



Department of Process Engineering

قسم هندسة الطرائق

Ref :...../U.M/F.S.T/2024

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**

Option: **GÉNIE DES PROCÉDÉS DES MATÉRIAUX**

THÈME

Intitulé du sujet
**Étude de Phénomène d'apparition des Hernies dans les Tubes
d'eau des Chaudières de la Zone 3**

Présenté par

1-BENGUEDDA Habib

Soutenu le 23 /06 / 2024 devant le jury composé de :

Président :	BENDENIA Souhila	Pr	Université de Mostaganem
Examineur :	DIB Hanaa	MCB	Université de Mostaganem
Rapporteur :	SEFIR Yamina	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2023/2024

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu pour tout le courage et la force qu'il m'a donné pour faire ce travail.

Merci à toutes ma famille et surtout mes parents, merci à tous qui mon aide sans exception. Je les remercie pour leur soutien permanent.

Je vous remercie à **Mme. SEFFIR YAMINA** mon encadreur de mémoire pour sa gentillesse, pour ces conseils et de nous avoir guidés pas à pas dans notre travail.

J'adresse mes remerciements à tous membres de laboratoires, chercheurs, techniciens et ingénieurs (RA1Z) et surtout à l'ingénieur **BENCHOUHRA HAFID**

Je tiens à remercier **Mme. BENDENIA SOUHILA** qui a bien voulu accepter de valoriser ce travail.

Nous tenons à remercier **Mme. DIB HANAA** qui a bien voulu accepter de valoriser ce travail.

Enfin, je remercie, tous mes amis et mes collègues, toutes les personnes qui nous m'ont encouragées soutenu de près ou de loin durant la réalisation de ce travail.

MERCI A TOUT

Dédicaces

Je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné la santé et la force et la patiente.

Afin de réaliser ce travail.

La lumière de mes jours, la force de mes Efforts **ma vie et mon bonheur maman** que j'adore. Je dis merci pour travers ce travail aussi modeste soit-il l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

A mon exemple éternel mon soutien moral, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu le tout puissant le garde

A mon très cher père.

A ma famille qui m'ont toujours encouragé.

Resumé : Le bon fonctionnement et la fiabilité des équipements de production de vapeur nécessitent l'application des meilleures méthodes disponibles pour prévenir le tartre et les dépôts. Notre étude porte sur l'apparition des hernies au niveau des tubes d'eau de surchauffeur de nuance dans la chaudière **31/H1** de la zone 3 du complexe **RA1/Z**. Après notre analyses effectuées à la Raffinerie d'Arzew, Il a été constaté que c'est un problème répétitif qui est due à un mauvais traitement de l'eau d'alimentation des chaudières (elle contient des sels), ainsi, le non-respect des quantités d'inhibiteurs injectés qui entraîne des dépôts importants, et provoque par la suite la corrosion caustique, et aussi l'exposition des tubes à la flamme qui crée un point de surchauffe à l'endroit où les dépôts s'accumulent, et ensuite l'apparition de l'hernie à cet endroit avec possibilité d'avoir un éclatement. Enfin, pour éviter ce phénomène, on a recommandé de bien respecter les quantités des inhibiteurs injectés, de faire un meilleur traitement d'eau d'alimentation des chaudières, et de faire une bonne maintenance des bruleurs.

Mots clé : Complexe **RA1/Z**, Chaudière **31/H1**, Hernies, Production de vapeur.

Abstract : Application of the best available techniques to prevent tartar and deposits is necessary for the reliable operation of vapor production equipment. Our study focuses on the appearance of hernias at the level of the nuanced water overheat tubes in boiler **31/H1** of zone 3 of the **RA1/Z** complex. Application of the best available techniques to prevent tartar and deposits is necessary for the reliable operation of vapor production equipment. After our analyses at the Arzew Refinery, we discovered that this is a recurring issue caused by improper handling of boiler feed water (which contains sulfur), disregard for the amount of injected inhibitors that lead to significant deposits and, consequently, caustic corrosion, exposure of tubes to flames that create a point of overheating where the deposits accumulate, and finally the appearance of hernia at this location with the potential for an explosion. Finally, in order to prevent this phenomenon, it is advised to properly observe the injection quantities of inhibitors, improve boiler water alimentation treatment, and maintain boilers.

Key points: Vapor production, Boiler **31/H1**, Hernias, **RA1/Z** complex.

ملخص: يتطلب التشغيل السليم والموثوقية لمعدات إنتاج البخار تطبيق أفضل الطرق المتاحة لمنع الحجم والرواسب. تركز دراستنا على ظهور الفتق في أنابيب المياه ذات التسخين الفائق في الغلاية **H1/31** بالمنطقة 3 من مجمع **RA1/Z**. بعد تحاليلنا التي قمنا بها في مصفاة أرزيو، لوحظ أنها مشكلة متكررة بسبب سوء معالجة مياه تغذية الغلاية (التي تحتوي على أملاح)، وبالتالي عدم احترام كميات المثبتات المحقونة مما يؤدي إلى رواسب كبيرة، ويؤدي بالتالي إلى التآكل الكاوي، وكذلك تعرض الأنابيب للهب مما يخلق نقطة سخونة زائدة في المكان الذي تتراكم فيه الرواسب، ومن ثم ظهور فتق في هذا الموقع مع احتمال انفجاره. وأخيرا، لتجنب هذه الظاهرة، نوصي بعناية باحترام كميات المثبتات المحقونة، والمعاملة الأفضل لمياه تغذية الغلايات، والصيانة الجيدة للشعلات.

الكلمات المفتاحية: إنتاج البخار ، شويبير ، الفتق ، مجمع

Sommaire

Remerciements	I
Dédicaces.....	II
Résumé	III
Sommaire.....	IV
Liste des Figures.....	VII
Liste des Tableaux	IX
Introduction Générale.....	1
Chapitre 1 : Présentation de la raffinerie d'Arzew	3
I.1 Introduction	3
I.2 La situation géographique.....	3
I.3 Historique de la raffinerie d'Arzew	4
I.4 Capacité de production.....	6
I.5 Organisation de la raffinerie d'Arzew	7
I.6 Principales zones du complexe	9
I.7 Présentation des principales installations du P1	9
I.8 Présentation des principales zones du P2.	11
I.9 Conclusion	13
Chapitre II : Type des chaudières	15
II.1 Introduction	15
II.2 Définition d'une chaudière	15
II.3 Description d'une chaudière.....	16
II.4 Les types des chaudières.....	17

II.5 Les chaudières à tubes d'eau	18
II.6 Les chaudières à tubes de fumées.....	18
II.7 Comparaison entre deux types de chaudières.....	19
II.8 Principe générale de fonctionnement.	20
II.9 Classification des chaudières.....	21
II.10 Les différents composants d'une chaudière	22
II.11 Circulation dans une chaudière.....	25
II.12 Nettoyage dans une chaudière.	27
II.13 Régulation de la chaudière	27
II.14 Combustion dans les chaudières.....	29
II.15 Conclusion	29
Chapitre III : Analyses et interprétations des résultats	31
III.1 Introduction	31
III.2 Les installations d'utilités.....	31
III.3 Unités 31.....	32
III.4 Présentation de la chaudière 31/H1 de la zone 3	32
III.5 Fonctionnement de la chaudière 31/H1 de la zone 3	33
III.6 Système de sécurité pour la chaudière 31H1	34
III.7 Problématique de la chaudière 31H1	34
III.8 Phénomène des hernies.	34
III.9 Traitement de l'eau pour chaudière.....	38
III.10 Traitement des chaudières.....	39

III.11 Le système d'injection des produits chimiques	40
III.12 Inhibiteurs.....	40
III.13 Analyse des eaux de la chaudière 31/H1.....	40
III.14 Calculer le bilan énergétique.....	41
III.15 Paramètre de design d'une Chaudière.....	42
III.16 Calcule le rendement.....	43
III.17 Étude métallographique.....	46
III.18 Interprétation des résultats	50
III.19 Recommandations	52
III.20 Conclusion	53
Conclusion Générale	55
Bibliographie	56

Liste des figures

Figure I.1 : La carte géographique de la raffinerie d'Arzew	3
Figure I.2 : Le plan de masse de la raffinerie d'Arzew	5
Figure I.3 : Les productions de la raffinerie	6
Figure I.4 : Les capacités annuelles de production (en t/an) des différentes unités	7
Figure II.1 : Chaudière industrielle	15
Figure II.2 : Schéma description de la chaudière	16
Figure II.3 : Schéma détaille de la chaudière	17
Figure II.4 : Chaudières à tubes d'eau.....	18
Figure II.5 : Chaudière à tubes de fumées.....	19
Figure II.6 : Principe générale de fonctionnement	21
Figure II.7 : Le Réservoir	22
Figure II.8 : Chambre de combustion (foyer).....	23
Figure II.9 : Schéma de bruleur.....	23
Figure II.10 : Echangeur de chaleur	24
Figure II.11 : Economiseur.....	24
Figure II.12 : Surchauffeurs	25
Figure II.13 : Schéma de la circulation naturelle	26
Figure II.14 : Schéma de la circulation forcée	26
Figure II.15 : Régulation à un élément.....	27

Figure II.16 : Régulation à deux éléments	28
Figure II.17 : Régulation trois éléments	28
Figure III.1 : Schéma De Description De La Zone 3	31
Figure III.2 : Utilités de la zone3	32
Figure III.3 : Le fonctionnement de la chaudière	34
Figure III.4 : Un gonflement au niveau les tubes de surchauffeur	35
Figure III.5 : Eclats à lèvres minces	36
Figure III.6 : Le dépôt dans les tubes de la chaudière	36
Figure III.7 : Perte de rendement en fonction de l'épaisseur de tartre	37
Figure III.8 dépôt sur un échantillon	38
Figure III.9 : Le dégazage thermique	39
Figure III.10 : Tube neuf	47
Figure III.11 : Découpage de la pièce et enrobage des échantillons	47
Figure III.12 : Polissage des pièces	48
Figure III.13 : Surfaces polies et finies	48
Figure III.14 : Structure grossissement x 240 de tube neuf	49
Figure III.15 : Structure grossissement x 240 de découpe au voisinage de la hernie	49
Figure III.16 : Structure grossissement X240 au cœur de la hernie	50
Figure III.17 : Rupture bombée et corrosion caustique d'un tube de chaudière	51

Liste des tableaux

Tableau II.1: Comparaison entre deux types de chaudières	19
Tableau. III.1. Classification des éléments rencontrés dans l'eau.....	38
Tableau III.2 : Analyses eau d'alimentation chaudière	41
Tableau III.3 : Calcule quantité de chaleur perdue par les fumées	43
Tableau III.4 : Calcule quantité de chaleur perdue par les fumées	45

Introduction générale

Introduction Générale

Dans la chaudière, plusieurs problèmes peuvent survenir durant son service, du fait qu'elle travaille dans des conditions sévères, haute température (487°C), haute pression (54 bars), environnement corrosif et fonctionnement continu (parfois des jours sans arrêt). Ces problèmes ont une influence sur le bon fonctionnement de la chaudière, et parfois des conséquences graves, telles que des explosions.

L'objectif de notre travail est de réaliser une étude fiable du phénomène des hernies au niveau des tubes d'eau de surchauffeur qui a causé l'éclatement, de déterminer les causes probables et proposer des recommandations suivant les exigences des codes et des standards.

Afin de bien cerner notre problématique, nous avons structuré notre mémoire en trois chapitres :

Le premier chapitre consiste une présentation générale de la raffinerie d'Arzew.

Le deuxième chapitre du présent mémoire abordera une synthèse bibliographique sur les chaudières ; les types, et les composants, la classification, et le principe général des chaudières.

Le troisième chapitre traite également la description de la chaudière que nous avons étudiée, de son fonctionnement, ainsi que des différentes étapes suivies pour atteindre l'objectif de déterminer les causes probables du phénomène de la hernie au niveau des tubes de surchauffeur de la chaudière. Ensuite une discussion et interprétation des résultats

En concluant par des conseils pour réduire les conséquences et des proposition des recommandations.

Chapitre I

Présentation de la raffinerie d'Arzew

I.1 Introduction :

Le complexe de raffinerie d'Arzew en Algérie est de traiter le pétrole brut pour produire une gamme de produits pétroliers destinés à la consommation domestique et à l'exportation tels que : propane, butane, essences, Kérosène, jet-fuel, solvants, gasoil, fuel domestique, bases pétrochimiques, Huiles de base, bitumes, etc.

Le raffinage du pétrole constitue une opération continue qui comporte un grand nombre d'unité de fabrication intimement liées. L'eau est un facteur important de transformation car elle est utilisée en cours de raffinage pour le chauffage, le refroidissement et les procédés de fabrication.

La raffinerie d'Arzew est également un important générateur de revenus pour l'Algérie, car elle exporte une grande partie de sa production vers les marchés internationaux.

I.2 La situation géographique :

La raffinerie d'Arzew est située dans la zone industrielle sur le plateau d'EL MOHGOUN à deux kilomètres de la ville d'Arzew et environs 40 kilomètres de La ville d'Oran. Elle occupe 70 hectares et se situe au voisinage du port D'Arzew, Lui permettant les enlèvements par bateau.

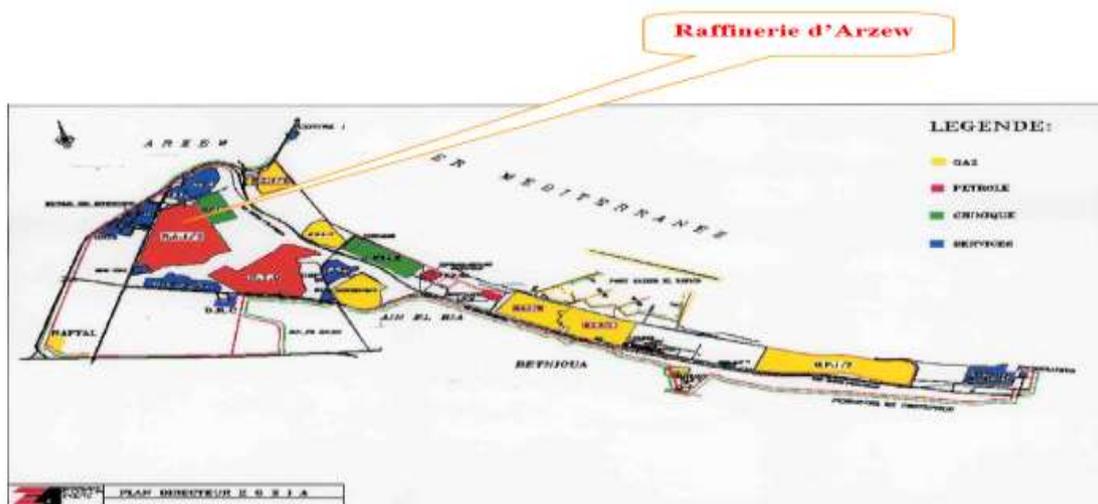


Figure I.1 : La carte géographique de la raffinerie d'Arzew [1]

I.3 Historique de la raffinerie d'Arzew :

La raffinerie d'Arzew répond aux impératives suivantes :

- Traiter le pétrole brut de Hassi Messaoud et le brut réduit importé,
- Satisfaire les besoins de consommation en carburant pour la région Ouest et en lubrifiant et bitumes pour le marché national,
- Exportation des produits excédentaires (Naphta, Kérosène, Fiouls) La construction du complexe a été confiée à la société japonaise Japon Gazoline corporation.

Cet ensemble de production comprend les unités suivantes : La pose de la première pierre a eu lieu le 19 juin 1970. Pour répondre à la demande du marché. Les travaux d'extension des unités de production de bitumes ont été lancés et ont duré deux (02) années. La capacité des unités de production de bitumes direct et oxydé fut augmentée respectivement de 65 000 T/AN à 120 000 T/AN, et de 5000 T/AN à 20 000T/AN.

En 1978, suite aux besoins important en lubrifiants, la réalisation d'un ensemble intégré de production de 120 000T/AN d'huiles de base a été lancée.

- Utilités,
- Huiles de base,
- Graisse,
- Paraffine,
- Mélange et conditionnement,
- Réception d'additifs en vrac,
- Réception et expédition d'huile de base.



Figure I.2 : Le plan de masse de la raffinerie d'Arzew [2]

I.4 Capacité de production :

.La production de la raffinerie est très diversifiée et se compose de :

CARBURANTS

Butane

Propane

Essence super

Essence normal

Kérosène

Gasoil

LUBRIFIANTS

Huiles de base

Huiles finies

Paraffines

BITUMES

Bitume routier

Bitume oxydé

Figure I.3 : Les productions de la raffinerie [3]

Les capacités annuelles de production (en T/an) des différentes unités sont :

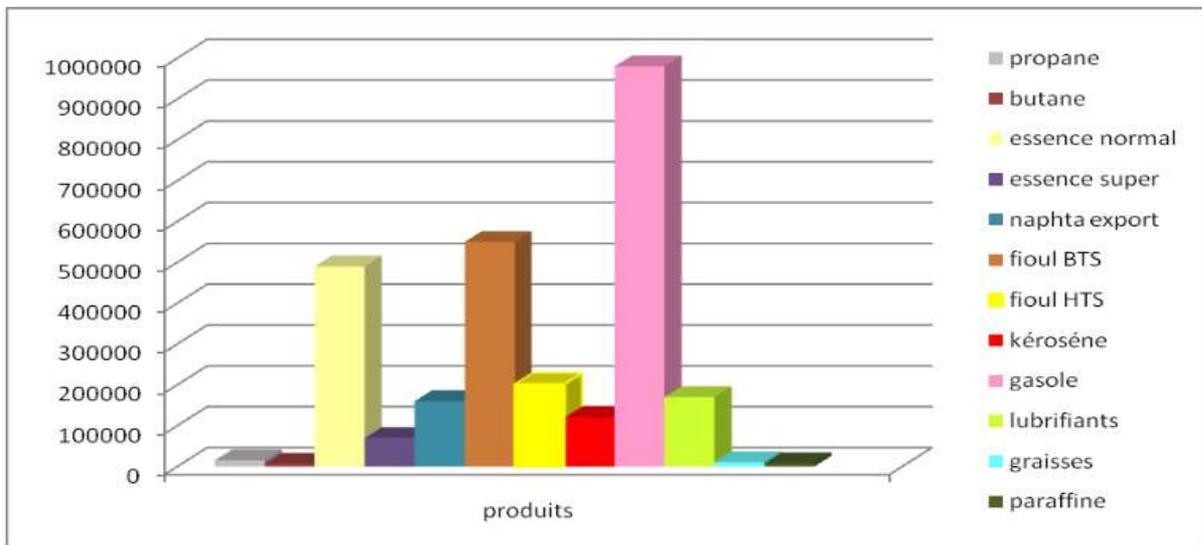
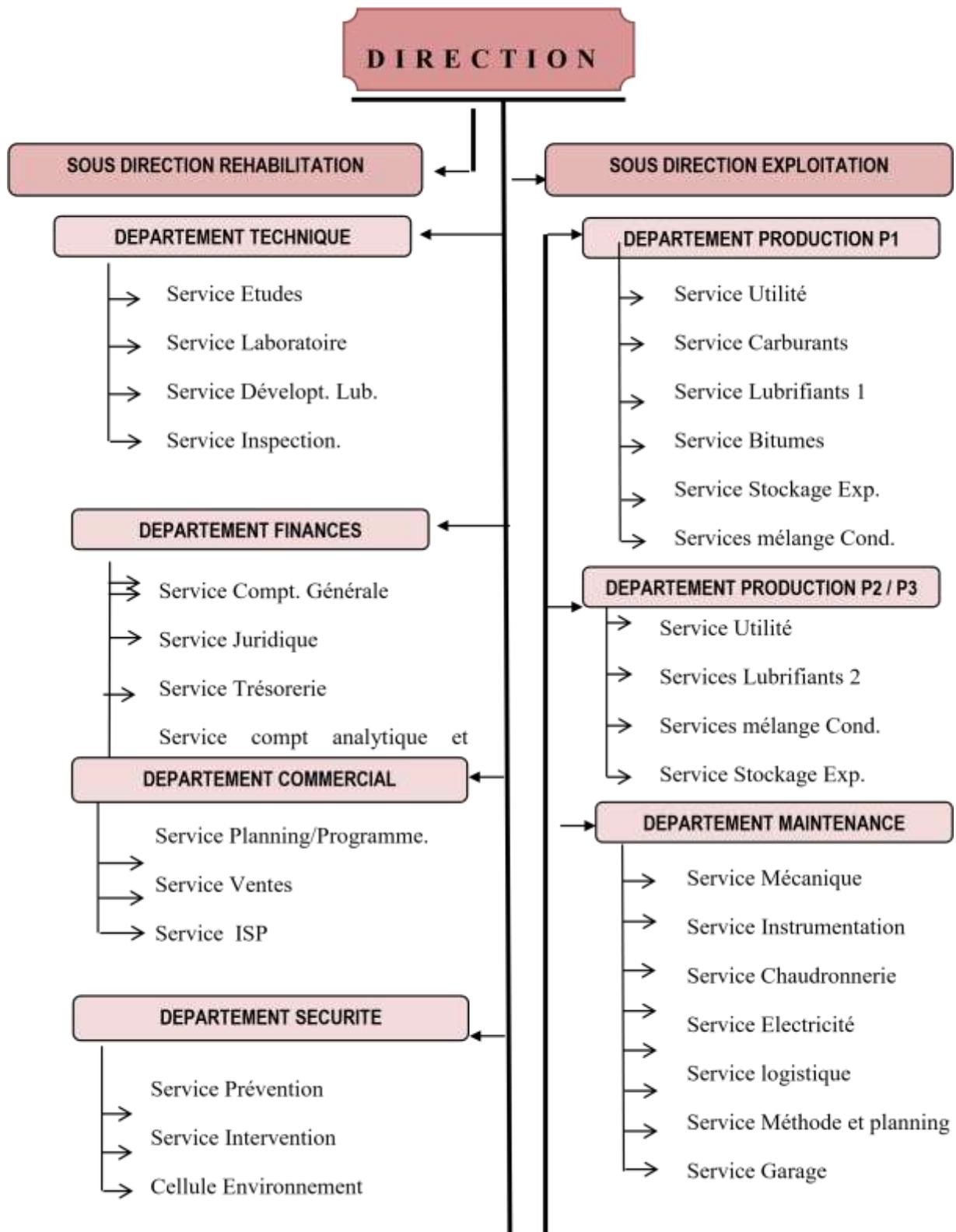
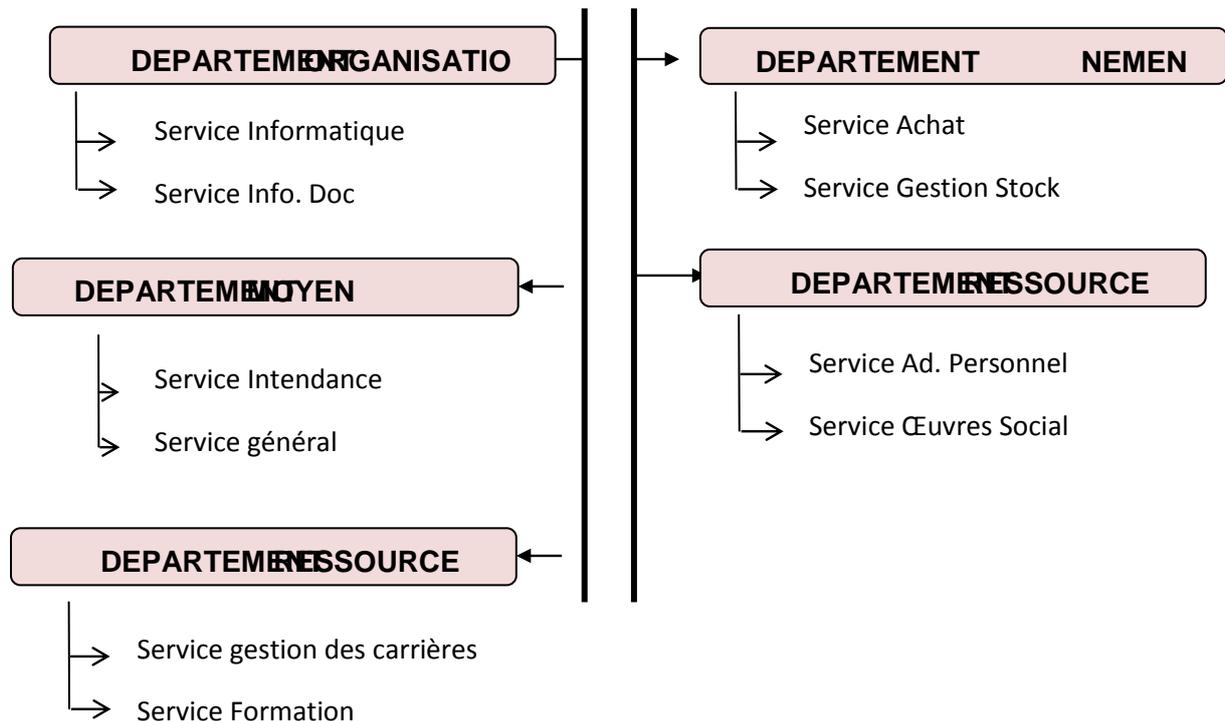


Figure I.4 : Les capacité annuelles de production (en t/an)des différents unités [4]

I.5 Organisation de la raffinerie d'Arzew :

La raffinerie est organisée et structurée en différents niveaux de responsabilité hiérarchisés selon le schéma d'organisation ci-après :





I.6 Principales zones du complexe :

La Raffinerie d'Arzew comprend deux principaux départements de production le P1 et le P2 et chaque département est constitué de plusieurs zones ayant des activités spécifiques, que eux mêmes sont composées des différentes unités de production, comme suite :

I.7 Présentation des principales installations du P1 :

C'est l'ancienne usine qui sert à produire les carburants, les lubrifiants et les bitumes ; elle comprend les zones suivantes :

I.7.1 Zone 3 : UTILITES

Les utilités assure le bon fonctionnement des unités de production des anciennes installations de production du P1 en utilités ; tel que : Eau distillée – Vapeur- Electricité - Air comprimé (de service et d'instruments) - Eau de refroidissement (après traitement) - Gaz de combustion (après traitement) – Gaz inerte.

Unité 31 : Production de vapeur et d'électricité

Unité 32 : Production de l'eau distillée

Unité 33 : Circuit d'eau de refroidissement

Unité 35 : Récupération et distribution du gaz combustible

Unité 36 : production de l'air comprimé

Unité 67 : Réseau incendie

I.7.2 Zone 4 : CARBURANTS

Cette zone a pour tâche de traiter le pétrole de Hassi Messaoud avec une capacité annuelle de 3.8 Millions de tonnes afin de produire les différents carburants (GPL, LSRN, HSRN, NAPHTA, KEROSENE, LGO, HGO, reformat et le BRA), Elle comprend trois unités

Unité 11 : Topping (Distillation atmosphérique)

Unité 12 : Unité de platforming (Reforming catalytique)

Unité 13 : Gaz Plant (Traitement du gaz)

Unité 17 : Unité d'isomérisation

Unité 18 : Unité de HOT OIL (système de l'huile chaude)

I.7.3 Zone 5 : LUBRIFIANTS

Cette zone a pour tâche de produire les huiles de base à partir du brut réduit Atmosphérique vendant de la zone 4. Le schéma de fonctionnement et de fabrication est le suivant :

Unité 21 : Distillation sous vide

Unité 22 : Dés asphaltage au propane

Unité 23 : Extraction des aromatiques

Unité 24 : Déparaffinage au MEK- Toluène

Unité 25 : Hydrofinishing

I.7.4 ZONE 6 : Mélange et conditionnement des huiles finies

Elle est destinée aux mélanges et conditionnements des huiles finies à partir des huiles de base des unités des lubrifiants et les additifs chimiques importés. Les huiles fabriquées sont des huiles motrices et industrielle.

I.7.5 Zone 10: BITUMES

Cette zone est composée de deux ensembles :

Unité 14 : Bitumes routiers

Unité 15 : Bitumes Oxydé

LES ZONES DES STOCKAGE :

Zone 08 et 09 : stockage du résidu atmosphérique dans 2 bacs.

Zone 11,12 et 13 : stockage du brut de Hassi-Messaoud ; 3 bacs de 60 000T et 2 bacs de 50 000T.

Zone 31 : contient une torche P1.

I.8 Présentation des principales zones du P2

En 1978, suite aux besoins importants en lubrifiants la réalisation d'un ensemble de production de 120000 T/an d'huile de base fut lancé .Le démarrage de cet ensemble fut en 1982. Il comprend trois Zones :

I.8.1 Zone 19 : UTILITES

Cette unité entre dans le plan de l'extension de la raffinerie, elle a les mêmes taches que la zone 3 du département P1 donc son objectif est de fournir les besoins des unités de P2 en Vapeur, Electricité, Air, (service et instrument), Eau (distillée et de refroidissement).

Comprend les unités suivantes :

U1100 : Production de la vapeur

U1200 : Production de l'électricité.

U1300 : Tour de refroidissement

U1400 : Fuel gaz

U1700: La torche

U1500 : Unité d'air comprimé

U1600 : Production de l'eau distillée

U1800 : Traitement des eaux usées de P2

U280 : Production de gaz inerte (azote)

I.8.2 Zone 5 : Lubrifiants

Elle se compose de 6 unités dont le but est de produire les huiles de base (SPO, SAE30, SAE10,BS) à une capacité de 120000 T/an. Le traitement se fait de même manière que la zone 7 de P1: elle comprend les unités suivantes :

Unité 100 : Distillation sous vide

Unité 200 : Dés asphaltage au propane

U300 : Extraction des Aromatiques

U150 : HOT OIL

U400: Déparaffinage au MEK-Toluène

U500 : Hydro finishing

U 600 : Hydrotraitement de la paraffine

LES ZONES DE STOCKAGE :

Zone 16 : Stockage d'eau brut pour réseau anti-incendie

Stockage de naphta

Zone 17 : Stockage du kérosène.

Stockage d'essences de la 1^{ère} distillation.

Zone 18 : Stockage du fuel pour mélange.

Zone 24 : Stockage de gasoils.

Zone 25 : Stockage de fuel

Zone 26 : Stockage des GPL (Butane et Propane), une sphère de propane destiné à l'unité lubrifiante et au marché normal.

Trois sphères de butane destiné au mélange de GPL.

Deux sphères de butane commerciales.

Zone 29 : Stockage du brut réduit importé (BRI).

Zone 31 : contient une torche P2.

Zone 6 : Les huiles finies

Unité 3000 :Huiles finies.

U 3100 : Blending des huiles.

U3200 : Graisses

U 3300 : Conditionnement de la paraffine.

U 3600 : Remplissage des huiles

U 3900 : Conditionnement des huiles et de graisse.

I.9 Conclusion :

La raffinerie d'Arzew est l'une des cinq raffineries de pétrole d'Algérie. Sa mission est d'assurer dans les normes une production adaptée aux exigences et besoins du marché national et international en termes d'énergie et ses dérivés, on peut distinguer trois domaines d'activités :

- Le domaine de production
- Le domaine de maintenance
- Le domaine de gestion

- L'objectif de la raffinerie d'Arzew RA1Z est de procéder à la production de produits Liquide, gazeux et solides dérivés à partir de pétrole brut en continu

tels que :

- Carburants
- Lubrifiants
- Graisses
- Bitumes
- Butane et propane

Chapitre II

Types des chaudières

II.1 Introduction :

L'industrie utilise couramment la vapeur comme énergie nécessaire à la réalisation de différents procédés, la vapeur est un fluide caloporteur, facilement transportable et non toxique. La production de vapeur demande l'utilisation d'un combustible et d'une chaudière. Le rôle d'une chaudière est de transformer l'eau d'alimentation de la chaudière en vapeur à haute pression, généralement pour but :

- D'apporter l'énergie nécessaire (vapeur de réchauffage, entraînement d'une turbine).
- D'intervenir dans les réactions (réaction chimique, vapeur dilution, de stripping etc....)
- De constitué un élément de sécurité.

II. 2 Définition d'une chaudière :

Une chaudière est un appareil qui permet de transférer en continu de l'énergie thermique à un fluide caloporteur, (l'eau en général). C'est un équipement servant à la transformation de l'eau liquide en vapeur selon la température et la pression définies par la destination de cette vapeur sous l'effet d'apport de chaleur, généralement réalisé par la combustion d'un combustible dans le foyer de la chaudière. Il peut être aussi extérieure (gaz chauds de différents processus).



Figure II.1 : Chaudière industrielle [5]

- HP (Haute pression) ; $P=48\text{bar}$, $T=490^{\circ}\text{C}$) turbomachine, Turboalternateur.
- BP (basse pression) $P=3\text{bar}$, $T=190^{\circ}\text{C}$) échangeur.
- MP (moyenne pression $P=12\text{bar} - 25\text{bar}$, $T=300^{\circ}\text{C}$) éjecteur, torche.

II. 3 Description d'une chaudière :

Les chaudières se composent de diverses surfaces d'échange appelées surfaces de chauffe et de réservoirs. Les surfaces de chauffe ont plusieurs composants :

- Une partie principale où se produit le chauffage (eau chaude et eau surchauffée) ou la vaporisation ;
- Des parties auxiliaires (pas toujours existantes dans les petites chaudières) où se déroulent différents échanges de chaleur tels que :
 - ✓ Le réchauffeur d'air de combustion ;
 - ✓ Le réchauffeur d'eau d'alimentation (économiseur) ;
 - ✓ La surchauffeur de vapeur ;

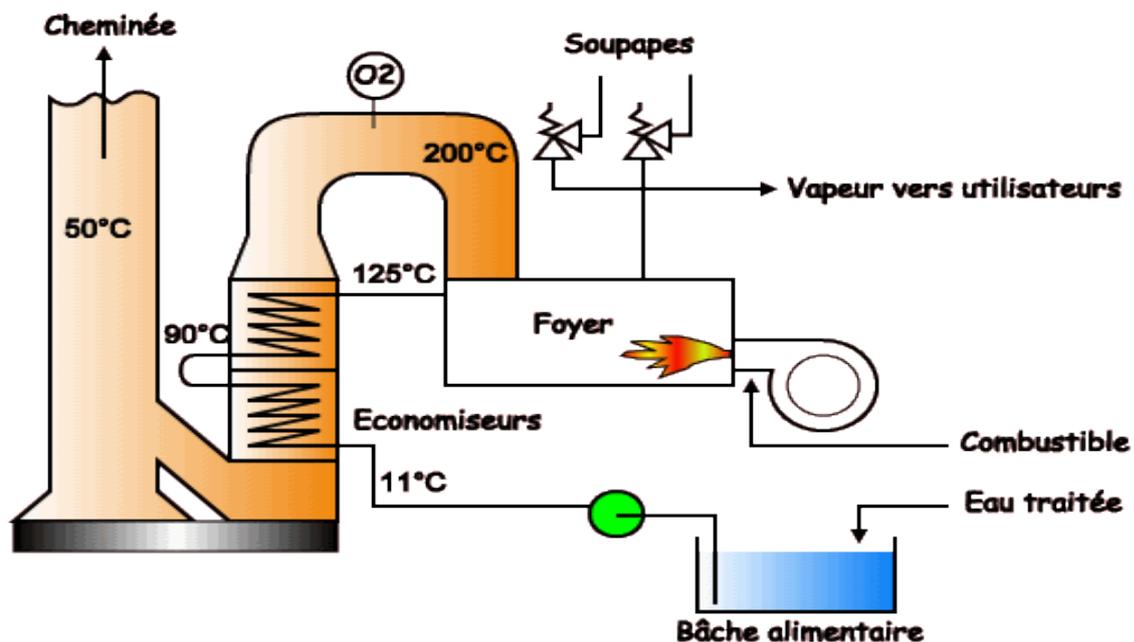


Figure II.2 : Schéma description de la chaudière [6]

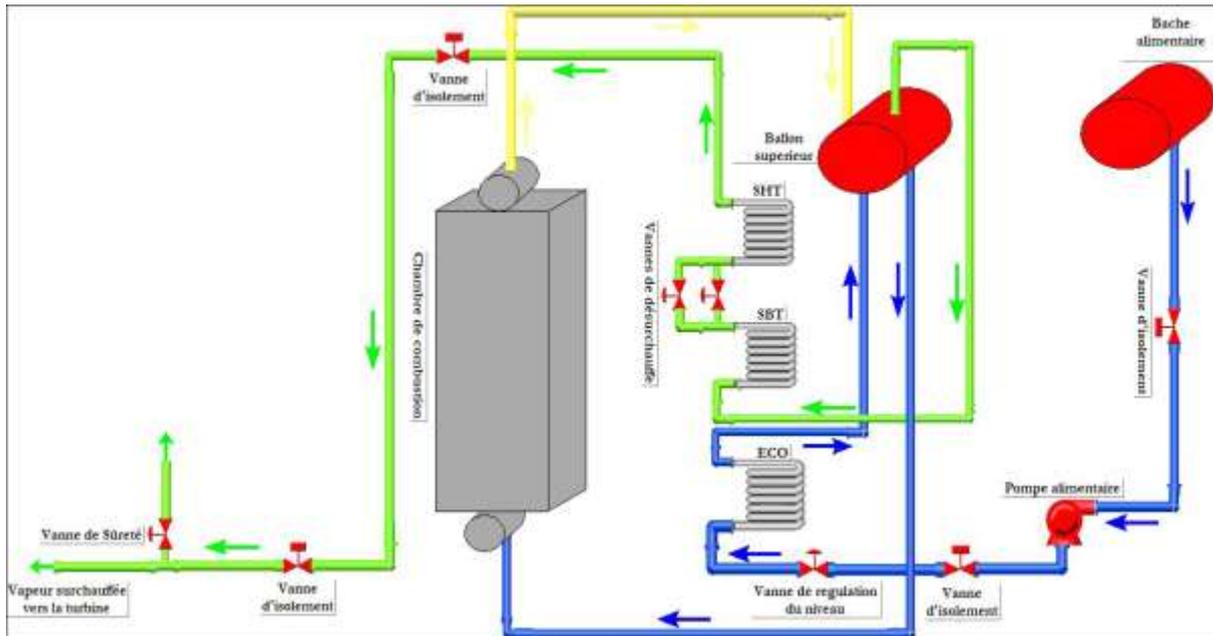


Figure II.3 : Schéma détaillé de la chaudière [7]

II. 4 Les types des chaudières :

Les chaudières industrielles peuvent être classées en deux catégories principales :

II.4.1 Les chaudières conventionnelles : la chaleur nécessaire à la vaporisation de l'eau est fournie par combustion de liquides ou de gaz combustibles. Ce sont l'eau ou les fumées de combustion qui circulent dans un faisceau tubulaire, on distingue les **chaudières à tubes d'eau** et les **chaudières à tubes de fumées**.

II.4.2 Les chaudières de récupération : utilisant la chaleur disponible dans des fluides de procédés à haute température. Les chaudières de récupération peuvent être construites comme les chaudières conventionnelles. **Ces chaudières de récupération ne sont pas étudiées dans le présent mémoire.**

II.4.3 Chaudières électriques :

Les chaudières électriques sont des systèmes adaptés tant aux besoins industriels qu'aux besoins domestiques. Il est possible de distinguer 3 principes de chauffe électriques :

- ✓ Chaudière électriques à résistances.
- ✓ Chaudière électriques à effet joule,
- ✓ Chaudière électriques ioniques.

II.5 Les chaudières à tubes d'eau :

C'est un type de générateur de vapeur dans l'eau circule dans les tubes qui sont chauffés par les gaz de combustion. Les parois d'une chaudière à tubes d'eau sont constituées de panneaux de tubes. Ces parois délimitent le volume dans les gaz de combustion circulent.



Figure II.4 : Chaudières à tubes d'eau [8]

II.6 Les chaudières à tubes de fumées

Les chaudières à tubes de fumées sont le plus généralement des petites chaudières (production inférieure à 25 t/h) générant de la vapeur saturée à une pression inférieure à une vingtaine de bars.

Une chaudière à tubes de fumées est constituée d'un grand réservoir d'eau traversé par des tubes dans lesquels circulent les fumées. Le premier tube du parcours de fumées est un tube de plus gros diamètre qui constitue le foyer. Ce type de construction est aujourd'hui utilisé presque exclusivement pour les combustibles gazeux et liquides. Le schéma ci-dessous présente la vue éclatée d'une chaudière à tubes de fumées

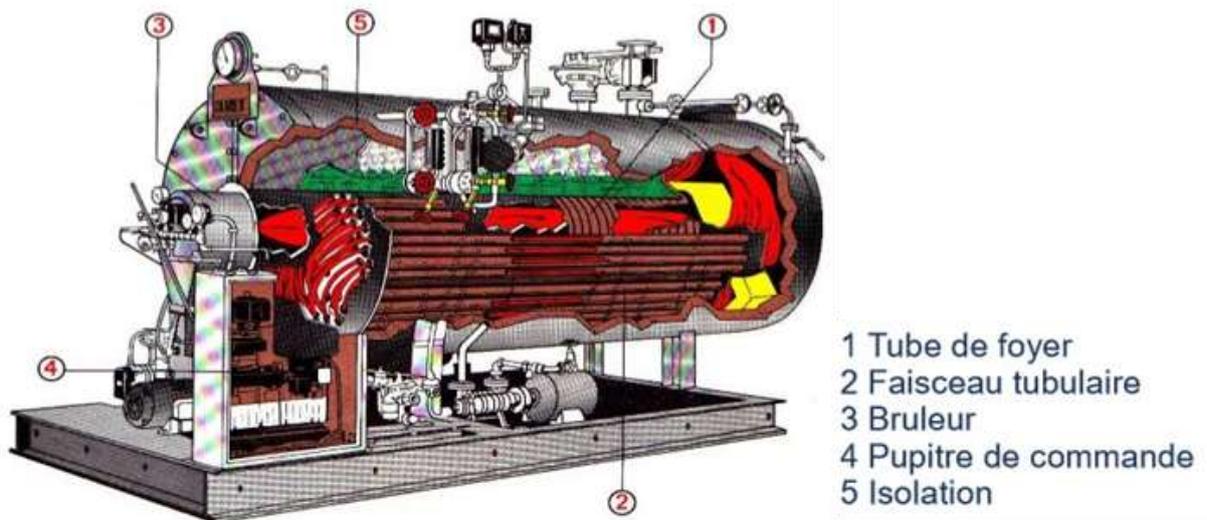


Figure II.5 : Chaudière à tubes de fumées [9]

II. 7 Comparaison entre deux types de chaudières :

Le choix de la chaudière dépend de différents aspects et critères selon les besoins et le but, le tableau ci-après montre une comparaison entre les deux principaux types de construction.

Tableau II.1: Comparaison entre deux types de chaudières

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	élevé
Sécurité	médiocres	bonne
Encombrement	Faible	fort
Prix	Limité	élevé

Applications usuelles	• Moyennement élevée	• Importante
• Puissance	• 1,5 à 25 t/h	• 4 à 200 t/h
• Débit	• 10 à 20 bar	• 90 à 100 bar (en circulation naturelle) et
• Timbre (pression max. d'utilisation)		Jusqu'à 225 bar (circulation forcée)

II. 8 Principe générale de fonctionnement :

Une chaudière à tube d'eau se compose généralement de quatre éléments principaux : un réservoir d'alimentation inférieur, un réservoir supérieur, où la vapeur est produite. Des tubes relient ces deux réservoirs, permettant à l'eau de circuler naturellement. Ces tubes sont directement chauffés par la flamme et les gaz de combustion.

La vapeur saturée est extraite depuis le dessus du réservoir supérieur, puis passer vers la surchauffeur afin d'augmenter sa température pour avoir une vapeur sèche avant d'alimenter le procès

Pour améliorer l'efficacité énergétique, les gaz d'échappement sont également utilisés pour préchauffer l'air comburant du brûleur et chauffer l'eau d'alimentation (au niveau de l'économiseur).

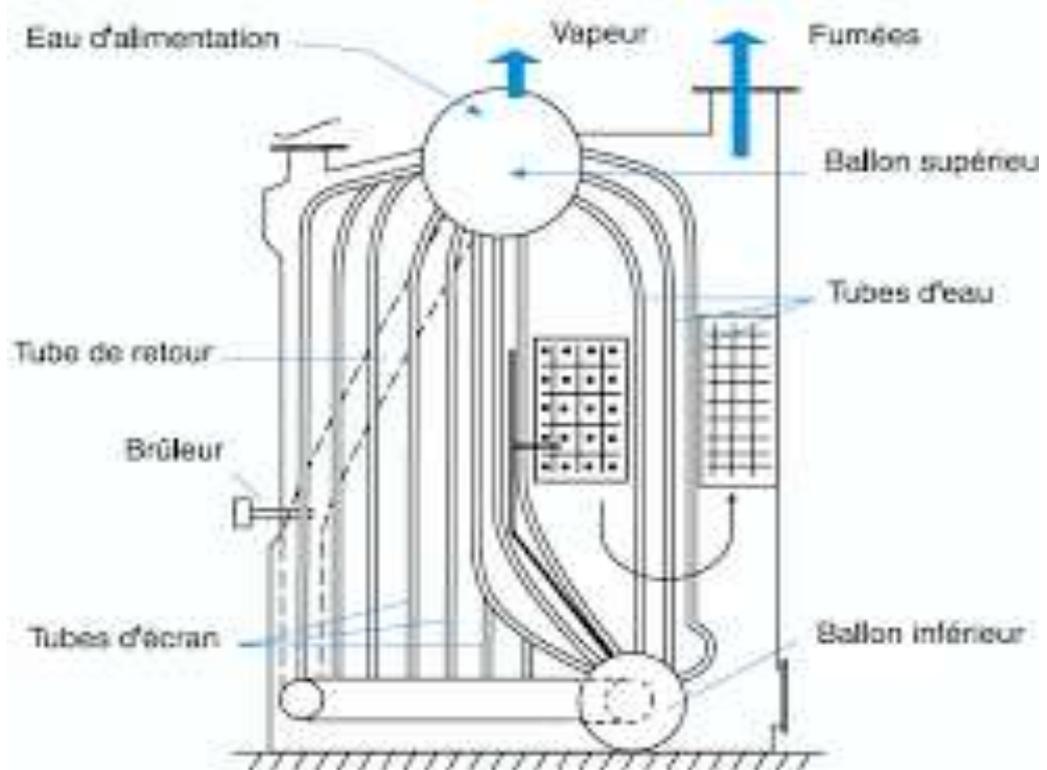


Figure II.6 : Principe générale de fonctionnement [10]

II. 9 Classification des chaudières :

La classification des **chaudières** se fait sur la base de 8 critères :

- **La gamme de puissance** : supérieure ou inférieure à 70KW,
- **Le système d'installation** : sol ou mural,
- **L'utilisation** : domestique, collective, industrielle, centrale
- **Le type de fluide caloporteur** : eau, vapeur, fluide, sels,
- **La construction** : à tubes de fumées ou à tubes d'eau,
- **Le type de circulation** : naturelle, assistée, forcée,
- **L'architecture** : chaudière à deux passes, chaudière tour,
- **La source de chaleur** : combustion, récupération, électrique

II.10 Les différents composants d'une chaudière :

II.10.1 Le réservoir : Élément principal dans la chaudière, le réservoir est le lieu du mélange d'eau et de vapeur qui provient des tubes d'écran et de faisceaux vaporisateurs. Le ballon est un gros cylindre Horizontal qui se trouve à la partie supérieure de la chaudière et son rôle est :

La séparation de l'eau et de la vapeur.

L'équilibrage des pressions eau et de vapeur.

L'introduction de l'eau d'alimentation dans le système évaporateur.

La répartition (partage) correcte de l'eau d'alimentation dans les tubes



Figure II.7 : Le Réservoir [11]

II.10.2 La chambre de combustion :

Il s'agit d'une chambre formée par des tubes d'écrans vaporisateurs, qui joue le rôle principal d'assurer la combustion dans des conditions correctes, à savoir une sécurité, un bon rendement.

La chaleur introduite dans la chambre de combustion après la combustion se divise en :

- Chaleur transférée au fluide directement par les parois
- Chaleur évacuée par les fumées à la sortie du foyer
- Chaleur perdue vers l'extérieur par les calorifugées du

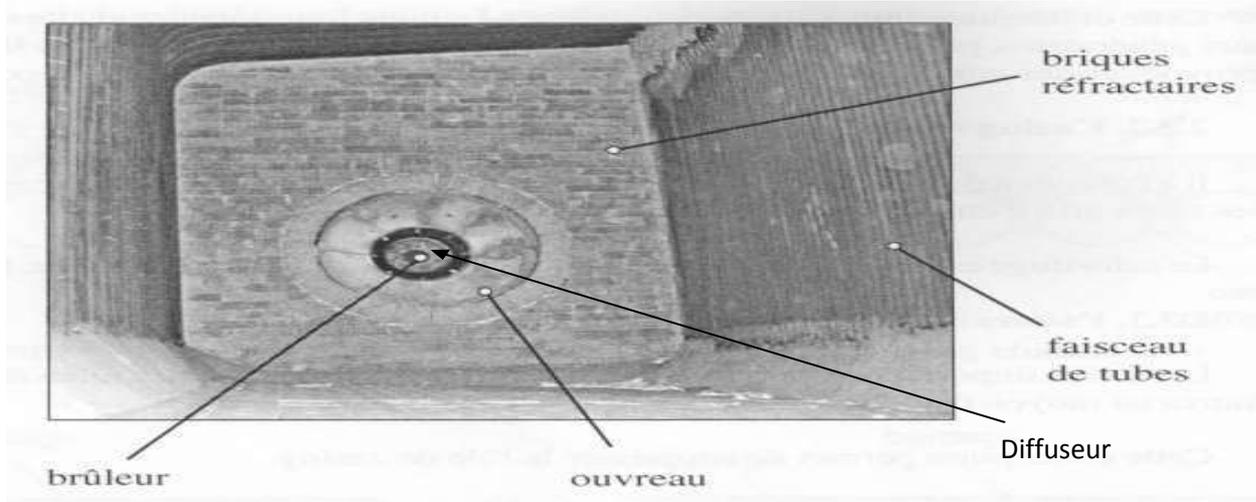


Figure II.8 : Chambre de combustion (foyer)

II.10.3 Brûleur : Le brûleur est le démarreur de la réaction de combustion à l'intérieur de la chaudière. Il existe un mécanisme qui envoie le message pour démarrer le processus de production de chaleur. Une buse dans le brûleur qui fait tourner le carburant pompé à partir de la source de carburant l'enflamme pour créer la combustion.

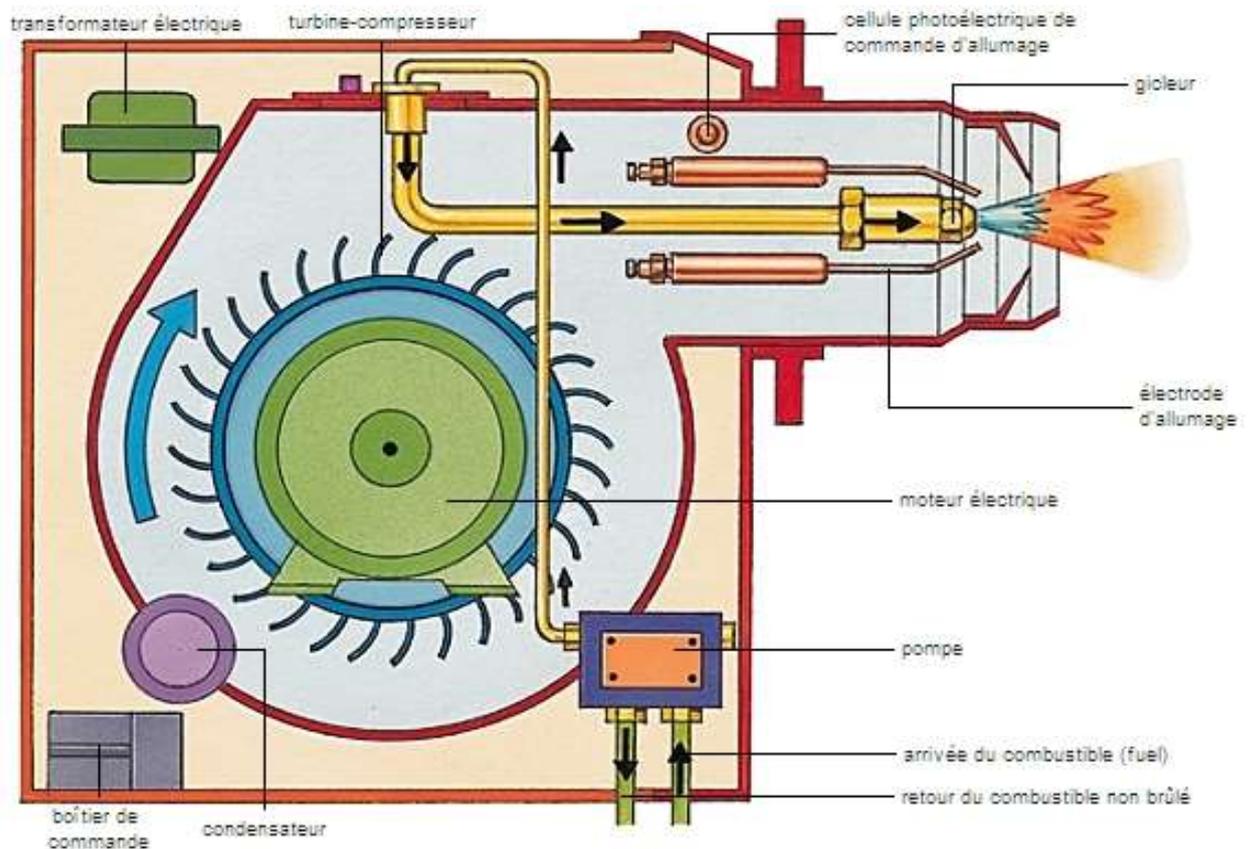


Figure II.9 : Schéma de brûleur [12]

II.10.4 Les échangeurs de chaleur :

Ils sont utilisés principalement pour transférer l'énergie contenue dans les gaz de combustion à la vapeur ou à l'eau.

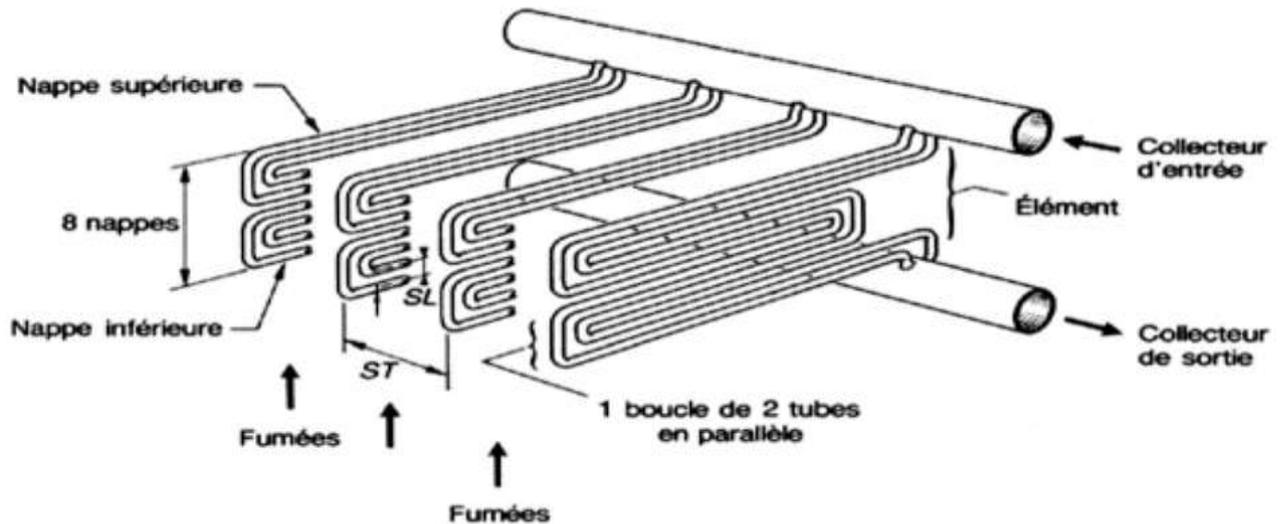


Figure II.10 : Échangeur de chaleur

II.10.5 Économiseur :

Qui permet de récupérer une partie de la chaleur contenue dans les produits de la combustion pour le préchauffage de l'eau d'alimentation du générateur

L'économiseur divisé parfois en différents éléments, est généralement constitué de tubes à ailettes ou de tubes lisses.

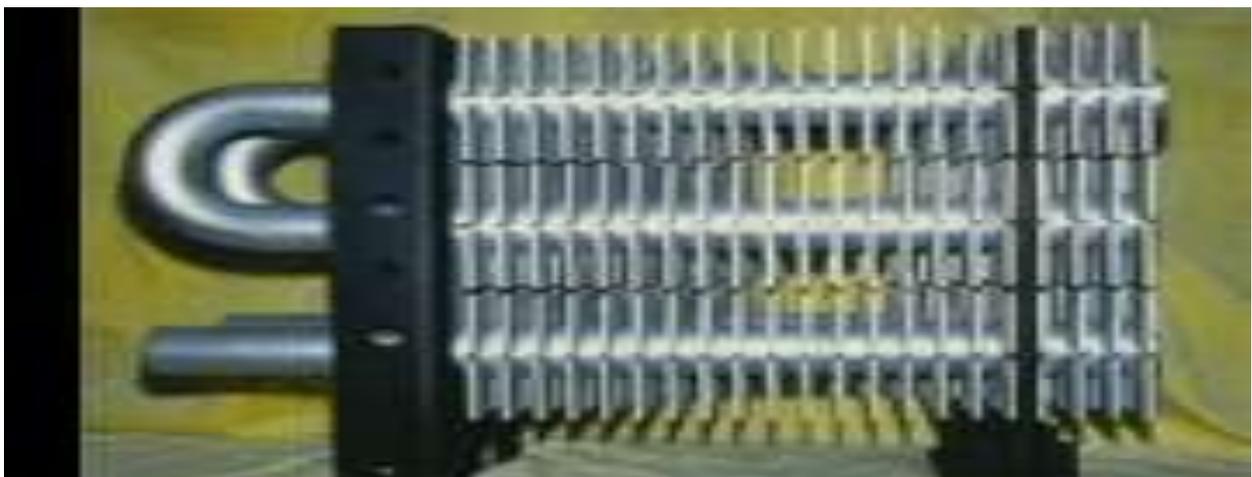


Figure II.11 : Économiseur

II.10.6 Surchauffeurs :

Le rôle des surchauffeurs est d'augmenter la température de la vapeur à la température désirée sans changer la pression. Ce sont généralement des échangeurs tubulaires et comprenant parfois deux parties, un surchauffeur primaire et un surchauffeur secondaire

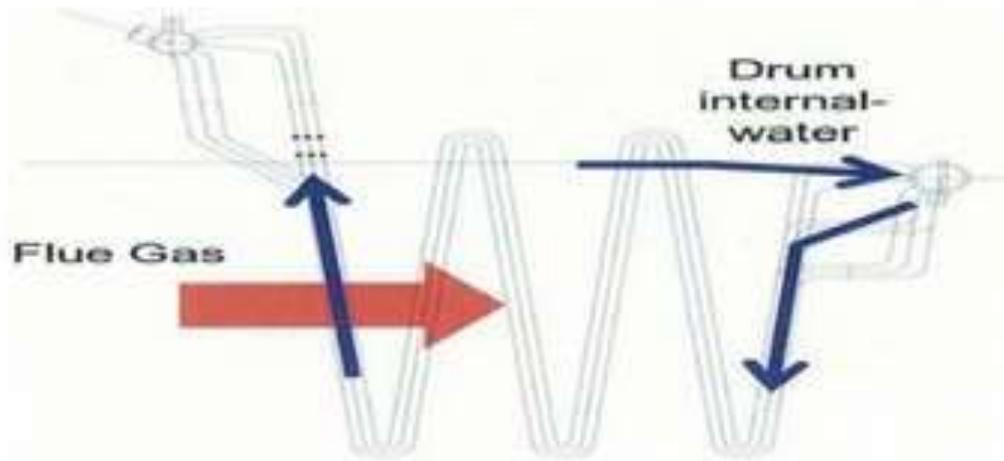


Figure II.12 : Surchauffeurs

II.10.7 Désurchauffeurs

Destinés à refroidir et moduler la température de la vapeur surchauffée ou resurchauffée, ils sont rarement tubulaires mais généralement assimilables à des échangeurs par mélange puisqu'ils procèdent par injection d'eau dans la vapeur.

II. 11 Circulation dans une chaudière

Le rôle de la circulation de l'eau ou de l'émulsion d'eau et de vapeur dans les tubes de la chaudière est d'assurer d'une part le refroidissement correct des tubes situés dans les zones les plus chaudes ou exposées au rayonnement direct du feu, et qui reçoivent à cette partie, le flux maximal de chaleur, et d'autre part, d'assurer la génération de la vapeur saturée, c'est-à-dire, le passage du fluide chauffé de l'état eau à l'état émulsion eau et vapeur.

Il y a deux types principaux de circulation :

La circulation naturelle :

La circulation naturelle est basée sur le principe de densité entre l'eau dans les tubes vaporisateurs et les tubes de retour.

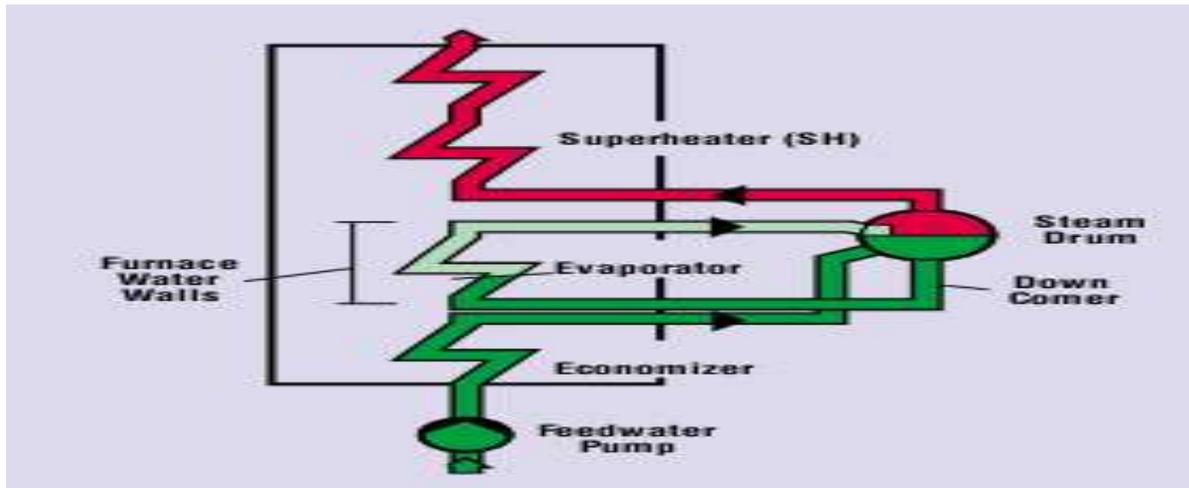


Figure II.13 : Schéma de la circulation naturelle [13]

La circulation contrôlée :

La circulation contrôlée est un cas de circulation forcée. Les chaudières dont le fonctionnement repose sur le principe de la circulation forcée se ramènent à deux types :

- Circulation un circuit fermé
- Circulation en circuit ouvert.

La circulation forcée :

La circulation forcée a l'avantage d'assurer une vitesse convenable de fluide dans les tubes.

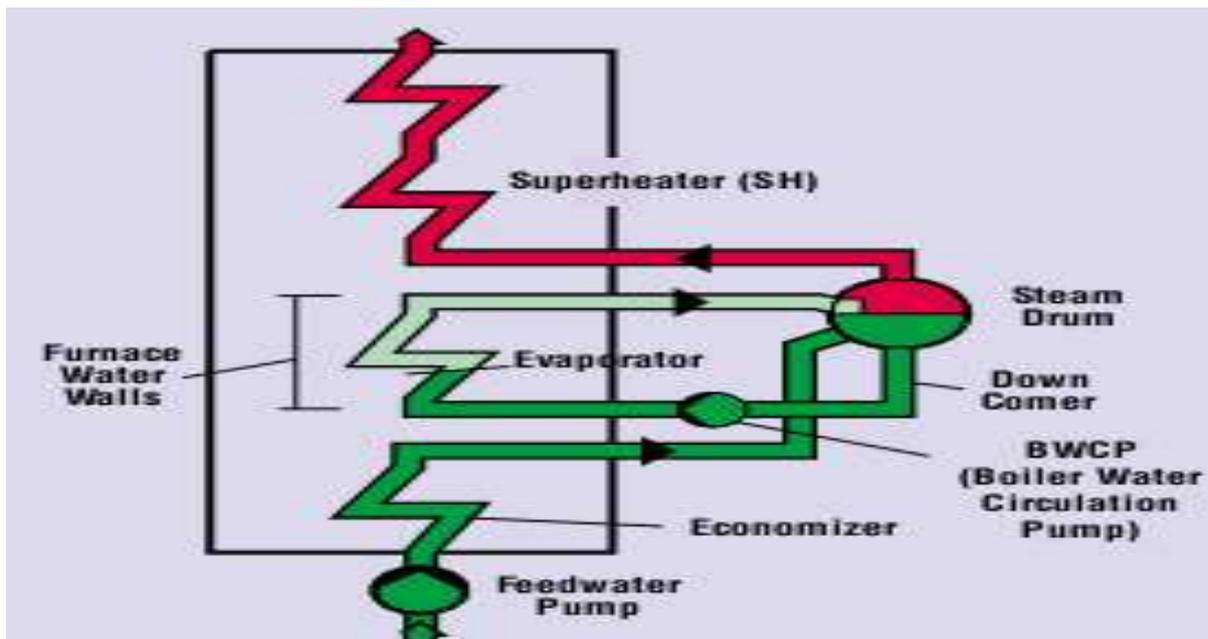


Figure II.14 : Schéma de la circulation forcée [14]

II. 12 Nettoyage dans une chaudière :

- **Lessivage** : avant la première mise en service de la chaudière il y a lieu de nettoyer la surface interne des tubes et des ballons de toute trace d'huile déversée durant les travaux de construction. L'opération s'appelle le lessivage à la soude. Les produits chimiques utilisés sont la soude caustique, le sulfite de sodium et le phosphate trisomique selon les quantités recommandées par le fabricant. Appliquer la procédure de lessivage recommandée par le fabricant.
- **Détartrage** : après une longue période de fonctionnement en continue et surtout à pleine capacité des dépôts de sels se font sur la surface interne des tubes et des ballons. Ces dépôts réduisent les conditions de transfert de chaleur et la consommation de gaz augmente. Pour éviter tout éclatement de tubes surtout dans la chambre de combustion un nettoyage chimique s'impose. Utiliser les produits chimiques et appliquer strictement la procédure recommandée par le fabricant. La chaudière étant un équipement sous réglementation elle doit être arrêtée pour entretien et retraitage des soupapes **à froid et à chaud tous les 18 moi.**

II.13 Régulation de la chaudière

II.13.1 Régulation à un élément

La régulation du niveau d'eau dans le ballon du générateur de vapeur, entre deux limites admissibles de niveau haut et bas, est un élément essentiel pour le bon fonctionnement de la chaudière à la norme de sûreté.

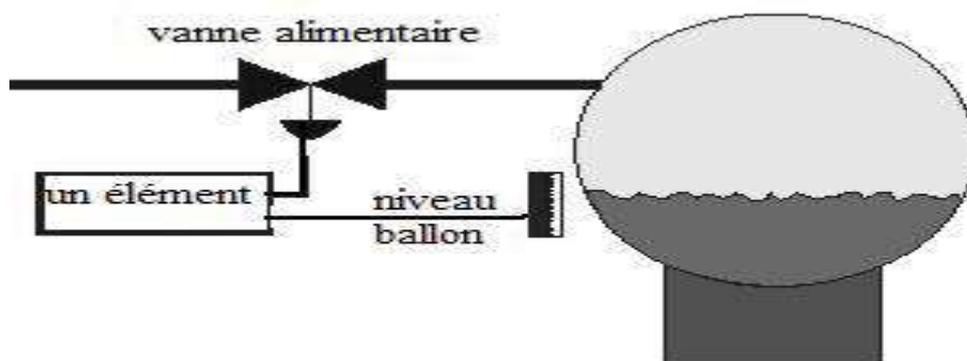


Figure II.15 : Régulation à un élément [15]

II.13.2 Régulation à deux éléments

La régulation à deux éléments est pilotée par le débit de vapeur et le niveau. Le système est logique puisqu'il s'agit d'apporter à la chaudière un débit d'eau équivalent au débit de vapeur prélevé.

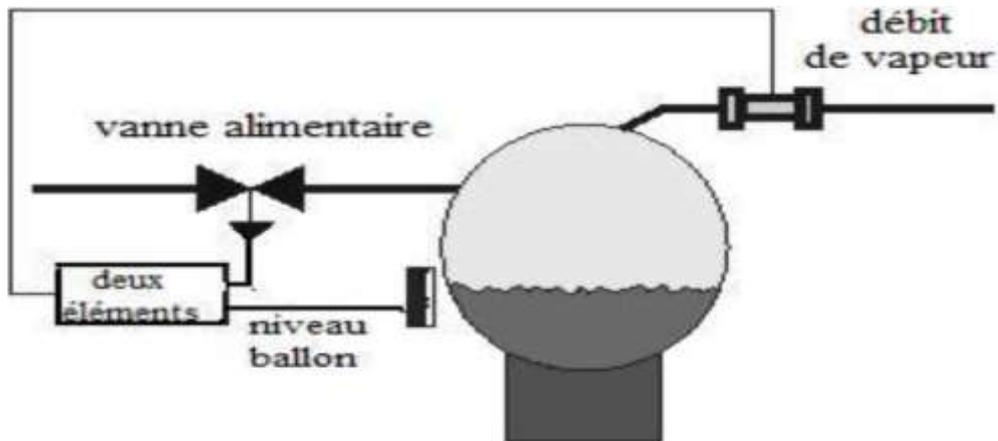


Figure II.16 : Régulation à deux éléments [16]

II.13.3 Régulation à trois éléments

La régulation à trois éléments est pilotée par les débits d'eau, de vapeur et le niveau. Le signal pilotant la vanne d'alimentation résulte alors de la différence entre débit de vapeur et débit d'eau, ce qui évite de modifier le débit d'eau.

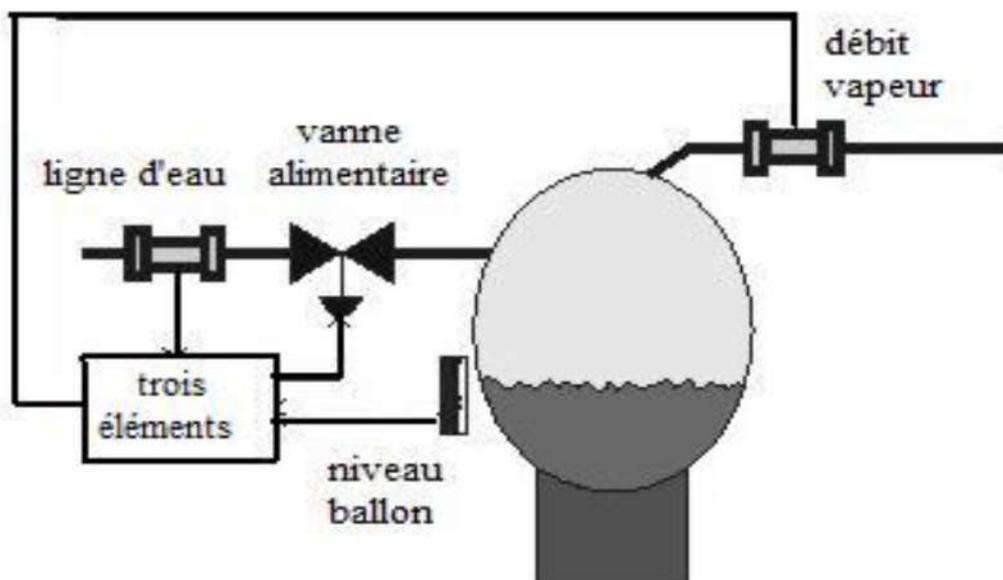
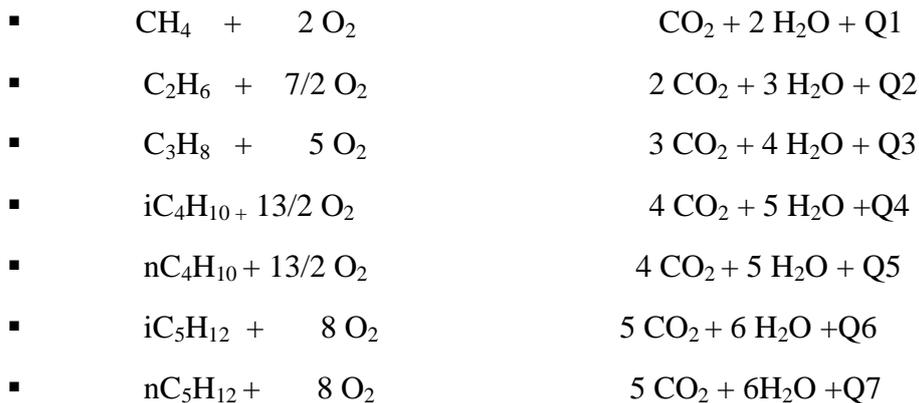


Figure II.17 : Régulation trois éléments [17]

II.14 Combustion dans les chaudières

❖ Combustion théorique :

Son étude est d'un intérêt essentiel, car elle sert de base à l'étude de la combustion réelle. Le principe de la combustion théorique consiste à faire brûler tous les composants du combustible conformément aux équations stœchiométriques suivantes :



❖ Combustion reel:

Le rapport entre le volume d'air réellement fourni pour la combustion d'un 1 Kg de combustible et le volume d'air est connu sous le nom de combustion réelle.

II.15 Conclusion

Nous avons défini la chaudière en détail tel que : Sa fonctionnement, sa description, sa classification, ses types et comment sa nettoyer etc.....

Les chaudières ou générateurs de vapeur sont des équipements indispensables pour assurer le bon fonctionnement et la continuité des industries. Leur absence entraîne une diminution significative de la production.

Les chaudières sont des équipements soumis à réglementation en raison de leur importance, les conditions de fonctionnement des chaudières sont très strictes en raison du principe de leur fonctionnement, des caractéristiques de la vapeur générée (pression et température) et de l'utilisation de cette vapeur. C'est pour cette raison qu'il est nécessaire d'assurer un contrôle strict lors de son démarrage et pendant son fonctionnement normal.

CHAPITRE III

Analyse et interprétations des résultats

III.1.INTRODUCTION

La raffinerie de pétrole est abordée dans ce chapitre, où des installations de production requièrent de la vapeur, de l'électricité, de l'eau de refroidissement, de l'eau distillée, de l'air instrument et d'air service afin de maintenir leur bon fonctionnement. La zone 3 est déplacée pour transporter l'eau brute (eau dessalée provenant de KAHRAMA), où elle sera stockée dans le bac T602 d'une capacité de 12 000 m³ et d'une hauteur de 15 m.

Nous abordons également dans ce chapitre la description de la chaudière que nous avons étudiée, son fonctionnement, ainsi que les différentes étapes suivies pour atteindre l'objectif de déterminer les causes probables du phénomène de la hernie au niveau des tubes de surchauffeur de la chaudière. En terminant par des recommandations visant à minimiser les répercussions.

III.2 Les installations d'utilités

- ✓ Les circuits d'eau
- ✓ Les équipements de production de la vapeur.
- ✓ Le circuit d'alimentation en eau des chaudières, productrice de cette vapeur.
- ✓ Les équipements de production, transformation de l'énergie électrique
- ✓ Le réseau d'air comprimé destiné aux instruments de mesure et de contrôle (air instrument), et aux unités de la raffinerie (air service).

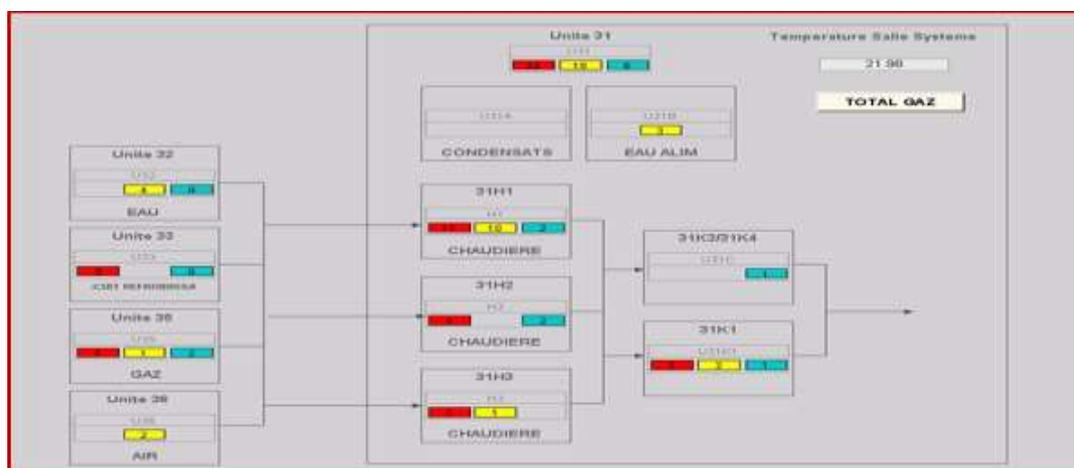


Figure III.1 : Schéma de description de la zone 3.

III.3 Unités 31

Unité de production de vapeur, génération d'électricité et récupération des condensats.

On peut distinguer deux sections dans la partie de production de vapeur :

- ✓ Section de production de la vapeur et conditionnement d'eau d'alimentation.
- ✓ Section de traitement des retours de condensats

Le besoin en vapeur est de 130T/h environs produit par deux chaudières 31H2 et 31H3.

31H3 : capacité maximale 120t/h

31H1 : capacité maximale 60t/h

31H2 : capacité maximale 60t/h

Les produits qui appliquent dans ces utilités :

- ❖ Morpholine C_4H_8ON (pour maintenir le PH).
- ❖ Phosphate Trisodique Na_3PO_4
- ❖ Le Sulfite Na_2SO_2



Figure III.2 : Utilités de la zone 3

III.4 Présentation de la chaudière 31/H1 de la zone 3

La chaudière H1 d'une capacité maximale de 60t/h, est une chaudière de type vertical et monobloc à circulation naturelle. L'eau distillée traitée est introduite dans le ballon

supérieure en circulant entre le ballon supérieur et le ballon inférieur l'eau chauffée se transforme en vapeur qui s'accumule dans le ballon supérieur, elle est ensuite dirigée vers un surchauffeur pour la débarrasser des particules d'eau, sortie avec une température de 480°C elle se refroidit dans un désurchauffeur et est amenée à 430° pour être débitée dans le réseau à 50 kg/cm².

III.5 Fonctionnement de la chaudière 31/H1 de la zone 3

Le processus décrit commence par l'envoi des condensats au dégazeur pour éliminer l'oxygène dissous avec de l'hydrazine. Ensuite, les condensats sont dirigés vers les pompes d'alimentation en eau des chaudières. L'eau entre dans la chaudière via un économiseur, puis est traitée avec du phosphate pour éliminer les impuretés en passant à travers des ballons et des faisceaux tubulaires. Après avoir absorbé suffisamment de chaleur pour devenir de la vapeur, l'eau s'évapore dans la chambre de combustion à travers des tubes latéraux. La vapeur saturée est surchauffée dans des échangeurs de chaleur successifs, avec une régulation de température effectuée par un désurchauffeur. La vapeur quitte la chaudière à haute pression via un collecteur commun. Chaque chaudière est équipée de deux brûleurs alimentés par un mélange de fuel gaz et de gaz naturel, avec de l'air fourni par un ventilateur à tirage forcé. L'allumage des brûleurs est effectué par des pilotes alimentés par le gaz de combustion, tandis que l'air est fourni par un ventilateur d'allumage. La chaudière est divisée en trois zones de transfert de chaleur : la zone de radiation (foyer et brûleurs), la zone de convection (ballon et tubulures), et la zone de conduction (surchauffeur et économiseur).

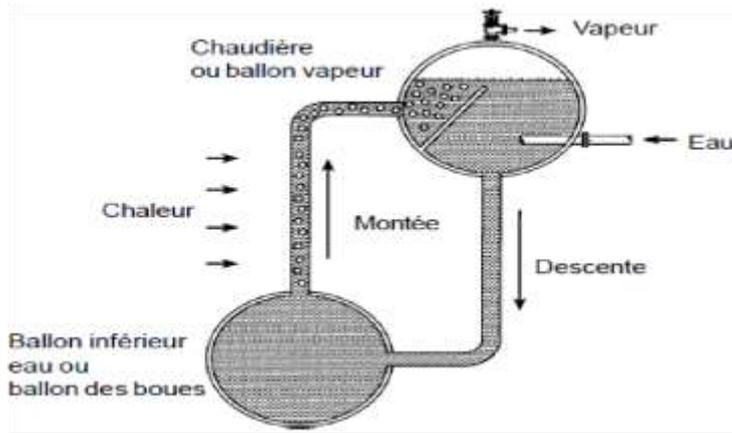


Figure III.3: Le fonctionnement de la chaudière

III.6 Système de sécurité pour la chaudière 31H1

La chaudière H1, est équipée au niveau de leur collecteur de gaz principaux de deux vannes de sécurité qui assure l'arrêt de la chaudière en cas de déclenchement, ce sont des vannes de fermeture rapide qui ferme par manque d'énergie, elles assurent la sécurité des chaudières.

III.7 Problématique de la chaudière 31H1

Une chaudière peut avoir des problèmes aux conséquences visibles (corrosion, bruits, fumées...), qui peut causer son arrêt. Notre thématique se base sur la formation des hernies au niveau des tubes d'eau de surchauffeur (le gonflement). Le gonflement est généralement une indication de surchauffe, Il est considéré comme plus grave que l'affaissement ou l'inclinaison.

III.8 Phénomène des hernies

Lorsque l'eau de la chaudière contient des impuretés et des minéraux, ces substances peuvent se déposer dans le tube de paroi d'eau sur le mur, formant une couche de tartre. La couche de tartre augmentera la résistance thermique et réduira l'effet de refroidissement du mélange vapeur-eau sur la paroi du tuyau. Lorsque l'effet de refroidissement diminue, la température de la paroi du tube augmente.

Le matériau d'un tube mural refroidi à l'eau flue pendant une longue période sous des températures élevées. Lorsque la température est comprise entre 400 et 450 °C, la vitesse de fluage augmente. En raison du phénomène de tartre, la température de la paroi du tuyau augmente et la vitesse de fluage sera accélérée, de sorte que le tuyau de la paroi d'eau jusqu'au coin du feu est épais.

Le renflement normal du tube de la paroi d'eau ne doit pas dépasser 1 % du diamètre, le dépassement de cette valeur indique l'existence d'un phénomène anormal. Si la valeur de gonflement est supérieure à 5 %, le tube doit être remplacé pour garantir le fonctionnement normal de la chaudière et la sécurité.



Figure III.4 : un gonflement au niveau les tubes de surchauffeur [18]

Les points chauds développés à partir d'une combinaison de cokéfaction à l'intérieur du tube et d'impact de flammes à l'extérieur du tube font éclater le tube

La présence d'oxygène dissous ou d'impuretés dans l'eau peut entraîner la corrosion des éléments métalliques de la chaudière. Il est possible que cela provoque des fuites, des ruptures de tuyaux, voire la panne totale de la chaudière



Figure III.5 : éclats à lèvres minces [19]

Matière en suspension :

Les matières en suspension apportées par l'eau avant l'introduction dans la chaudière peuvent se déposer partout où la vitesse de circulation est réduite. De même, des matières colloïdales qui se trouvent dans l'eau se coagulent sous une forme gélatineuse sous l'effet d'une simple élévation de température et forment des pellicules sur les parois des tubes. La couleur de ces dépôts (gris- brun- rouge.....) est due aux matières en suspension qui s'absorbent sur cette pellicule pour constituer un édifice homogène et isolant très dangereux.



Figure III.6 : Le dépôt dans les tubes de la chaudière

Tartre carbonaté :

Par élévation de la température de l'eau, le CO_2 s'échappe et devient insuffisant et une partie de bicarbonate de calcium contenu dans l'eau précipite sur les parois chaudes à l'état de carbonate de calcium selon la réaction $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Tartre sulfate :

Le sulfate de calcium CaSO_4 , qui peut précipiter à froid sous forme de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou à chaud, sous forme anhydre CaSO_4 . Les tartres sulfatés sont très durs.

Tartre siliceux :

En l'absence de sels incrustants, la silice se forme sur les tubes de chaudière les plus chauds des dépôts et très difficiles à enlever.

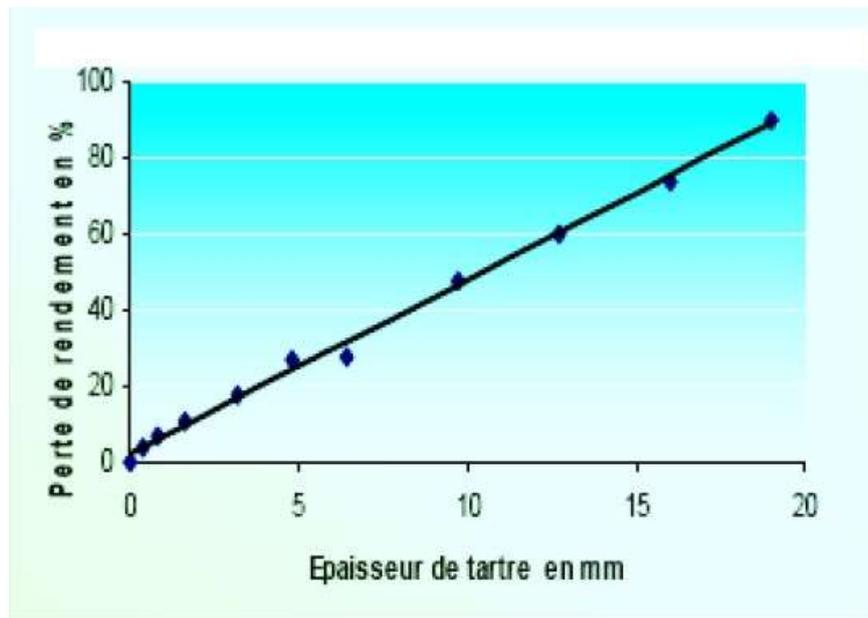


Figure III.7 : Perte de rendement en fonction de l'épaisseur de tartre

Surchauffe de la paroi

Du fait de la présence du tartre, la paroi est plus chaude et la résistance mécanique du fer est affaiblie. Il peut se produire des déformations et même des ruptures. Les dépôts contiennent de grandes quantités de cuivre et de fer, qui provoque une accélération considérable de la corrosion, et entraînent un entartrage.



Figure III.8 dépôt sur un échantillon

III.9 Traitement de l'eau pour chaudière

Un système optimal de traitement de l'eau de chaudière consiste principalement en un filtre à pression, une installation d'adoucissement et un dégazeur thermique pour maintenir une eau d'alimentation de haute pureté et un débit d'eau d'appoint. [14]

Elle se charge de toutes sortes de substances au cours de son cycle dans la nature. Substances présentes dans l'eau :

Tableau. III.1 Classification des éléments rencontrés dans l'eau [15]

<u>Etat ou forme des éléments dans l'eau</u>	<u>Nature des éléments</u>										
Matières en suspension	Sable, Argile, boues, Matières organiques, colloïdales										
Matières en solution, dont : Matières organiques	Tourbes, déchets végétaux, acides organiques										
Sels minéraux	<table border="0"> <tr> <td><u>Cations</u></td> <td><u>Anions</u></td> </tr> <tr> <td>Calcium</td> <td>Bicarbonates</td> </tr> <tr> <td>Magnésium</td> <td>Carbonates</td> </tr> <tr> <td>Sodium, etc</td> <td>Chlorures</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Sulfates, etc</td> </tr> </table>	<u>Cations</u>	<u>Anions</u>	Calcium	Bicarbonates	Magnésium	Carbonates	Sodium, etc	Chlorures		Sulfates, etc
<u>Cations</u>	<u>Anions</u>										
Calcium	Bicarbonates										
Magnésium	Carbonates										
Sodium, etc	Chlorures										
	Sulfates, etc										
Gaz	Oxygène, gaz carbonique, azote										
Organismes vivants	Algues, bactéries, champignons, etc										

III.10 Traitement des chaudières

La chaudière utilise une eau traitée, ce qui signifie qu'elle est dépourvue de sels minéraux. Elle est fabriquée soit à partir d'eau de barrage, soit à partir d'eau de mer distillée. On la conserve dans un bac, ce qui lui permet d'être en contact avec l'air et d'absorber l'oxygène. À une température et une pression élevées, cet oxygène dissous cause la corrosion des tubes et des ballons de la chaudière pour éliminer cet oxygène. L'eau subit les traitements suivants :

III.10.1 Traitement physique

Dans le dégazeur elle est portée à une température de 120°C ce qui permet de dégager le plus grand parti de l'oxygène dissous. Le fluide chauffant est la vapeur basse pression. A la sortie du dégazeur elle contient encore 5 ppm d'oxygène.

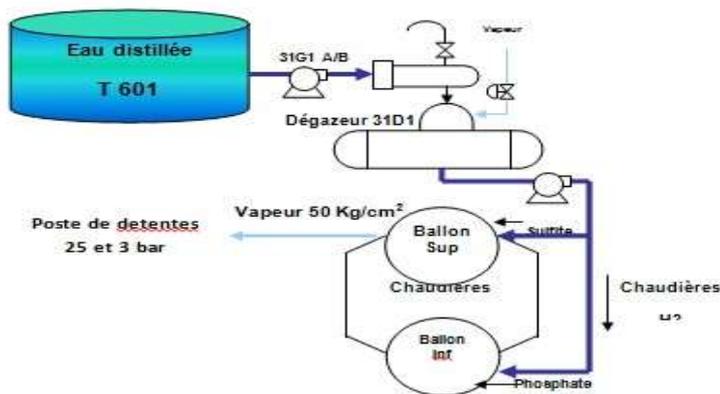


Figure III.9 : Le dégazage thermique

III.10.2 Traitement chimique

Afin d'éliminer cet oxygène résiduel un produit chimique est injecté grâce à une pompe doseuse. La quantité de produit chimique est ajustée en fonction des résultats des analyses de laboratoires effectués sur les échantillons d'eau prélevés à la sortie du dégazeur. Le produit chimique utilisé est le sulfite de sodium. (Na_2SO_3) ou selon les équations chimiques suivantes : $\text{Na}_2\text{SO}_3 + 1/2\text{O}_2 = \text{Na}_2\text{SO}_4$

III.11 Le système d'injection des produits chimiques

Précédent une injection de phosphate trisodique (Na_3PO_4) est faite au niveau du ballon inférieur de la chaudière. Ce produit chimique permet de :

- Maintenir un PH basique de l'eau à l'intérieur de la chaudière pour éviter tout Phénomène de corrosion.
- Le système d'injection comprend également deux (2) bacs pour la dissolution des produits chimiques et deux (2) pompes d'injection pour chaque.

III.12 Inhibiteurs :

Les inhibiteurs utilisés sont des produits chimiques à base de phosphate, qui ne présentent pas d'effets toxiques à moyen ou long terme :

Phosphate de Sodium ou phosphate trisodique de formule Na_3PO_4 , Sel de sodium d'acide phosphorique, commercialement fabriqué à partir de l'acide phosphorique. Il se présente sous forme d'une poudre de cristaux blanche.

III.13 Analyse des eaux de la chaudière 31/H1

Le traitement de l'eau d'appoint d'une chaudière vapeur va jouer plusieurs rôles :

- Éviter les dépôts (calcaire ou autre) dans la chaudière.
- Protéger la chaudière contre une éventuelle corrosion.
- Diminuer les purges chaudières inhérentes à la production de vapeur.
- Garantir la qualité de la vapeur envoyée dans le réseau.

Au niveau laboratoire on veille au suivi des analyses de ce traitement dans ces différents stades de la Raffinerie. L'unité produit à partir de l'eau brute : l'eau distillée, la vapeur d'eau, l'air comprimé et l'électricité qui seront utilisés ultérieurement.

Tableau III.2 : Analyses eau d'alimentation chaudière

Jours Essais	1 ^{er}	2 ^{eme}	3 ^{eme}	4 ^{eme}	5 ^{eme}	6 ^{eme}	7 ^{eme}	8 ^{eme}	9 ^{eme}	10 ^{eme}	Spécification technique des eaux de chaudière
	PH à 25C°	10.5	10.2	10.4	10.1	10.2	10.1	10.2	10.3	10.3	
Conductivité	477	422	460	440	486	448	485	445	456	532	< 800
TAC CaCO ₃	6.3	5.3	6.2	6.1	5.6	7.0	6.3	6.3	6.4	6.0	< 5
SO ₃ ⁻² ppm	10.1	7.6	2.5	8.9	9.9	9.4	8.4	8.9	7.1	10.1	5 - 10
PO ₄ ⁻³ ppm	5.8	7.3	7.9	8.0	7.5	8.9	8.5	8.3	8.4	10.5	5 - 15
SiO ₂ ppm	0.23	0.05	0.1	0.1	0.1	0.5	0.4	0.2	0.5	0.03	-

Remarques :

En comparant avec la référentielle de spécification technique des charges et des produits, on constate que :

- ✓ Le **PH** est maintenu
- ✓ La conductivité est bonne
- ✓ La teneur du TAC **CaCO₃** est un peu plus élevée par rapport au référentiel
- ✓ **SO₃⁻², PO₄⁻³** sont dans l'intervalle.

III.14 Calculer le bilan énergétique :

Avec économiseur :

Eau à l'entrée de la chaudière :

$$\left. \begin{array}{l} P = 58 \text{ bar} \\ T = 250 \text{ °C} \end{array} \right\} h_{ec} = 1036,9 \text{ Kj/Kg}$$

Vapeur à la sortie de la chaudière :

$$\left. \begin{array}{l} P = 48 \text{ bar} \\ T = 430^\circ\text{C} \end{array} \right\} H_{sc} = 3258,4 \text{ Kj/Kg}$$

$$Q_A = 3258,4 - 1036,9$$

$$Q_A = 2221,5 \text{ Kj/Kg}$$

Sans économiseur :

Eau à l'entrée de la chaudière :

$$\left. \begin{array}{l} P = 58 \text{ bar} \\ T = 120^\circ\text{C} \end{array} \right\} h_{ec} = 503,71 \text{ Kj/Kg}$$

Vapeur à la sortie de la chaudière :

$$\left. \begin{array}{l} P = 48 \text{ bar} \\ T = 430^\circ\text{C} \end{array} \right\} H_{sc} = 3258,4 \text{ Kj/Kg}$$

$$Q_A = 3258,4 - 503,71$$

$$Q_A = 2754,69 \text{ Kj/Kg}$$

III.15 Paramètre de design d'une Chaudière

- Les chaudières à tube d'eau peuvent atteindre une production de 400t/h et 160 bar de timbre.
- Rendement d'une chaudière à tube d'eau 90%.
- PH utilisées dans l'eau d'alimentation (6,5 et 8,8).
- Les matériaux sont de l'acier au carbone (ST20 et ST 45,8) pour le tube de la chaudière.
- Chaleur spécifique du metal est 0.5 kj/kg.
- Isolation thermique: la chaudière peut avoir une épaisseur typique de 50 à 100 mm, selon les exigences de performance et les normes de sécurité.
- La masse totale d'un metal 300000 kg.
- Temperature de l'eau d'alimentation est 37°C.

III.16 Calcule le rendement

Le rendement en 2023

Tableau III.3 : Calcule quantité de chaleur perdue par les fumées.

Mol %	Poids Mol (g/mol)	Masse volumique (Kg/m3)	Donnés	
17.13	2			
66.10	16		Débit FG (Nm3/h)	2600
10.99	30		PCI (kcal/Nm3)	9 141
4.11	44		T°Fumée =	326
1.25	58			
0.42	72			
100	17,0514	0,7612		
	116,07 Mol/h			

$$MV = \frac{PMOL * 0.001}{0.0224}$$

$$Mol/h = \frac{0.7612 * 2600}{17.0514}$$

Nbr de (kmol e)	POID MOL (g/mol e)	KG	cp (kcal/kg °c)	hi (kcal/kg)	Kcal	Mkcal	Pourcentage Massique
107,51	44	4730,44	0,1959232	63,87	302137,73	0,302	13.12
207,51	18	3735,18	0,4552522	148,41	554346,37	0,554	10.36
38,83	32	1242,42	0,2186125	71,27	88544,29	0,089	3.45
940,8	28	26342,88	0,2498429	81,45	2145594,81	2,146	73.07
1 295		36050,91	0,2629736		3090623,20	3,091	100

$$C_p = \frac{(8.5 + (0.00037 * T^{\circ} \text{fumée}))}{\rho \text{ mol}}$$

$$h_i = C_p * T^{\circ} \text{fumée}$$

$$\text{Kcal} = h_i * \text{KG}$$

$$Q_{\text{fornie}} = \text{DebitFG} * P_{\text{ci}}$$

	Débit Fuel Gaz :	2600	Nm ³ /h
	Q fournie =	23 766 196	Kcal
		23,77	Mcal
moles			
100			
116,07			

$$\text{RENDEMENT} = \frac{\text{Energie utile}}{\text{Fornie}} = \frac{23.77 - 3.587}{23.77} = 0.84$$

calcul rendement

RENDEMENT = 84,91
RADIATION = 2%

RENDEMENT = 82,91

Le rendement en 2018

Tableau III.4 : Calcule quantité de chaleur perdue par les fumées

Mol %	Poids Mol (g/mol)	Masse volumique (Kg/m3)	Donnés	
17.13	2			
66.10	16		Débit FG (Nm3/h)	2600
10.99	30		PCI (kcal/Nm3)	9 141
4.11	44		T°Fumée =	500
1.25	58			
0.42	72			
100	17,0514	0,7612		
	116,07 Mol/h			

$$MV = \frac{PMOL * 0.001}{0.0224}$$

$$Mol/h = \frac{0.7612 * 2600}{17.0514}$$

Nbr de (kmole)	POID MOL (g/mole)	KG	cp (kcal/kg °c)	hi (kcal/kg)	Kcal	Mkcal	Pourcentage Massique
107,51	44	4730,44	0,1973864	98,69	466862,18	0.467	13.12
207,51	18	3735,18	0,4580556	229,03	855459,98	0.855	10.36
38,83	32	1242,42	0,221875	110,94	137830,83	0,138	3.45
940,8	28	26342,88	0,2535714	126,79	3339900,23	3.340	73.07
1 295		36050,91	0,266293		4800053,20	4.800	100

$$C_p = \frac{(8.5 + (0.00037 * T^{\circ} \text{fumée}))}{\rho \text{ mol}}$$

$$h_i = C_p * T^{\circ} \text{fumée}$$

$$\text{Kcal} = h_i * \text{KG}$$

$$Q_{\text{fornie}} = \text{DebitFG} * P_{\text{ci}}$$

Débit Fuel Gaz :	2600	Nm3/h
Q fournie =	23 766 196	Kcal
	23,77	Mcal

moles		
100	→	4,800 Mcal perdue par fumée
116,07	→	Qchaleur totale perdu par fumée
		5,571 Mcal

$$\text{RENDEMENT} = \frac{\text{Energie utile}}{\text{Fornie}} = \frac{23.77 - 5.571}{23.77} = 76.56$$

calcul rendement	
RENDEMENT =	76,56
RADIATION =	2%
<u>RENDEMENT = 74,56</u>	

La comparaison entre le rendement 2023 et 2018

Selon les résultats obtenus, il y a plusieurs hernies sur les différents tubes d'eau en 2018 par rapport à 2023. Il est observé que les hernies sont l'un des principaux facteurs qui influencent l'augmentation ou la diminution d'un rendement.

III.17 Étude métallographique :

But de l'examen :

L'examen micrographique a pour but principal la mise en évidence de la structure de l'échantillon et des inclusions non métalliques lors de l'observation au microscope optique.

Prélèvement de l'échantillon :

Nous avons pris deux tubes, le premier est neuf, et qui n'a pas mis en service. Le deuxième un tube de chaudière endommagé, en acier au carbone. Les prélèvements ont été faits au niveau de l' hernie, et au niveau du tube sain. Des précautions devront être prises pour éviter une modification de la structure du métal,

Résultant soit d'un échauffement, soit d'une déformation du métal entraînant un écrouissage.

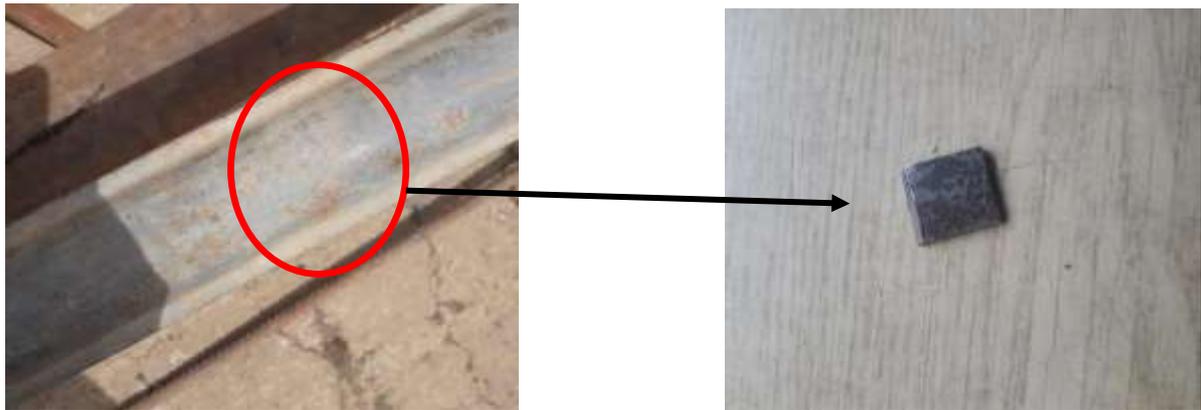


Figure III.10 : Tube neuf

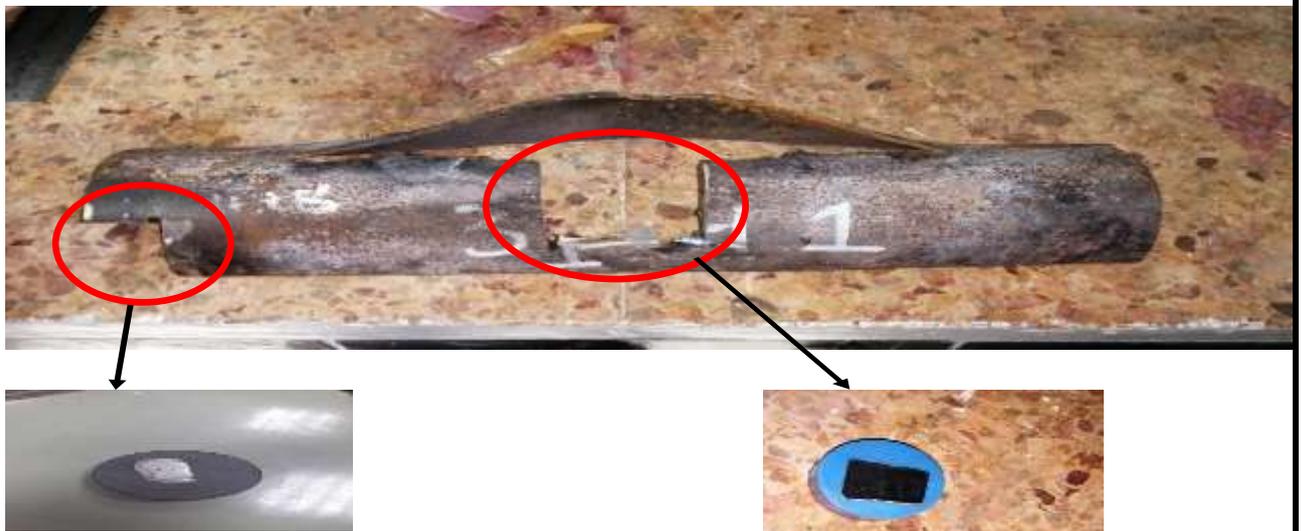


Figure III.11 : Découpage de la pièce et enrobage des échantillons

Préparation de la surface :

Le prélèvement des échantillons a été fait à l'aide d'une tronçonneuse sous un lubrifiant. Pour éviter tout échauffement, ensuite, ils ont subi un enrobage dans une résine synthétique.

Pré-polissage :

Polir les échantillons avec du papier abrasif de granulométrie de plus en plus fine. Le polissage se fait par arrosage pour éliminer tout risque d'échauffement de l'échantillon et pour entraîner les particules du métal arrachées.

La durée du polissage est de 2 à 3 minutes par granulométrie en changeant l'orientation de la pièce après chaque changement du papier.



Figure III.12 : Polissage des pièces

Polissage de finition :

On procède en utilisant un feutre sur lequel on étale la pâte diamantée, puis on la rince à l'eau et on la sèche.



Figure III.13 : Surfaces polies et finies

Observation de la structure au microscope :

- Grossissement successif : X 240
- **Tube neuf**

La perlite est un type d'acier composé de grains, rigoureusement mélangés, de fer presque pur.

La photo N° 1 grossissement x 240 montre une structure du type ferrite-perlite à grains fins et réguliers avec absence de défaut.

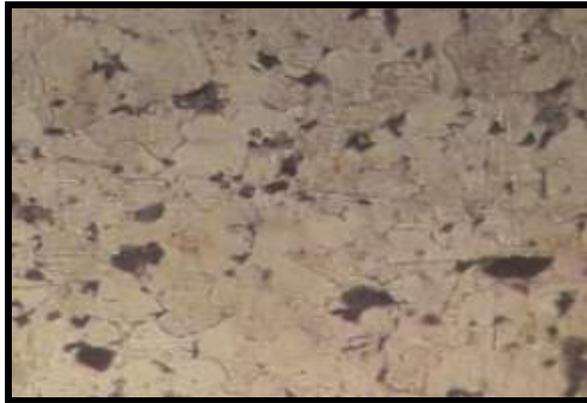


Figure III.14 : Structure grossissement x 240 de tube neuf

Découpe au voisinage de l' hernie :

- La photo N°2 grossissement X240 montre une structure du type ferrite-perlite avec un léger grossissement des grains absence de défaut important.



Figure III.15 : Structure grossissement x 240 de découpe au voisinage de l' hernie.

Au cœur de la hernie

- La photo N°3 grossissement X240 montre une structure du type ferrite perlite (décarburrée) avec grossissement des grains important.



Figure III.16 : Structure grossissement X240 au cœur de la hernie.

Observations :

Après l'observation microscopique des trois échantillons, on observe un grossissement de grains important au cœur de la hernie ce qui montre que le tube a subi une surchauffe à cet endroit.

III.18 Interprétation des résultats :

- ❖ Plusieurs paramètres peuvent produire une rupture dans les tubes vaporisateurs.
- ❖ L'eau d'alimentation qui entre dans le réservoir vient directement en contact avec les parois du ballon, ce fait de la grande différence de température entre l'eau d'alimentation.
- ❖ La qualité de l'eau influe fortement et peut conduire à la destruction des surfaces internes des tubes vaporisateurs. Donc il faut de traiter l'eau de la chaudière afin d'éviter le dépôt de tartre à l'extérieur du tube foyer. En effet, le tartre provoquerait un mauvais échange thermique.

- ❖ Le mauvais traitement de l'eau d'alimentation de la chaudière provoque la corrosion, les dépôts sur les tubes et des fois leur fissuration.
- ❖ Le tartre joue le rôle d'un isolant thermique au transfert de chaleur. La chaleur s'accumule dans la paroi ce qui engendre des points chauds.
- ❖ Le rendement de la chaudière dans la nature 90%, lorsque nous avons calculé nous avons trouvé 82%, le rendement a diminué de 8% à cause d'hernie (2023).
- ❖ Le rendement de la chaudière dans la nature est de 90%, mais lors de notre calcul, nous avons constaté une diminution de 15.44% en raison de l'hernie (2018).
- ❖ Un système de classement est utilisé pour classer le degré de dégradation qui ne peut être évalué que par un examen métallographique.
- ❖ Le destin ultime du tube est le gonflement suivi de la formation de fissures à la limite des grains surface, Cela précède la rupture.

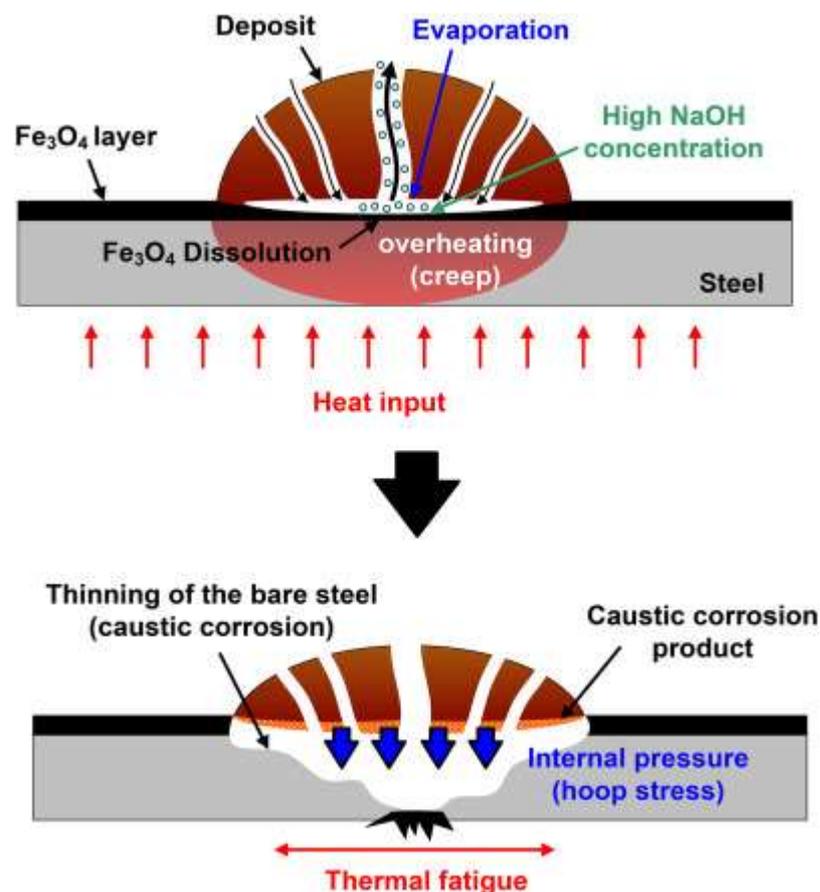


Figure III.17 : Rupture bombée et corrosion caustique d'un tube de chaudière.

Les causes probables :

- ✓ Traitements des eaux insuffisants.
- ✓ Développement bactérien important.
- ✓ Exposition des tubes à la flamme qui n'est pas contrôlée.
- ✓ Dépôt des sels dans les tubes d'eau.
- ✓ Mauvais refroidissement des tubes à cause de la présence de tartre à l'intérieur.
- ✓ Surchauffe locale causée par un réglage incorrect des brûleurs.
- ✓ Défaut dans les matériaux.
- ✓

III.19 Recommandations :

Après avoir étudié notre problématique, et vue les causes probables cités ci-dessus, on peut recommander le suit :

- Faire le SODA BOILING durant les arrêts
- Assurer le bon traitement de l'eau
- Utiliser un anti-primage : Les produits anti-primage les plus utilisés sont :
 - ❖ Les polyamides à longues chaînes ;
 - ❖ Les polyéthylènes et polypropylènes glycols.
- Respecter le dosage des inhibiteurs injectés.
- Réaliser un anti-biogramme
- Assurer une maintenance correcte des brûleurs pour éviter les contacts avec la flamme.

III.20 Conclusion

Le bon fonctionnement et la fiabilité des équipements de production de vapeur nécessitent l'application des meilleures méthodes disponibles pour prévenir le tartre et la corrosion.

Le traitement et le conditionnement approprié de l'eau d'alimentation de chaudière est une partie importante de l'opération et du maintien du système, qui doit satisfaire quatre objectifs principaux :

- L'échange continu de chaleur
- La protection à la corrosion
- La production de haute qualité de vapeur
- Pour atteindre un bon rendement.

Conclusion générale

Conclusion Générale

La production et la distribution de toutes les commodités nécessaires pour assurer le bon fonctionnement des unités de traitement de brut ou de gaz sont assurés par une centrale d'énergies et d'utilités.

Une des cinq raffineries de pétrole d'Algérie est la raffinerie d'Arzew. L'objectif principal est de garantir une production conforme aux normes afin de satisfaire les exigences et les besoins du marché national et international en matière d'énergie et de ses dérivés. On peut distinguer trois domaines d'activités : L'industrie de la production, l'industrie de la maintenance et le domaine de gestion. La raffinerie d'Arzew RA1Z vise à produire des produits liquides, gazeux et solides dérivés du pétrole brut.

Les chaudières ou générateurs de vapeur jouent un rôle crucial dans les industries, assurant leur bon fonctionnement et leur durabilité. Leur absence entraîne une baisse significative de la production. En raison de leur importance et des risques associés en cas d'accident, les chaudières sont réglementées de manière stricte. Leur fonctionnement exigeant, basé sur des paramètres comme la pression et la température de la vapeur produite, nécessite un contrôle rigoureux dès le démarrage jusqu'à leur utilisation normale.

Il est indispensable de traiter et de conditionner de manière adéquate l'eau d'alimentation de la chaudière pour assurer l'opération et le maintien du système, qui doit répondre à quatre objectifs principaux : la transmission continue de chaleur, la prévention de la corrosion, la production de vapeur de qualité supérieure et un rendement optimal.

Notre travail est terminé par des recommandations qui peuvent être utile pour prévenir les problèmes connus dans la chaudière.

Bibliographie

[1-2] Ayat Allah Ismahene Hamza, mémoire « *ÉTUDE SÉQUENTIELLE DE DANGER DU FOUR* » Institut de Maintenance et sécurité, industrielle de l'université d'Oran Juillet 2019.

[3.4] Bouchoucha Zakaria, Rahmani Abderrahmane, mémoire « *ASPECT THÉORIQUE SUR LA MÉTHODE DE RÉCUPÉRATION DE PARAFFINE D'ARZEW* », université kasdi merbah ouargla 2021.

[5] <https://www.attsu.com/fr/faqs/quelles-sont-les-caracteristiques-de-la-chaudiere-a-vapeur-attsu-rl-.html>

[6] Cours “*de combustion production de chaleur*“, le 16/10/2007.

[7-8] Amina Lyria, Deghal Cheridi, Abla Chaker et Ahcène Loubar, « *SIMULATION NUMÉRIQUE DE LA TRANSSIDENTE ACCIDENTELLE D'UNE CHAUDIÈRE INDUSTRIELLE À VAPEUR* » Heat and Mass Transfer - Advances in Science and Technology Applications, 2019.

[9] BOUFELFEL Mohamed, mémoire « *ETUDE PRÉVENTIVE SUR LA CORROSION DES CHAUDIÈRES AU NIVEAU DU COMPLEXE RAIK* », Université 8 Mai 1945 Guelma 2022.

[10] GUIIDE CHAUDIERES, *ingénierie des Procédés- Études Générales Audits Énergétiques- Cogénération*, 2008.

[11] J.P. Vanhoecke « *ACCUMULATEUR VAPEUR* » documentation technique, 2015.

[12] https://www.larousse.fr/encyclopedie/images/Coupe_dun_br%C3%BBleur_%C3%A0_fuel/1001457

[13-17] Amina Lyria , mémoire « *ETUDE NUMERIQUE DU TRANSITOIRE ACCIDENTEL D'UNE CHAUDIERE INDUSTRIELLE PAR LE CODE RELAP5/MOD3.2* » Université Constantine 1, 2013.

[18] “*BOILER & HEAT EXCHANGER TUBE INSPECTION*“, SPECIALIST PACKAGE, SONOMATIC, 2015.

[19] H. Djedjai , Cours « *TRAITEMENT DES EAUX DE PROCESS* », USTOMB, Faculté de Chimie 2022.