est importante au niveau sécurité d'utilisation de chaudière, elle permet d'éviter le risque d'explosion par les imbrûlés dans le foyer de la chaudière.

Le temps de balayage nécessaire est calculé en fonction du volume du foyer et tubes de fumée et en fonction du débit du ventilateur de soufflage.

La phase balayage est répétée avant chaque allumage du brûleur.

➤ **Phase allumage :**

Après le temps de balayage le volet d'air du ventilateur du brûleur se ferme pour permettre un minimum de passage d'air, l'électrovanne de première allure de carburant gaz ou liquide s'ouvre puis l'étincelle enclenche la flamme.

Un dispositif de sécurité vérifie l'enclenchement de la flamme et sa continuité, ce dispositif peut être un détecteur infrarouge, une cellule UV, une sonde d'ionisation ou même un thermocouple.

Au cas d'absence ou disparition de flamme, le dispositif de sécurité coupe l'électrovanne d'alimentation de gaz au brûleur.

➤ **Ouverture de volet d'air :**

Une fois la flamme est enclenchée le volet d'air s'ouvre pour prendre la position optimale (préréglée par un analyseur de combustible).

➤ **Phase marche normale :**

Au cours de la marche normale, le régulateur choisi le régime de marche, ou en ajustement contenu selon l'écart en consigne température ou pression introduit.

➤ Arrêt :

Dès satisfaction des besoins calorifiques, arrêt du brûleur par mise hors tension du moteur du ventilateur et de l'électrovanne.

2. Soupape de sûreté :

Cette soupape est située au dessus de la chaudière, elle s'enclenche au cas de mal fonctionnement du régulateur de pression et du dépassement de la consigne de pression.



3. Pressostat de régulation :

Un pressostat à plusieurs seuils commande la marche arrêt ou allures du brûleur, Le seuil bas de pression permet de mettre en marche le brûleur de la chaudière, le seuil haut arrête le brûleur.



4. Cheminée :

La cheminée d'une chaudière permet l'évacuation de fumée vers l'extérieur de la locale chaudière.

L'évacuation de fumée peut être faite par une convection naturelle provoquée par la différence de densité entre l'air et la fumée chaude.

5. Indicateur de niveau de sécurité d'eau :

Il indique le niveau d'eau dans la chaudière.

6. Pompe d'alimentation en eau :

La pompe d'alimentation en eau d'une chaudière est une pompe à haute pression, sa pression doit être supérieure à la pression de travail de la chaudière.



7. La vanne de purge :

La purge se fait généralement par l'ouverture complète d'une vanne connectée sur le fond de la chaudière. Cette ouverture dure souvent quelques dizaines de secondes et s'effectue plusieurs fois par jour. Le but est de créer un débit important sur un laps de temps court, afin de dégraisser le fond de la chaudière.

8. Foyer de chaudière :

C'est l'espace où la combustion peut avoir lieu, le foyer de chaudière est une chambre cylindrique dans laquelle se passe la combustion du carburant.

La partie frontale du foyer de chaudière qui est en face du brûleur est revêtue en brique réfractaire qui supporte l'éventuel contact du front de la flamme.

9. Tubes de fumée :

Dans les chaudières à tube de fumée la fumée circule à l'intérieur des tubes disposés dans le récipient où l'eau ou la vapeur se trouve.

III. Fonctionnement :

Le fioul entre dans le brûleur sous forme liquide et sort sous forme gaz brûlés par la combustion, il pénètre ensuite dans le foyer, qui se trouve dans 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 débouché 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.

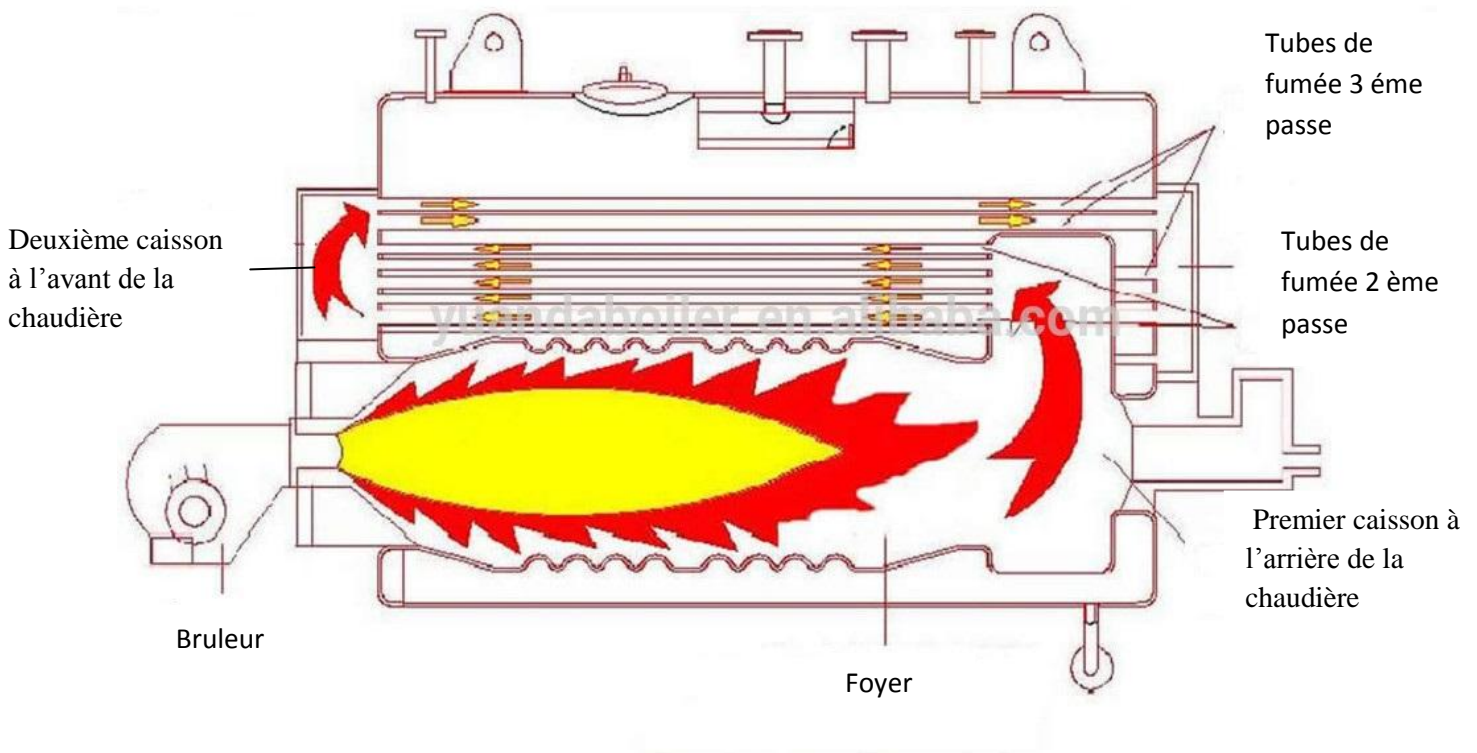


Figure 5: schéma de fonctionnement de la chaudière à tube de fumée. [Réf[4]]

Chapitre 4 : bilan thermique de la chaudière à vapeur au sein de la SLCN

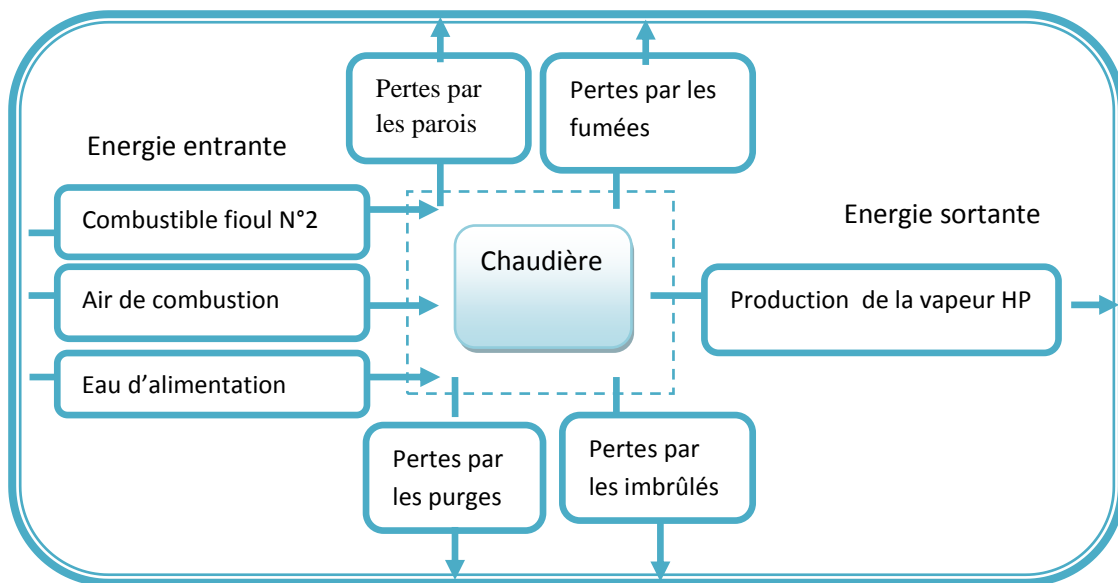
I. Introduction :

La chaleur apportée par un combustible qui brûle dans la chaudière n'est pas totalement récupérée par le fluide que l'on veut chauffer, on opère une partie par différents mécanismes. La chaleur apportée par unité de masse (ou de volume) est également le pouvoir calorifique du combustible. La chaleur qui sert à chauffer est appelée la chaleur utile, les pertes qui sont de différents natures ne peuvent être éliminées cependant, les règles de conduite et d'entretien permettent de produire ces pertes au minimum et augmenter l'efficacité de la chaudière, cette efficacité est exprimée par le rapport entre l'énergie utile est l'énergie introduite apportée par le combustible.

II. Evaluation des pertes :

Les différentes pertes évaluées :

- Pertes par les fumées.
- Pertes par les imbrulés.
- Pertes par les purges.
- Pertes par les parois.



Bilan d'énergie du système chaudière

Energie entrante=énergie sortante

Energie entrante =combustible+air préchauffé+eau préchauffée

Energie sortante=vapeur+pertes par les fumées+pertes par parois+pertes par imbrulés+pertes par les purges

Projet de fin d'étude

❖ Paramètres :

D'après le service technique on a :

		Vapeur
L'eau d'alimentation	D _e : débit (kg/h)	1000
	T _e : Température d'entrée (°C)	60
	T _f : Température de sortie (°C)	170
Combustible (fioul)	D _c : Débit kg/h	79
	T _c : Température (°C)	120
Fumées	T _f : Température (°C)	270
	Teneur en CO ₂ (%)	14

❖ Composition chimique du fioul N°2

Le fioul N°2 provient de la distillation du pétrole brut. Les proportions de carbone et d'hydrogène dans les fiouls varient très peu, la valeur moyenne des composantes du fioul utilisé au Maroc est donnée dans le tableau suivant :

Composants	Pourcentage (%)
Carbone	86.3
Hydrogène	10.7
Soufre	2.6
Oxygène	0.3
Azote	0.1

Tableau 2 : la composition chimique de fioul N°2. [Réf[5]]

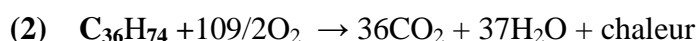
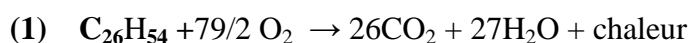
❖ Le pouvoir calorifique du fioul

Le pouvoir calorifique (en kJ/kg) est la quantité d'énergie dégagée lors de la combustion complète de l'unité de masse de fioul.

Pour le fioul N°2 PC=11.34 kW/kg. [Réf[6]]

❖ Combustion du fioul

Le fioul lourd est de C₂₆ à C₃₆ donc :



❖ Quantité d'air nécessaire :

- Pour la première équation : une mole de fioul nécessite 79/2 moles d'oxygène ce qui fait 197.5 moles 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 moles d'oxygène ce qui fait 272.5 moles 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 moles d'oxygène ce qui fait 235 moles d'air.

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

III. Calcul de bilan thermique :

1. Energie entrante :

Puissance donnée par la combustion de fioul P_{app} :

$$P_{app} = \text{débit du fioul} * \text{pouvoir calorifique du fioul.}$$

Avec :

Débit du fioul : 79 kg/h

Pouvoir calorifique du fioul : 11,34 kWh/kg

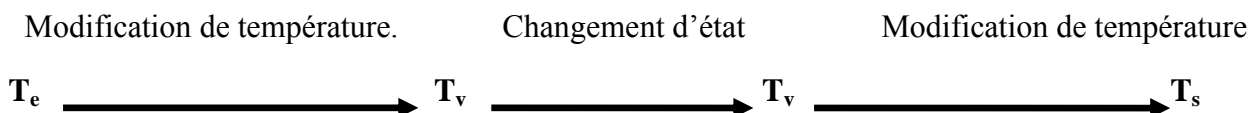
A.N :

$$P_{app} = 895.86 \text{ kW}$$

2. Energie sortante :

a. Puissance utile :

L'eau entre dans la chaudière avec une température de 60 °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 :

$$P_{util} = D_e * C * (T_v - T_e) + D_e * L_v + D_e C_p (T_s - T_v)$$

Avec :

D_e : débit d'eau d'entrée.

C : la chaleur spécifique de l'eau liquide est 4.185 kJ/kg d'après les tables. [Réf[7]]

T_v : température de vaporisation de l'eau à 7 bar, $T_v = 164.96$ °C. [Réf[7]]

T_e : température d'entrée de l'eau, $T_e = 60$ °C.

T_s : température de sortie de vapeur, $T_s = 170$ °C.

L_v : la chaleur latente de vaporisation à 8 bars d'après les tables, $L_v = 2046$ kJ/kg. [Réf[7]]

C_p : vapeur d'eau considérée comme un gaz parfait : $C_p = 1.61$ kJ/kg.

A.N :

$$P_{\text{util}} = 1000 \cdot 4.185 \cdot (164.96 - 60) + 1000 \cdot 2046 + 1000 \cdot 1.61 \cdot (170 - 164.96)$$

$$P_{\text{util}} = 692.60 \text{ kW}$$

b. Les pertes :

i. Pertes par les purges :

Ces pertes proviennent de la chaleur sensible des purges. Elles peuvent être réduites par un traitement adéquat d'alimentation et un bon système de retour de condensats. Ces pertes dépendent de la température et du débit des purges.

Les pertes par les purges sont estimées à 2.5%.

$$P_{\text{pu}} = P_{\text{app}} \cdot 2.5/100$$

$$P_{\text{pu}} = 22.4 \text{ kW}$$

ii. Pertes par les parois :

Leur calcul est difficile, elles dépendent de la géométrie de la chaudière, de composition des parois, de l'état du calorifugeage et son entretien.

Les pertes par les parois sont estimées à 4% ;

$$P_{\text{pa}} = P_{\text{app}} \cdot 4/100$$

A.N

$$P_{pa} = 35.83 \text{ kW}$$

iii. Pertes par les fumées :

Elles représentent la chaleur emportée par les gaz chauds, ces quantités de chaleur sont proportionnelles au volume de fumée pour les calculer on utilise la relation semi-empirique suivante :

$$Q_f (\%) \text{ du PC} = m * (T_{fu} - T_a) / a$$

Avec : $m=0.6$; $T_{fu}=270^\circ\text{C}$; $T_a=25^\circ\text{C}$; $a=\text{CO}_2(\%)=14$

Q : pertes par les fumées (en %) correspondant au pouvoir calorifique du combustible consommé ;

m : coefficient variant avec le combustible on a pour le fioul $m=0.6$

$T_{fu}-T_a$: écart de température entre les fumées (T_{fu}) et l'air comburant (T_a) ;

$(\text{CO}_2) \%$: teneur (%) en CO_2 des fumées.

On a le débit de combustible égale à 79 kg/h donc pour un tel débit les pertes par chaleur sensible des fumées :

A.N :

$$Q_f (\%) \text{ du PC} = 0.6 * (270 - 25) / 14$$

$$Q_f (\%) \text{ du PC} = 10.5 \%$$

Donc :

$$P_f = P_{app} * 10.5 / 100$$

$$P_f = 94.06 \text{ kW}$$

3. Calcul du rendement :

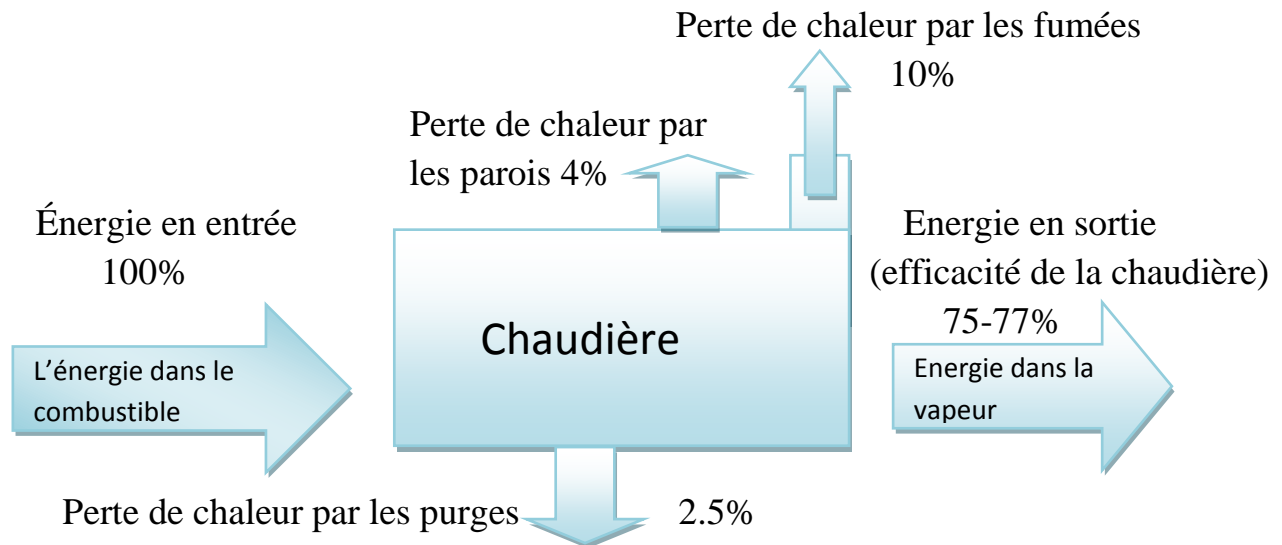
Le rendement d'une chaudière est le rapport de la puissance utile et la puissance donnée par la combustion de combustible, il exprime sa capacité à récupérer l'énergie de son combustible pour la restituer au circuit de chauffage, et il permet de prévenir la performance de la chaudière.

$$\eta = P_{\text{util}} / P_{\text{app}}$$

A.N :

$$\eta = 77.31 \%$$

Le schéma suivant résume les différentes pertes évaluées :



IV. Interprétations des résultats et recommandations :

1. Interprétation :

On constate d'après les résultats obtenus que le rendement calculé est inférieure au rendement du constructeur (90.5) ; cela est du aux pertes.

D'après les calculs on a trouvé que les pertes par les fumées sont plus importantes que les autres pertes. Cela montre que les pertes par les fumées ont une grande influence sur le rendement de la chaudière, qu'elles peuvent provenir d'un excès d'air excessif qui peut être du aux :

- 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.

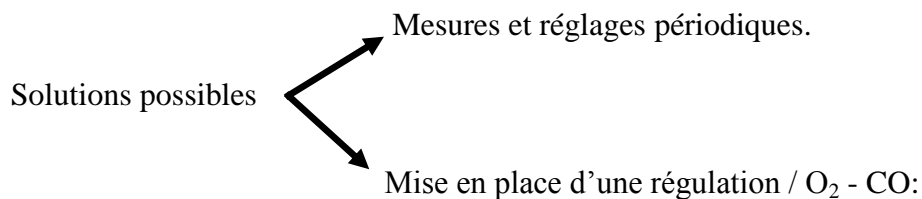
Et aussi les analyses des fumées montrent que la température des fumées est très élevée, elle est de l'ordre de 270 °C, cette augmentation de la température est due à l'accumulation des dépôts de tartre et les suies et cendres volantes sur les surfaces d'échanges, ce qui demande une plus grande énergie pour évaporer l'eau, ainsi puisque la chaleur ne subit pas un transfert plus au moins complet cette dernière part avec la fumée ce qui explique la grande monter de température des fumées.

La couche formée est isolante et limite le transfert de chaleur, la résistance de cette couche à la transmission de la chaleur augmente avec son épaisseur. Il en résulte une augmentation de la température des fumées. Ce qui provoque une diminution du rendement.

2. Recommandations :

Pour les pertes par les fumées :

- ❖ Maitriser l'excès d'air :
- Pas assez d'air : Risque de combustion incomplète avec présence de CO (Danger, mauvais rendement)
- Trop d'air : Gaspillage d'énergie.



Gain attendu : 0,5 à 2% sur PC

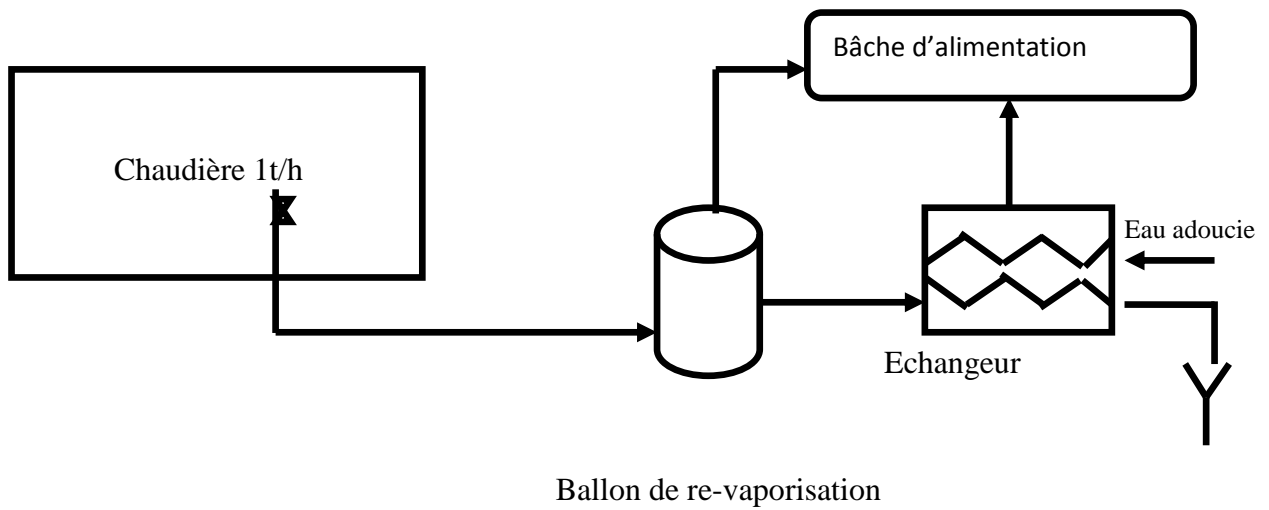
- ❖ Nettoyer les surfaces d'échanges, par l'opération du ramonage qui doit être effectuée régulièrement.
- ❖ Mettre en place un économiseur (économiseur monté en casing sur la sortie fumée) : Il s'agit d'un serpentin dans lequel passe l'eau d'alimentation de la chaudière avant de pénétrer dans les ballons et dans lequel elle est préchauffée en utilisant la chaleur des fumées (L'eau circule à contre courant avec les gaz de combustion). Il a pour but de récupérer une partie des calories restant dans les gaz de combustion, pour élever la température de l'eau d'alimentation. Il sera installé entre la chaudière et la cheminée.

L'économiseur permet d'augmenter considérablement le rendement des chaudières de 4 à 6% avec un retour sur investissement de moins d'un an dans la plupart des cas.

- ❖ Améliorer l'adoucissement de l'eau afin d'éliminer les ions alcalino-terreux responsables de la dureté de l'eau et donc des dépôts de tartre dans les installations.

Pour les pertes par les purges :

Pour réduire ces pertes on peut insérer un séparateur de phase ou vase de ré-vaporisation afin de récupérer la vapeur de ré-vaporisation qui apparaît lors d'une chute de pression de condensat, elle est visible à la sortie de purgeur quand celui-ci évacue le condensat à l'air libre.



Pour les pertes par les parois :

Pour diminuer ces pertes on peut utiliser un bon isolant des parois afin de diminuer le flux de chaleur sortant de la chaudière.

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 :

Le stage que nous avons effectué au sein de la SLCN « Saiss Lait » nous a permis de mettre en évidence nos connaissances acquises pendant notre formation en Génie industriel à la FST.

Le sujet que nous avons traité était très bénéfique car il nous a permis de comprendre le mécanisme de la combustion, la production de la vapeur et de suivre les paramètres qui influencent sur le rendement de la chaudière et de sa durée de vie.

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 maîtrise 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.
- Respecter les conditions de passivation pour former la couche protectrice contre la corrosion.
- Mettre en place un économiseur.
- Utiliser un isolant thermique.
- Commander des appareils de mesure.
- Faire des analyses régulières..

Finalement il faut savoir que s'engager pour un développement durable nécessite un investissement, pour cela il faut être conscient que l'amélioration du rendement d'une chaudière permet de diminuer la consommation du combustible, réduire les rejets de CO_2 et CO dans l'atmosphère, protéger indirectement les appareils de production contre l'entartrage et la corrosion

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

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- Documentation de la société **la SLCN**.
- Cours de thermodynamique de Mr. Saïd Haouache.

Web graphie

- http://www.memoireonline.com/09/10/3884/m_Optimisation-de-la-facture-energetique-par-lamelioration-du-systeme-de-production-denergie-de8.html [1]
- http://ww2.ac-poitiers.fr/sc_phys/IMG/pdf/Chaudieres_a_vapeur_a_combustible.pdf [2]
- <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10952> [3]
- <http://french.alibaba.com/product-gs/for-uae-saudi-arabia-middle-east-commercial-steam-boiler-oil-fuel-commercial-steam-boiler-oil-commercial-steam-boiler-60210798917.html> [4]
- http://smart2000.pagesperso-orange.fr/combustibles_et_combustion.htm [5]
- <http://www.econologie.com/pouvoirs-calorifiques-pci-pcs-fuel-et-gaz-articles-534.html> [6]
- <http://www.thermexcel.com/french/tables/Eau%20atmosph%E9rique.pdf> [7]