



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme

Master en Génie Mécanique

Option : Systèmes énergétiques et thermique appliqués

Thème :

*Régulation de la combustion dans les deux
chaudières à vapeur de la raffinerie
d'ALGER*

Dirigé par :

PR: B.BOUMEDDANE

Proposé par:

Mr. N.MEHAFDI

présenté par :

MAHDI Yasser

KRAMI Mohamed Hichem

Année Universitaire 2011/2012



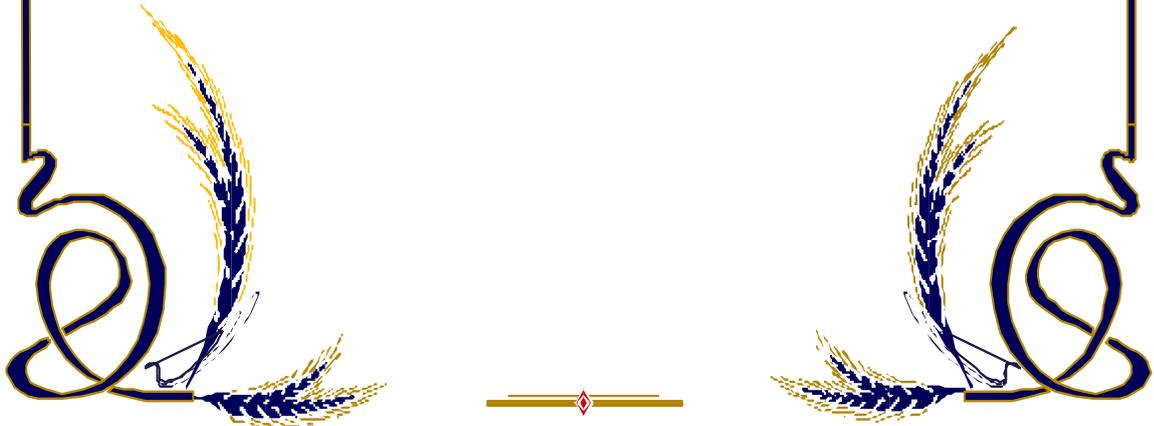
Remerciements

*Au terme de ce Mémoire nous tenons à remercier tout naturellement en premier lieu **Dieu le tout Puissant** qui nous a donné la force, le courage et la patience de bien mener ce travail.*

Ce travail a été réalisé sous la direction de Monsieur **Dr B.BOUMEDDENE**, Maître de Conférences à université Saad Dahlab de Blida, qu'il trouve ainsi l'expression de notre profonde reconnaissance pour sa compétence, ses encouragements et ses précieux conseils durant le déroulement de ce travail.

Un hommage particulier à notre co-promoteur monsieur **N.MEHAFDI** et au Monsieur **OULD CHIKH Med Lamine** ingénieur d'état spécialisé en raffinage qui nous a beaucoup aidés et encouragés.

Mes sentiments vont également à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Abstract

For the unreliability of the two boilers of Algiers refinery, this one has proposed to undertake a study on the combustion of two steam boilers.

In this study, we will proceed to calculate the current yield of the two boilers and compare it to the design and see the different causes of bad combustion then suggest possible solutions to improve performance in order to have complete combustion and reduce emissions of greenhouse gases.

المخلص

نظرا إلى عدم متانة مولدي البخار المتواجدين في معمل تكرير البترول بالجزائر، اقترح علينا هذا الأخير القيام بدراسة حول احتراق مولدي البخار. في ظل هذه الدراسة، سنقوم بتنفيذ حساب المردود الحالي للمولدين البخاريين و مقارنته بمردود التصميم و النظر في مختلف الأسباب المؤدية إلى احتراق سيء وبعدها اقتراح الحلول المناسبة لتحسين المردود من أجل الحصول على احتراق تام و التخفيض من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

Résumé

En vue du non fiabilité des deux chaudières de la raffinerie d'Alger, cette dernière nous a proposé de faire une étude sur la combustion des deux chaudières à vapeur.

Dans cette étude, on va procéder au calcul du rendement actuel des deux chaudières et le comparer à celui de design et voir les différentes causes d'une mauvaise combustion ensuite les solutions possibles pour améliorer le rendement afin d'avoir une combustion complète et diminuer les émissions des gaz à effet de serre.

Introduction Générale

La production d'électricité, qu'elle soit assurée par un ou plusieurs centrales utilisant l'énergie renouvelables ou conventionnelle, reste l'un des plus important segments dans l'architecture globale du secteur industrielle, on peut la produire par l'intermédiaire des turbines à vapeur.

Il est essentielle pour la production de la vapeur d'avoir sur site une chaudière a vapeur.

La vapeur produite est directement introduite dans une turbine à vapeur et ensuite elle fait tourner un générateur d'électricité.

Les chaudières industriels sont, techniquement parlant, l'une des catégories d'appareils les plus diversifiés. La nécessité de leur adaptation aux fonctions qu'ils doivent remplir dans les différentes tranches industrielles, diversifie leurs conceptions, leurs fonction est d'amener au moyen d'un chauffage approprié et au coût le plus bas possible une charge quelconque à une température et pression voulue préalablement.

L'économie d'exploitation est un facteur très important dans l'étude des chaudières, d'où la notion de rendement prend toute son importance.

Le rendement d'une chaudière à vapeur tient une place capitale dans les paramètres de choix des équipements, et il est défini comme étant le rapport de la quantité de chaleur absorbé par la quantité de chaleur fournie a la chaudière par la combustion, ainsi pour améliorer l'efficacité d'une chaudière, les pertes de chaleur sont à minimiser.

Pour atteindre cet objectif, il est possible de réaliser un cycle combiné mettant en œuvre plusieurs niveaux de pression et de prévoir une surchauffe dans la chaudière. On optimise de la sorte la récupération de chaleur contenue dans les fumées. Néanmoins ces améliorations induisent un accroissement de la complexité de l'installation et engendrent ainsi des surcoûts non négligeables.



La présente étude vise à contribuer aux travaux relatifs à l'amélioration des performances des chaudières et voir l'influence de la combustion sur le rendement de notre machine aux différents points de design.

Afin d'atteindre cet objectif, les étapes suivantes ont été suivies :

- 1) Au premier chapitre, on présentera la raffinerie d'Alger, c'est-à-dire l'historique de la raffinerie et situation géographique et les principales installations.
- 2) Le chapitre II portera sur les chaudières à vapeur. Après un bref historique sur les chaudières suivi d'une description des différents types des chaudières avec la découverte de notre chaudière à vapeur.
- 3) Au chapitre III, on présentera la combustion et les différents combustibles (solides, liquides et gazeux) utilisés pour le fonctionnement des chaudières à vapeur.
- 4) Le chapitre quatre est consacré à l'étude de notre problème : Les principales causes d'une mauvaise combustion et le calcul du rendement actuel des deux chaudières et le comparer avec celui du design.
- 5) Le dernier chapitre est une interprétation de nos résultats obtenue au chapitre précédent et on va proposer des solutions afin de régler le problème posé.

Et finalement, une conclusion et des recommandations clôtureront la présente étude.



LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Soutirage de différentes coupes pétrolières	(8)
Tableau I.2 : Stockages des produits pétroliers	(15)
Tableau III.1 : Principales réactions de la combustion.....	(40)
Tableau III.2 : les produits agressifs contenus dans les fumées.....	(41)
Tables III.3 : propriétés de combustible gaz naturel	(47)
Tables III.4 : propriétés de combustible gaz process.....	(48)
Tables III.5 : propriétés de combustible fuel oil	(48)
Tableau IV.1 : analyse chromatographique de fuel gaz.....	(59)
Tableau IV.2 : PCI de fuel-gaz.....	(60)
Tableau IV.3 : composition des fumées.....	(61)
Tableau IV.4 : résumé des résultats	(65)
Tableau IV.5 : chaleur spécifique et l'enthalpie des fumées pour différentes températures..	(66)



LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Schéma des soutirages de la colonne de distillation C101.....(9)

Figure I.2 Réaction déshydrogénation.....(13)

Figure I.3 : schéma synoptique des installations de la raffinerie.....(18)

Figure II.1 chaudières l'éolipile par Héron d'Alexandrie(20)

Figure II.2 vue extérieur d'une chaudière a tubes d'eau(22)

Figure II.3 Répartition des ensembles de la chaudière a tubes d'eau (27)

Figure II.4 Schéma indiquant le surchauffeur et le niveau d'eau dans les deux ballons.....(35)

Figure IV.1 : le suivi de la production pendant le mois de septembre 2011.....(51)

Figure IV.2 : le suivi de la production pendant le mois de mai 2012.....(51)

Figure IV.3 : Des trous d'eau sur les écrans de face qui sont soudé.....(52)

Figure IV.4 : suivi des excès d'air de la combustion dans les deux chaudières.....(53)

Figure IV.5 : suivi de la température d'air sorti réchauffeur (mois de septembre 2011).....(54)

Figure IV.6 : suivi de la température d'air sorti réchauffeur (mois de mai 2012).....(55)

Figure IV.7 : position des bruleurs(57)

Figure IV.8: tracé de l'enthalpie en fonction de la température.....(67)

Figure IV.9 : calcul du rendement (mois de septembre 2011)(69)

Figure IV.10 : calcul du rendement des deux chaudières (mois de mai 2012).....(71)

Figure V.1 : variation du rendement en fonction du débit de combustible Pour
la chaudière 1(74)

Figure V.2 : variation du rendement en fonction du débit de combustible Pour
la chaudière 2.....(75)

Figure V.3 : variation de la température de combustion en fonction de l'excès d'air.....(77)

Figure V.4 : variation de l'excès d'air en fonction du débit de combustible Pour
la chaudière 1(78)



Figure V.5 : variation de l'excès d'air en fonction du débit de combustible Pour
la chaudière 2.....(78)

Figure V.6 : pourcentage d'oxygène dans les fumées selon la charge(79)



TABLEAU DES MATIERES

NOMENCLATURE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

RESUME

INTRODUCTION GENERALE.....(1)

CHAPITRE I : LA RAFFINERIE D'ALGER

I-1/ Introduction.....	(3)
I-2/ Présentation de la raffinerie	(4).
I-3/ Historique de la raffinerie	(4)
I-4/ Situation géographique	(4)
I-5/ Réception de brut	(5)
I-6/ Les principales installations de la raffinerie	(5)
I-7/ Les installations générales	(5)
I-8/ Descriptions des installations de la raffinerie d'Alger	(6)
I-8-A/ Unite topping U100.....	(6)
I-8-A-1/ Circuit préchauffe	(6)
I-8-A-2/ Le fourF101	(7).
I-8-A-3/ La colonne de distillation C101	(7)
I-8-A-4/ Le circuit résidu	(10)
I-8-A-5/ Le circuit distillat	(10)
I-8-A-6/ Le circuit gasoil léger	(10)
I-8-A-7/ Le circuit kérosène	(10)
I-8-A-8/ Le circuit solvant lourd	(10)
I.8.A.9/ Le circuit essence totale	(11)
I-8-A-10/ Les ballons de tête	(11)
I-8-B/ Unite plat forming U200	(11)
I-8-B-1/ Déshydrogénation et reformage catalytique	(12)



I-8-B-2/ Isomérisation	(13)
I-8-B-3/ Hydrocraquage	(13)
I-8-C/ Unité du gaz plant U300	(13)
I-8-C-1/ Stockade backs et bassin	(14)
I-9/ Les différents autres services	(15)
I-9-A/ Laboratoire	(15)
I-9-A-1/ Section contrôle	(15)
I-9-A-2/ Section chimique	(16)
I-9-B/ Département de sécurité	(16)
I-9-B-1/ Service prévention	(16)
I-9-B-2/ Service intervention	(16)
I-9-C/ Planning et programme	(17)
I-10/ Présentation de la centrale électrique	(19)
I-10-A/ Chaudières à vapeur	(19)
I-10-B/ Stations de traitement d'eau	(19)
I-10-C/ Groupe turbo alternateur	(19)
I-10-D/ Salle de contrôle	(19)

CHAPITRE II : DESCRIPTION DE LA CHAUDIERE A VAPEUR

II-1/ Introduction.....	(20)
II-2/ Définition d'une chaudière	(20)
II-3/ Différent types des chaudières	(21)
II-3-A/ Chaudières de récupération	(21)
II-3-B/ Chaudières électriques	(21)
II-3-C/ Les chaudières à combustible	(21)
II-4/ Présentation de notre chaudière	(22)
II-5/ Description schématisée du processus	(23)
II-5-A/ Poste d'alimentation en eau dégazée.....	(23)
II-5-A-1/ Généralités	(22)
II-5-A-2/ But du dégazage de l'eau	(23)
II-5-A-3/ Dégazeur	(23)
II-5-A-4/ Bâche alimentaire D8	(24)



II-5-A-5/ Pompes alimentaire	(24)
II-6/ Générateur de vapeur	(24)
II-6-A/ Généralités	(24)
II-6-B/ Ensemble	(25)
II-6-B-1/ Réservoirs	(25)
II-6-B-2/ Faisceau vaporisateur et écrans d'eau	(26)
II-6-B-3/ Surchauffeur	(26)
II-6-B-4/ Réchauffeur d'air	(26)
II-6-B-5/ Ventilateur de soufflage de combustion	(26)
II-6-B-6/ Ventilateur d'air de balayage :	(27)
II-6-B-7/ Brûleurs chaudière N°2.....	(27)
II-6-B-8/ Description de l'équipement de chauffe brûleurs GRC TYPE G2	(28)
II-6-B-9/ Ramoneurs	(39)
II-6-B-10/ Casing	(39)
II-6-B-11/ Cheminée	(39)
II-7/ Poste d'alimentation en combustibles	(39)
II-7-A/ Poste de détente de gaz	(39)
II-7-B/ Poste d'alimentation en gaz des chaudières	(30)
II-7-C/ Poste de conditionnement du FUEL-OIL	(30)
II-7-D/ Poste d'alimentation en fuel des chaudières	(31)
II-8/ Dispositifs annexes	(31)
II-8-A/ Ballon de détente des purges continues D 9	(31)
II-8-B/ Ballon de détente des extractions D 6	(31)
II-8-C/ Ballon de D 2 et D 4 des purges HP et BP	(31)
II-8-D/ Bâche de retour des eaux condensées D3	(32)
II-9/ Distribution de la vapeur	(32)
II-9-A/ Postes de détente	(32)
II-9-A-1/ Poste de détente 35/16 bars	(32)
II-9-A-2/ Poste de détente 35/3.5 bars	(33)
II-9-B/ Barillets HP et BP	(33)
II-9-B-1/ Barillet HP.....	(33)
II-9-B-2/ Barillets BP.....	(34)
II-10/Produits: Vapeur Surchauffée	(34)



II-10-A/ Générateur	(34)
II-10-B/Gaz pour allumeur brûleur.....	(34)
II-10-C/ Air de combustion	(34)
II-10-D/ Groupe duplex moto ventilateur d'air de balayage	(35)
II-10-E/ Courant électrique	(36)
II-10-F/ Installation	(36)
II-11/ Paramètres de fonctionnement de la chaudière	(36)
II-12/ Problèmes existants	(37)
II-12-A/ Phénomène de gonflement	(37)
II-12-B/ Phénomène de trempe	(37)
II-13/ Précautions	(37)
II-13-A/ Traitement d'eau	(37)
II-13-B/ Purge continue	(37)
II-14/ Conclusion.....	(38)

CHAPITRE III : COMBUSTION ET COMBUSTIBLES

III-1/ Introduction.....	(39)
III-2/ Généralités sur la combustion	(39)
III-2-A/ Réaction de combustion	(39)
III-2-B/ Composition théorique des fumées	(40)
III-2-C/ POUVOIR CALOREFIQUE	(42)
III-2-D/ POUVOIR CALORIFIQUE D'UN MELANGE	(43)
III-2-E/ POUVOIR COMBURIVORE D'UN COMBUSTIBLE	(43)
III-3/ INTRODUCTION sur les COMBUSTIBLES	(44)
III-3-A/ COMBUSTIBLES SOLIDES.....	(44)
III-3-B/ COMBUSTIBLES LIQUIDES.....	(44)
III-3-C/ COMBUSTIBLES GAZEUX	(44)
III-3-C-1/ gaz naturelle.....	(44)
III-3-C-2/ gaz fabriques à partir de la houille.....	(45)
III-3-C-3/ fabrication de directe de gaz à partir du charbon.....	(45)
III-3-C-4/ gaz fabrique d'origine pétrolière.....	(45)
III-3-C-5/ gaz de pétrole liquéfié (G.P.L).....	(46)



III-3-C-6/ mélange de gaz	(46)
III-3-D/ Combustibles utilisé	(47)
III-3-D-1/ Combustible Gazeux Gaz naturel	(47)
III-3-D-3/ Combustible liquide.....	(48)
III-4/ Conclusion	(49)

CHAPITRE IV : PROBLEMATIQUE

IV-1/ Introduction	(50)
IV-2/ Problématique	(50)
IV-3/ Les causes probables d'une mauvaise combustion	(50)
IV-3-A/ L'air de combustion	(53)
IV-3-A-1/ Excès d'air	(53)
IV-3-A-2/ Préchauffage d'air.....	(53)
IV-3-B/ le combustible.....	(55)
IV-3-B-1/ Gaz (HRM & Gaz Process).....	(56)
IV-3-B-1/ fuel-oil (distillate).....	(56)
IV-3-C/ Les Bruleurs	(56)
IV-4/ Calcul du rendement des deux chaudières	(57)
IV-4-A/ Vérification du rendement des chaudières cas de design.....	(57)
IV-4-A-1/ Données du design	(57)
IV-4-A-2/ Quantité de chaleur absorbée par la charge Q_{ab}	(58)
IV-4-A-3/ Quantité de chaleur fournie par le combustible Q_{lib}	(58)
IV-4-A-4/ Calcul du rendement	(58)
IV-4-B/ Bilan en fuel gaz (gaz process + gaz Hassi R'mel)	(59)
IV-4-B-1/ Composition du fuel gaz	(59)
IV-4-B-2/ Calcul le pouvoir calorifique du combustible utilisé	(60)
IV-4-B-3/ Calcul des volumes de H_2O , O_2 , CO_2 , pour la combustion de $100 Nm^3$ du gaz combustible	(61)
IV-4-B-4/ Quantité de vapeur d'eau dans l'air de combustion	(63)
IV-4-B-5/ Le volume des fumées formé	(64)
IV-4-B-6/ Composition des fumées	(64)
IV-4-B-7/ Tracé de l'enthalpie des fumées en fonction de la température	(66)



IV-4-C/ Calcul du rendement des chaudières cas actuel	(67)
IV-4-C-1/ Conditions de marche de la chaudière (GTA) en marche	(67)
IV-5/ Conclusion	(72)

CHAPITRE IV : SOLUTIONS ET SUGGESTIONS

V-1/ Introduction.....	(73)
V-2/ Interprétation des résultats	(73)
V-3/ Solution et suggestions	(74)
V-3-A/ Cas design	(74)
V-3-A-1/ Bruleurs	(74)
V-3-A-2/ Matériau des tubes.....	(76)
V-3-A-3/ Garnissage des parois des chaudières	(76)
V-3-A-4/ Ventilateur de soufflage	(76)
V-3-B/ Cas d'exploitation	(77)
V-3-B-1/ Qualité du combustible	(77)
V-3-B-1/ Paramètres de d'air	(77)
V-4/ Conclusion	(81)

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....(83)

ANNEXES

Annexe 1.....	(84)
Annexe 2.....	(85)
Annexe 3.....	(86)
Annexe 4.....	(87)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE



I-1/ Introduction

Le pétrole, ou « l'or noir » en référence à sa couleur et à son prix élevé est un mélange complexe d'hydrocarbure de différentes familles (paraffinées, naphthéniques, aromatiques) associé à des composés oxygénés, azotés et sulfurés ainsi qu'à des traces particulières (métaux, sels ...). Son exploitation est l'un des piliers de l'économie contemporaine. En effet, il est devenu à partir de la fin des années 50 la première source d'énergie dans le monde. Il est exploité pour obtenir un nombre de produits utilisés quotidiennement en cosmétiques, huiles essentielles, savons, peintures, etc. Mais il est surtout utilisé comme carburant pour les voitures, les avions, bateaux et autre moyens de transports.

Le raffineur va devoir séparer ces divers produits (distillation), les transformer chimiquement (craquage et reformage), les purifier (raffinage proprement dit) pour obtenir des produits utilisables, toutes ces opérations se font dans les raffineries et l'ensemble est appelé le raffinage.

Le raffinage du pétrole est une industrie lourde qui transforme le pétrole brut, en une gamme de produits énergétique tels que les carburants, les combustibles et les matières premières pour la pétrochimie dans le respect de normes précises, notamment environnementales. Il regroupe différentes opérations tels que le préchauffe du brut, l'obtention des produits intermédiaires par distillation, l'amélioration de la qualité, la transformation des coupes lourdes en légères, l'obtention des produits finis à partir du mélange des produits intermédiaires ou semi-finis.

La raffinerie se traduit par le nombre d'unités de fabrication. Ces unités utilisent des procédés physiques ou chimiques que l'on peut classer en trois catégories à savoir : la séparation, la conversion, l'épuration.

Mais l'objectif d'un raffineur est avant tout de répondre à la demande en produits pétroliers. Aujourd'hui, le développement des transports routiers et aériens s'est accéléré, et la demande en produits légers est montée en flèche. Parallèlement, on brûle beaucoup moins de produits lourds pour produire de l'électricité ou pour se chauffer. La demande mondiale est environ de 40 % pour les produits légers (carburants), 40 % pour les produits moyens (fioul, gazole) et 20 % pour les produits lourds. Le seul pétrole correspondant à peu près à ces proportions est le brut léger du Sahara algérien. Mais la plupart des bruts extraits dans le monde contiennent plus de produits lourds.



I-2/ Présentation de la raffinerie :

SONATRACH est la compagnie algérienne de recherche, d'exploitation, de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. C'est la première entreprise du continent africain. Elle est classé 12^{ème} parmi les compagnies pétrolières mondiales, 2^{ème} exportateur de GPL et 3^{ème} exportateur de gaz naturel. Ses missions a propos du service technique consistent en :

- le raffinage des hydrocarbures et dérivés de toutes les opérations qui y sont liées.
- le développement de toutes activités conjointes en Algérie et hors Algérie.
- le respect des spécifications et de la quantité des produits raffinés.
- toutes opérations industrielles, commerciales, financières et immobilières.

I-3/ Historique de la raffinerie : [8]

La raffinerie d'Alger est parmi les plus importants complexes d'Algérie qui traite le pétrole brut de Hassi-Messaoud pour la satisfaction des besoins du marché national et à l'exportation des produits pétroliers commerciaux, elle fait partie des 4 raffineries appartenant au groupe SONATRACH, avec celle de SKIKDA, ARZEW et de HASSI MESSAOUD, sa construction remonte à l'année 1961 par la société française FOSTER WHEELER, et sa production à débuté le 19 janvier 1964. Elle fut sous la coupe des français, gérée par la société de raffinerie d'Alger, et ce jusqu'à la nationalisation des hydrocarbures en 1971 où l'activité de raffinage fut affecté à la SONATRACH.

En 1982, le raffinage et la distribution des produits pétroliers sont passés à l'ERDP-NAFTAL (entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers), puis, en 1987, le raffinage est à son tour séparé de la distribution et affecté à NAFTEC. En 2009 le groupe SONATRACH a récupéré la filière NAFTEC.

I-4/ Situation géographique :

Géographiquement la raffinerie d'Alger est située à 5 Km au sud d'EL Harrach à Sidi-Arsine (Baraki) et à 20 km à l'est d'Alger, occupant une surface de 182 Hectares. Sa capacité de traitement de pétrole brut est 1,6 millions de T/an au démarrage, portée à 2,7 de T/an en 1970 après extension de la raffinerie. Elle est orientée vers la production des GPL et carburants : butane, propane, essences normal et super, naphta, kérosène, gasoil, et fuel pour la satisfaction de la demande de la région centre en produits raffinés. L'excédent de naphta et fuel sont exportés.



I-5/ Réception de brut : [4]

A l'origine, la raffinerie était alimentée à partir du port d'Alger par un oléoduc de 26 pouces qui reste enterré jusqu'à proximité des réservoirs de stockage.

Depuis mars 1971, la raffinerie est alimentée continuellement par l'oléoduc de 16 pouces et en novembre 2005 par l'oléoduc de 20 pouces de Béni Mansour.

Le pétrole brut ou le mélange de brut de Hassid Messaoud et condensât de Hassi R'mel est reçu à partir de l'oléoduc de Béni Mansour dans les trois réservoirs de stockage de RA₁/G. Le débit de réception de pétrole brut est en fonction de la pression de refoulement des pompes.

Le mouvement de ces bacs se fait de la manière suivante :

- 1^{er} bac en réception,
- 2^{ème} bac en décantation,
- 3^{ème} bac vers l'unité de distillation atmosphérique.

I-6/ Les principales installations de la raffinerie :

- Unité de distillation atmosphérique (U100) destinée à séparer les différents produits pétroliers contenus dans le pétrole brut de capacité de 2,7 millions de tonnes par an.
- Unité de reforming catalytique (U200) destinée à élever à une valeur satisfaisante l'indice d'octane de l'essence avec une production de 2500m³ par jour.
- Unité de gas-plant (U300) pour la séparation et le traitement du GPL.

I-7/ Les installations générales :

- ✓ Unité de mélange (éthylamine) pour la fabrication des essences normale et super.
- ✓ Une pomperait d'expédition de produits pétroliers par pipes aux dépôts d'Alger et de la Chiffa, Blida et l'Aéroport Houari- Boumediene.
- ✓ Une centrale thermoélectrique dite utilités pour les besoins énergétiques de la raffinerie (production de la vapeur, production d'électricité, traitement d'eau et air).
- ✓ Un atelier de maintenance (mécanique, chaudronnerie.....).
- ✓ Parc de stockage 38 bacs, dont 3 bacs sont utilisés pour le stockage du pétrole brut, 05 sphères pour propane et butane de 1500 à 3000 m³ et 30 bacs pour les dérivés du pétrole.
- ✓ Un laboratoire pour l'analyse des différents produits.

- ✓ Salle de contrôle pour suivre la bonne marche des unités et le contrôle des paramètres de fonctionnements (température, pression, débit) des équipements.
- ✓ Poste de contrôle d'incendie.
- ✓ Ressources humaines : 541 travailleurs, répartir-en :

*Cadres = 110 dont 65 ingénieurs, 14 licenciés et 31 cadres assimilés.

*Maîtrise = 153 dont 40 TS.

*Exécution = 210 dont 65 TS.

*Temporaires = 68 agents.

I-8/ Descriptions des installations de la raffinerie d'Alger : [4]

C'est la que l'on transforme le pétrole brut en gaz, essences, et autres carburants à l'aide de trois unités principales: unité 100, 200 et 300.

I-8-A/ Unite topping U100:

L'unité de top Ping U100 est constituée de :

- une colonne de distillation atmosphérique C101.
- un ballon de flash D102.
- un four tubulaire F101.
- des échangeurs de chaleurs d'E101 à E127.
- des pompes de P101 à P117.
- des colonnes C103A, B, C, C104, C105.
- des ballons D101, D102, D103, D104, D105, D110.
- des aérorefrigérants.
- des vannes.

Cette unité a pour but de transformer le pétrole en différents produits pétroliers. Pour ce faire, Les différents circuits que traverse le brut pour l'obtention de ces fractions sont :

I-8-A-1/ Circuit préchauffe : Le brut est stocké à température ambiante, et pour subir une distillation, pénètre dans la colonne à une température avoisinant les 340°C. On doit donc le chauffer et pour cela le chauffage demande énormément d'énergie, donc on doit utiliser des échangeurs de chaleurs dans lesquels est réalisé un transfert thermique entre deux milieux



ayant à une différences de température. Ils sont constitués d'un coté tube et d'un coté calandre.

Le brut arrive à la température ambiante, il est aspiré par la pompe P101A, et envoyé vers les échangeurs E101A, B, C, D, E, F, qui sont placés en parallèle. Le brut pénètre côté tube et est chauffé par les produits sortants de la colonne de distillation (gasoil léger et lourd). Il est donc chauffé progressivement. Il passera ensuite dans le dessaleur D110, pour le lavage. S'ensuivra l'apparition de deux phases: organique (le brut), et aqueuse (eau et sels minéraux). En effet, l'eau aura absorbé les sels, aidée par un champ magnétique. Les deux phases sont alors séparées physiquement, et le brut ressortira du dessaleur, pour aller vers une nouvelle série d'échangeurs E102A, B, C, ou il sera chauffé jusqu'à 145°C.

Le brut passe ensuite dans le ballon flash D102 à 2.4bars. Celui-ci permet de baisser la tension de vapeur, en séparant les gaz du brut. Il est alors récupéré au fond du ballon par la pompe P102 et pénètre les gaz dans les échangeurs E 103 et E104 en parallèle où le brut est chauffé par du kérosène et du distillat, puis dans les échangeurs E105, E106 et E107 par du gasoil léger, les reflux de fond et les résidus. Il en ressortira à une température avoisinant les 220°C, et pourra alors entrer dans le four.

I-8-A-2/ Le four F101 : Le four est divisé en 2 zones : une zone de convection et une zone de radiation. Le brut pénètre dans la zone de convection ou il est chauffé jusqu'à 340°C. Il s'ajoute aux fractions légères venant du ballon de flash pour entrer dans la colonne de distillation C101.

I-8-A-3/ La colonne de distillation C101 : La C101 est une colonne de distillation atmosphérique équipée de 49 plateaux à clapets. C'est à ce niveau qu'on obtiendra les différentes fractions de pétrole, en se basant sur les différentes températures d'ébullition de ces fractions. La distillation est dite « atmosphérique », car elle se fait à la pression ambiante.

Dans le but de réaliser un échange de matière, une partie du liquide obtenu en haut de colonne par condensation de vapeurs réinjectée sous forme de reflux en tête de colonne. Sa vaporisation progressive provoque la condensation d'un nombre égal de molécules plus lourdes qui rétrogradent vers les plateaux immédiatement inférieurs.

De la vapeur stripping a 16 bars et 440°C est injectée afin d'améliorer la séparation des fractions en entrainant les légers vers la haut de la colonne.

En lavant ainsi, par transfert de chaleur et de masse, les vapeurs ascendantes, le liquide descendant s'enrichit de tous les constituants lourds. La phase vapeur qui monte vers les plateaux supérieurs absorbe au contraire tous les constituants légers et la concentration de ceux-ci est de plus en plus grande dans cette phase.

Les différentes coupes sont alors soutirées à plusieurs niveaux (Figure I.1. Schéma des soutirages de la colonne de distillation C101), selon leurs températures d'ébullition et leurs densités. On obtiendra :

Coupes	Température (°C)	plateaux
Essences totale	109	49
Solvants lourd	163	34-38
Kérosène	223	24-26
Gasol léger	280	17-20
Distillat	330	10-12
Résidu	340	Le fond de la colonne

Tableau I.1 : Soutirage de différentes coupes pétrolières [4]

On constate que plus la coupe est légères, plus elle prendra de plateaux. En effet, les gaz occupent plus d'espace que les liquides. Une fois le soutirage effectué, chaque produit fini ou semi fini suivra un surcuit bien défini.

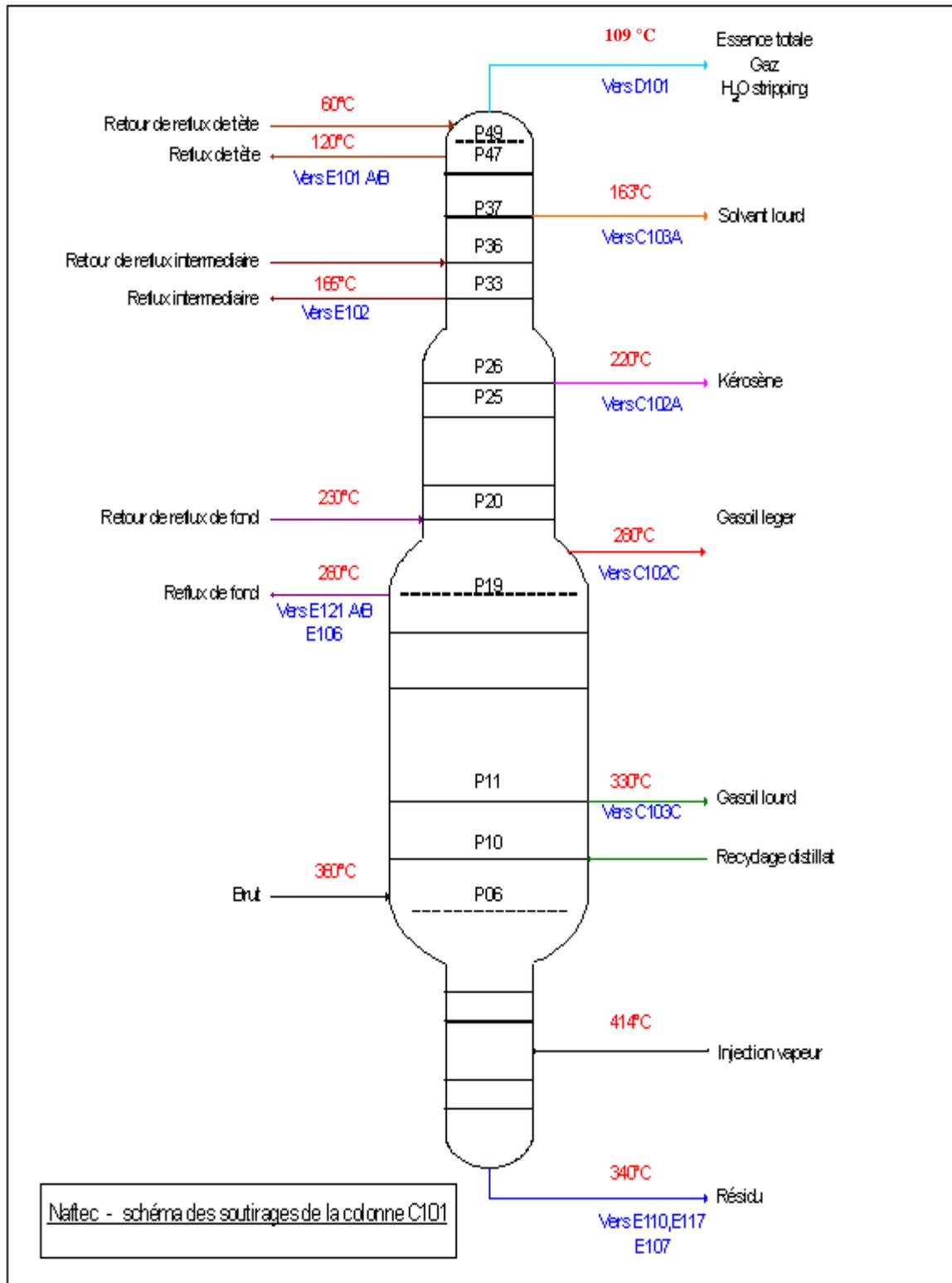


Figure I.1 : Schéma des soutirages de la colonne de distillation C101 [4]



I-8-A-4/ Le circuit résidu : Le résidu est appelé plus communément fioul. C'est la seule coupe à ne pas passer à l'état vapeur avant de se condenser dans la colonne. Il est récupéré au fond de la colonne et est envoyé vers la pompe P110, pour passer à travers trois échangeurs afin de réchauffer des produits plus légers, tout en refroidissant il est ensuite refroidi jusqu'à 94°C et mélangé au distillat pour donner du fioul lourd qui sera stocké dans les bacs B3, B8 et B9.

I-8-A-5/ Le circuit distillat : Le distillat s'écoule vers le bas ou il subit la vapeur stripping. Après, il est aspiré par la pompe P112. Une partie est renvoyée à la C101 comme huile de lavage pour piéger les particules lourdes de résidus entraînés, et l'autre partie est refroidie dans l'échangeur E104, puis emmenée dans le sécheur sous vide C103B, pour en éliminer toute trace d'eau. Il sera ensuite repris par la P109 pour être refroidi, et enfin mélangé au résidu.

I-8-A-6/ Le circuit gasoil léger : Le gasoil léger est envoyé vers la C102C, où il subit un stripping à la vapeur d'eau, une partie retourne à la C101 pour lavage, et l'autre partie est menée vers l'échangeur E105, puis est injectée dans le sécheur C102B, où un vide de (-1) bar est créé par un éjecteur de vide. Le produit est aspiré par une pompe P108. Le gasoil léger est finalement refoulé vers le E120 et E123AR, où il sera refroidi, puis stocké.

I-8-A-7/ Le circuit kérosène : Le kérosène entre dans le stripper C102A, où une partie s'évapore et est introduite dans la C101, et l'autre passe dans le rebouilleur E117, afin d'éliminer les particules d'eau dues à la vapeur stripping. Il est ensuite envoyé vers les échangeurs E103, afin de chauffer le brut, puis refroidi. Il entre alors dans l'aéroréfrigérant E113AR, et condensé dans l'échangeur E113 pour être stocké.

I-8-A-8/ Le circuit solvant lourd : Le solvant lourd est strippé dans le C103A selon le même principe que celui du kérosène, il est alors refoulé par la pompe P106 vers l'aéroréfrigérant E112AR, afin de le refroidir, et le condenseur E112 à une température de 40°C. Il sera alors mélangé au solvant léger puis stocké.

I.8.A.9/ Le circuit essence totale : L'essence totale est un mélange d'essence SR (produit semi-finis) avec le solvant léger et la vapeur de tête. Le solvant total quant à lui est de l'essence totale dans les vapeurs de tête.

L'essence totale sort de la C101 à une température de 100°C, il est alors refroidi dans les échangeurs E109AR, jusqu'à 45°C. Il entre dans le ballon D101, où deux couches se forment, en plus des C₁ et C₂, la couche inférieure est composée d'eau chargée de H₂S, qui est éliminé par chauffage à 150°C, et brûlé dans le four. La couche supérieure contenant l'essence totale est envoyée par la pompe P111 vers une série d'échangeurs E118, E119, E120, pour être chauffée à 90°C et pénétre dans la colonne C104 où les vapeurs de tête (GPL+C₁+C₂) sont séparées du solvant totale. Il sera alors chauffé dans le rebouilleur E121AB afin d'éliminer toute présence de GPL, puis il est refroidi dans les échangeurs E125 et E119 avec l'essence totale, avant d'arriver à la colonne C105 où l'essence SR est séparé du solvant léger. Les GPL quant à eux entrent dans le ballon D103 afin d'éliminer toute trace d'eau puis sont refoulés vers l'échangeur E123 et enfin vers l'unité U300.

I-8-A-10/ Les ballons de tête : Ce sont les ballons rattachés aux colonnes. Ils permettent de maintenir la pression au sommet de la colonne constante. En cas de hausse de pression les ballons D101 et D104 dégazent vers la torche, et le D103 vers le gaz combustible, alors qu'en cas de chute de pression, on les réalimente en légers. On aura ainsi obtenus toutes les fractions du pétrole désirées. Les produits finis tels que le fioul, le gasoil ou le kérosène seront stocké puis distribués aux clients de SONATRACH. Les semi-finis tels que l'essence SR, le solvant et les GPL seront traités respectivement par les unités U200 et U300.

I-8-B/ Unité plat forming U200 :

Elle contient :

- 03 fours F202, F203 et 204.
- 02séparateurs D203 et D204.
- 04 réacteurs R201, R202, R203, R204.
- Une colonne C202.
- 03 pumps: P204A/B, P205A/B, P211A/B.
- 12 échangeurs.
- 1 compresseur K201.

Cette unité a pour but de transformer les coupes pétrolières à faible indice d'octane, comme le naphta on carburant ayant un indice d'octane élevé, se situant entre 89 et 96.



L'essence sortant de l'unité 100 va être aspiré par la pompe P204A/B, et passer dans 6 échangeurs : E208B, C, D, F, G, H ou il sera chauffé, pour passer dans un réacteur R201 afin de lui ôter les poisons. Il passe ensuite par les échangeurs E208A et E208E, pour entrer dans le four F202, et être chauffé jusqu'à la température adéquate pour entrer dans le réacteur R202 afin de subir une déshydrogénation. Il passe ensuite dans le four F203 tout en passant par les réacteurs R203 pour l'isomérisation, et R204 pour l'hydrocracking. Il passe ensuite dans le ballon de flash D203 afin de retirer l'hydrogène qui est aspiré. Ensuite il passe par la colonne C202, afin d'être séparé des GPL. Ces derniers passent dans le ballon D204 puis sont réinjectés comme reflux afin d'éliminer les fractions lourdes présentes dans les GPL, alors que le fond passe au four F204 et est réinjecté dans la colonne, afin de nettoyer le plat format des LPG restants.

Les LPG passeront à l'unité 300, alors que le plat format sera mélangé à d'autres produits, pour en faire du normal ou du super.

Les réactions que subit la charge dans l'unité U200 sont :

I-8-B-1/ Déshydrogénation et reformage catalytique : La déshydrogénation est une réaction endothermique qui nécessite beaucoup d'énergie. Elle est donc favorisée par des températures élevées et basses pressions. C'est aussi une réaction très rapide, des doubles liaisons seront créées. On passera des naphthènes aux aromatiques.

Le reformage catalytique a pour objectif de transformation de constituants naphthénique en constituants aromatiques à haut indice d'octane servant de base au mélange des essences.

L'unité de reformage est constituée essentiellement d'une série de trois réacteurs contenant un catalyseur servant à séparer les différents produits à la sortie des réacteurs. Ce catalyseurs est très sensible à la présence de produits sulfurés et azotés, le catalyseur utilisé à la raffinerie d'Alger est un catalyseur monométallique, à base de platine sur support d'alumine.

La réaction se passe sous haute pression et à haute température de l'ordre de 550°C avec production d'hydrogène venant des molécules naphthéniques. C'est une réaction endothermique. En effet, les liaisons s'ouvrent dans les molécules naphthéniques, et libèrent de l'hydrogène, ces molécules donnant naissance à des molécules aromatiques dont le chef de file est le benzène. Ce dernier est un hydrocarbure aromatique qui se présente sous la forme d'un hydrocarbure aromatique qui se présente sous la forme d'un hexagone ayant 3 doubles

liaisons dont la formule chimique C_6H_6 , comme il est indiqué sur la figure I.2 Réaction déshydrogénation.

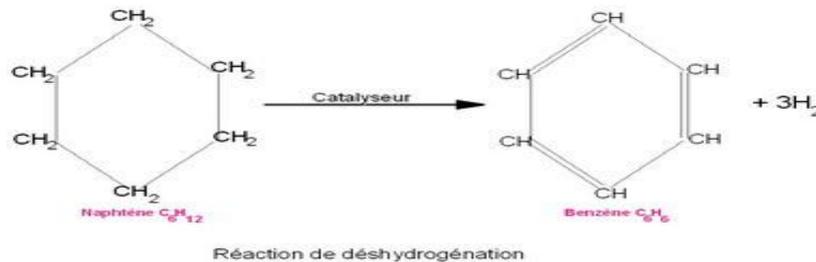


Figure I.2 Réaction déshydrogénation

I-8-B-2/ Isomérisation : L'isomérisation est une opération qui permet de transformer une paraffine linéaire en paraffine isomère dans le but d'augmenter son indice d'octane. Cette réaction est très rapide et thermo-neutre.

I-8-B-3/ Hydrocraquage : L'hydrocraquage est un procédé permettant de convertir des distillats lourds de pétrole en coupes légères à haute valeur marchande. Ce procédé est mis en œuvre sous une forte température de l'ordre 250 à 450 °C et une forte pression d'hydrogène (entre 50 et 150 bars), en présence d'un catalyseur en lit fixe.

À cette température, il y a craquage des molécules longues, et apparition des molécules oléfiniques. Mais en présence d'hydrogène sous haute pression, donc il y a une d'hydrogénation partielle de ces oléfines et aussi des aromatique formés. Des intermédiaires lourds sont à l'origine de la formation du coke, il faut signaler également qu'avec ce procédé, la consommation d'hydrogène est assez importante, de l'ordre de 200 à 700m³.

I-8-C/ Unité du gaz plant U300 :

Elle contient :

- 02 colonnes C301 et C302.
- 02 tamis moléculaires C303A et B.
- 04ballons D301, D302, D303, D305, D307.
- 08 pompes.
- 08 échangeurs.



Cette unité a pour but de séparer le propane du butane, et d'enlever les C₁ et C₂ présents, selon le parcours suivant :

- Les GPL sortants des unités 100 et 200 sont récupérés dans le ballon D301, puis pompés par la P301, et envoyés dans la colonne C301, où ils sont séparés de méthane et de l'éthane.
- Les C₁ et C₂ sont récupérés en haut de la colonne dans le ballon D302, puis brûlés.
- Les C₃ et C₄ passent dans le rebouilleur E302 afin d'éliminer les traces de C₁ et C₂, puis est récupéré en fond de colonne pour passer à la colonne C302 où le propane et le butane sont séparés à leurs tour.

Le propane, récupéré en tête de colonne, passe dans l'échangeur E303 puis dans le ballon D303, où une partie sera aspirée pour le reflux. Le butane quant à lui est récupéré en fond de colonne, une partie passe par l'échangeur E304 pour être chauffée par du kérosène et réinjectée dans la colonne.

Le propane passe ensuite dans les tamis moléculaire C303A et B afin de leurs enlever toute trace de poison ; il est dans le ballon D305 et la colonne C303A, et le butane dans le ballon D307 et la colonne C303B. Ils sont ensuite récupérés et stockés dans les sphères

I-8-C-1/ Stockage : bacs et bassin : Tous les produits résultants des unités U100 et U200 sont envoyés à la pomperiez. C'est le service qui se charge de la réception et de l'expédition des différents produits, ainsi que de leur stockage. C'est la que l'on produit de l'essence normal ou super, en ajoutant au plat format de l'essence SR, du plomb et du butane, ainsi que le naphta en mélangeant solvant et l'essence SR.

Ces produits seront ensuite stockés dans les bacs permettant le stockage des produits finis et semi-finis on trouve des bacs à toit flottant et des bacs à toit fixe.

- Le butane et le propane sont stockés dans des réservoirs sphériques.
- Essence normale, super et SR, kérosène, plat format et le pétrole brut sont stockés dans des bacs à toit flottant.
- Le fuel, solvant total et le slop (dépôt visqueux) sont stockés dans des bacs à toit fixe.

On peut les classer selon le tableau suivant :

Produit	Pétrole	Solvant	Essence	slop	Plat	carburant	fioul
Stocké	brute	Total	SR		format		
Bac de	A301	A102	B4	C4	C2	A101 A105	B3
Stockage	A302	A103	B10	D3		A106 A107 B2	B8
	A303	A104	D2	D2	C8	C1	B9

Tableau I.2 : Stockages des produits pétroliers [4]

Au bas de ces bacs, on remarque trois conduits : une conduite de refoulement, une de soutirage et une pour les purges. En général, par décantation, les bruts laissent toujours un dépôt visqueux appelé « **slop** » au fond des bacs qu'il faut vider de temps au temps.

Les eaux purgées vont dans le bassin ou elles sont filtrées. Ainsi, les hydrocarbures sont stockés avec les slops, et injectés en petite quantité dans le fioul. L'eau quant à elle passera dans un autre bassin ou on lui retirera des huiles restantes grâce à un deuxième filtrage et à des pompes. Elle sera alors évacuée.

I-9/ Les différents autres services : [4]

I-9-A/ Laboratoire :

Ce service est très important, il sert à contrôler la conformité des produits finis et semi finis. Il est partagé en deux sections

I-9-A-1/ Section contrôle : Comme son nom indique, elle est chargée de contrôler la quantité des produits et effectue pour cela différents types d'analyse :

- distillation ASTM : elle permet de vérifier le PI et PF des produits.
- mesure de la densité.
- vérification des points de congélation et d'éclair du gasoil et du kérosène.
- calcul de la conductibilité du kérosène.
- vérification de la couleur de certains hydrocarbures.
- calcul de l'indice d'octane à l'aide d'un moteur CFR.



I-9-A-2/ Section chimique : Elle est chargée d'effectuer des analyses qualitatives sur les différents échantillons, tel qu'il est basée essentiellement sur l'analyse de la teneur en eau dans les différents produits. Elle est dotée d'appareils sophistiqués la détermination du pH de l'eau.

Les produits une fois contrôlés et analysés, étiquetés, sont stockés dans une salle appelée « oliothèque ». La chambre de flash permet la décantation au moyen d'un appareil, le point d'éclair des produits liquides tels que le fuel et le gasoil dont la densité est inférieure à 55.

Pour sa sécurité le laboratoire est équipé de plusieurs extincteurs à CO₂ et six points d'accès, un détecteur de gaz à l'intérieur de la chambre de flash. On trouve aussi des douches antiacides en cas d'accident.

I-9-B/ Département de sécurité :

La raffinerie d'Alger traite des produits inflammables et toxiques, il est donc nécessaire d'avoir un département sécurité, ce dernier est composé de deux services :

I-9-B-1/ Service prévention : Comme son nom l'indique, ce service a pour rôle d'établir les statistiques d'accidents, et de Surveiller les travaux afin d'éviter tout incident, ce service est géré par 4 éléments :

- un chef de service
- un inspecteur principal
- deux inspecteurs

Il oblige chaque travailleur à porter les équipements de sécurité selon sa fonction (combinaisons, gants, lunettes, casques, masque à gaz, chaussures de sécurité), et d'éteindre le portable, ne pas fumer au sein de la raffinerie, aussi de surveiller et de prévoir des incidents plus importants en contrôlant régulièrement l'état des installations.

I-9-B-2/ Service intervention : Ce service a pour but d'intervenir rapidement dans le cas où la prévention a été insuffisante. Leurs rôle est de minimiser les dégâts et d'éviter que l'incendie se propage. Pour cela des pompiers sont formés spécialement pour la raffinerie. Ils utilisent différentes méthodes tels que :

- L'étouffement de la flamme: cette méthode consiste à éliminer l'oxygène qui alimente la flamme, en étalant un liquide qui, au contact de la chaleur, se transforme en gaz, ou en utilisant tout simplement une mousse.

Pour cela ils utilisent le matériel suivant :

- des extincteurs.
- des lances à vapeur.
- des camions de ravitaillement.
- des ambulances de secours.
- des bouches d'incendie, alimentée par deux bacs d'eau.
- des géophones installés sur tout le chantier pour signaler quoi que ce soit.
- des détecteurs de gaz électroniques équipés de membranes qui transmettent le signal à la moindre fuite.

I-9-C/ Planning et programme :

Ce service a pour but d'effectuer des prévisions sur les quantités de produits finis résultants de l'opération. Ces prévisions sont très importantes, car si un planning est mal effectué, et qu'un bac est plein et prêt au transport trop tôt au trop tard, de graves pertes de capital s'en suivront.

Pour effectuer ces prévisions, le service se base sur la composition du brut, l'état de la raffinerie (la production sera moindre en cas d'arrêt ou de problème au sein de l'entreprise, et l'ingénieur se doit de le signaler dans son rapport), ainsi que sur des lois statistique et mathématique.

Des calculs quotidiens sont faits, la production de la raffinerie dépasse les 100%. Au début septembre 2007, elle était de 105%

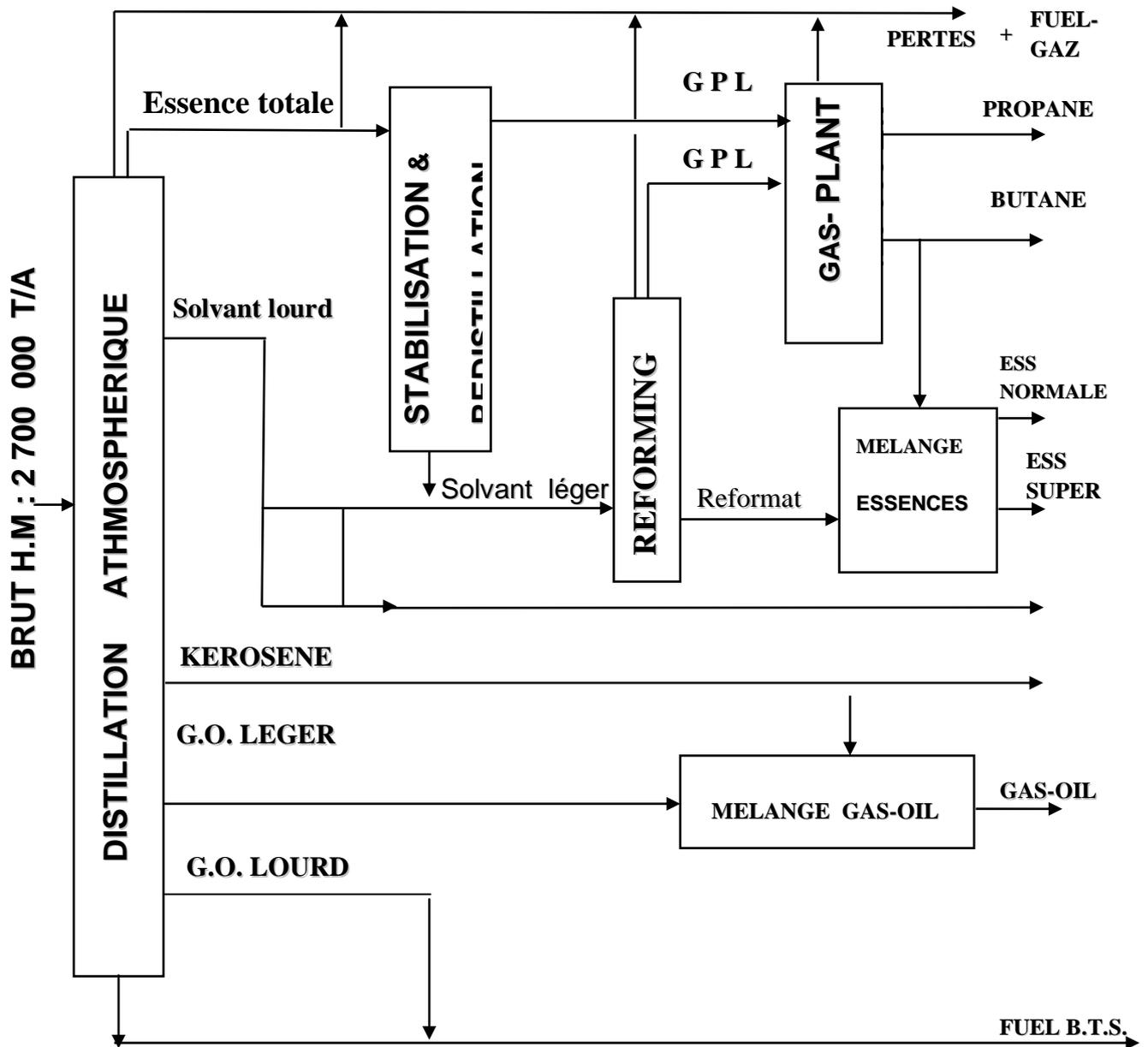


Figure I.3 : schéma synoptique des installations de la raffinerie [4]

I-10/ Présentation de la centrale électrique :

C'est l'unité de production de l'électricité, vapeur, air et l'eau traité

Elle est équipée de plusieurs éléments qui sont les suivants :

- 2 chaudières à vapeur.
- 2 stations de traitement d'eau.
- 1 groupe turbo alternateur (GTA).
- Une salle de contrôle.

I-10-A/ Chaudières à vapeur : elles ont 1 rôle de production de vapeur pour satisfaire la demande du groupe alternateur et des différentes unités.

I-10-B/ Stations de traitement d'eau : il est obligatoire de traité l'eau avant de lui faire entrée a l'intérieur de la chaudière.

I-10-C/ Groupe turbo alternateur : il est équipée d'une turbine a vapeur timbré a 30t/h de vapeur et une pression de 40 bars relié a un alternateur pour la production d'électricité (8 MW).

I-10-D/ Salle de contrôle : tout est numérisé équipée de deux micro ordinateur (un seul pour chaque chaudière) reliés entre eux avec un système de command utilisée pour le contrôle des différents opérations de la centrale.

II-1/ Introduction :

On va voir ensemble dans ce chapitre ce qui veut dire chaudière à vapeur et les différents types de chaudières industrielles.

Et à la fin on va parler sur notre chaudière ça description et ces différents éléments.

II-2/ Définition d'une chaudière : [3]

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, fuel, charbon...) ou une résistance électrique.

L'idée d'utiliser la vapeur comme force motrice remonte au 1er siècle après Jésus Christ avec l'invention de l'éolipile par Héron d'Alexandrie.

Mais ce n'est véritablement qu'à partir de la fin du 17ème siècle que les ingénieurs ont développé les machines à vapeur modernes.

En 1800, l'ingénieur américain Evans mis au point la première chaudière à tubes de fumée qui servit dans les premières locomotives, la nécessité d'avoir des débits et pressions de vapeur importants aboutit en 1867 à la mise au point de la chaudière à tubes d'eau par les ingénieurs américains Babcock et Wilcox.

Depuis, celles-ci se sont sans cesse perfectionner permettant d'avoir notamment des Rendements de 90,0 %.

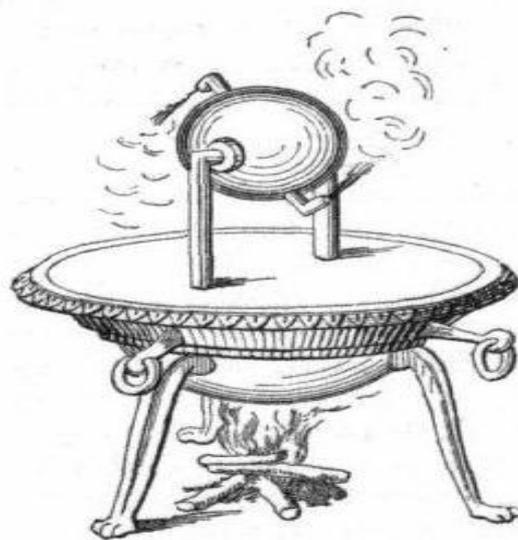


Figure II.1 chaudières l'éolipile par Héron d'Alexandrie [3]



II-3/ Différent types des chaudières : [6]

II-3-A/ Chaudières de récupération :

L'énergie thermique est récupérée d'un fluide chaud (gaz d'échappement d'une turbine à gaz ou gaz process dans l'industrie chimique, par exemple). Ces chaudières s'apparentent donc aux échangeurs de chaleur, mais doivent leur dénomination de chaudière au fait que le fluide caloporteur chauffé (généralement l'eau) y est vaporisé (au contraire des échangeurs de chaleur).

Reviennent également dans cette catégorie les générateurs de vapeur des centrales nucléaires qui échangent la chaleur entre le circuit primaire et le circuit secondaire.

II-3-B/ Chaudières électriques :

L'électricité n'est pas à proprement parler un combustible. C'est cependant une source d'énergie qui est parfois convertie en chaleur dans des chaudières électriques. Il existe plusieurs principes de chauffe. Les chaudières à résistances chauffent l'eau à l'aide d'une résistance électrique immergée dans l'eau. Les chaudières à effet joule chauffent l'eau à l'aide d'électrodes immergées dans l'eau. C'est alors l'effet joule de l'eau qui permet le chauffage de l'eau ou la vaporisation. Les chaudières ioniques projettent des ions à grande vitesse (280 km/s) à l'aide d'un champ électrique, provoquant l'échauffement du liquide caloporteur.

La rareté des chaudières électriques s'explique par le prix de l'électricité qui est une énergie plus coûteuse que la plupart des autres énergies. On trouve des chaudières électriques dans le domaine du chauffage central domestique, dans l'humidification de locaux équipés d'air conditionné (petites chaudières vapeur utilisées pour l'humidification), mais aussi dans l'industrie pour des puissances faibles. Du fait de l'absence de pertes d'énergie par la chaleur sensible des fumées, le rendement des chaudières électriques est souvent proche de 100%.

II-3-C/ Les chaudières à combustible :

Ce type de chaudière se compose de deux compartiments distincts : l'un dans lequel brûlent le combustible et un autre dans lequel l'eau est chauffée. On distingue ainsi deux types de chaudière à combustible en fonction de la circulation de l'eau à chauffer par rapport à la chaleur de combustion :

- Les chaudières à tube de fumée.
- Les chaudières à tube d'eau.

II-4/ Présentation de notre chaudière : [9]

Elle est une chaudière à tube d'eau, ce type de chaudière fournit un débit de vapeur saturée supérieur à 20000 kg/h, en moyenne et haute pression. Le combustible utilisé est soit du gaz, du fuel, du charbon ou déchets.

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.



Figure II.2 vue extérieur d'une chaudière a tubes d'eau [3]

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. Dans le domaine des hautes pressions, une pompe peut être installée pour faciliter cette circulation du haut vers le bas.

Il y a donc circulation de l'eau dans des tubes placés à l'intérieur d'une enceinte contenant les Gaz chauds.

La formation de tartre dans les tubes serait préjudiciable au fonctionnement de la chaudière à tubes d'eau pour les mêmes raisons que celles évoquées à propos des chaudières à tubes de



Fumée. En outre, l'obturation des tubes pourrait se révéler dangereuse, ce qui ajoute à la nécessité de traiter l'eau de chaudière.

La paroi extérieure des tubes est exposée aux dépôts de suies et nécessite une action de ramonage pendant le fonctionnement de la chaudière. Cette action est obtenue par injection de vapeur ou d'air comprimé via un tube perforé.

Dans une chaudière à tubes d'eau, la tuyauterie qui prend en charge la vapeur saturée retourne dans le foyer, les gaz chauds apportent à cette vapeur saturée une énergie supplémentaire qui en élève la température sans en modifier la pression. On obtient ainsi de la vapeur surchauffée à la sortie.

II-5/ Description schématisée du processus : [9]

II-5-A/ Poste d'alimentation en eau dégazée

II-5-A-1/ Généralités : Le poste d'alimentation en eau dégazée est constitué par :

- Un ensemble : bêche de réserve ; concentrateur et dégazeur Cochrane.
- Une Motopompe et une Turbopompe alimentaire de construction Sulzer

II-5-A-2/ But du dégazage de l'eau : La présence d'oxygène dans l'eau d'alimentation des chaudières produit des corrosions des tubes de chaudières. Ces corrosions de nature électrolytique, se présentent sous forme de pustules et entraînent une perforation rapide du métal.

D'autre part, la présence de gaz carbonique dans la vapeur a pour effet d'augmenter l'acidité de l'eau condensée d'où un risque de corrosions des conduites de condensais.

Enfin les corrosions ayant d'autres origines sont presque toujours activées par la présence d'oxygène dans l'eau.

Toutes ces raisons font que le dégazage de l'eau est une opération très importante, qui doit aboutir à une extraction quasi-complète du gaz carbonique et de l'oxygène dissous dans l'eau.

La teneur en O₂ de l'eau alimentaire sera mesurée périodiquement par le laboratoire.

II-5-A-3/ Dégazeur : Le dégazeur de construction Cochrane est du type Jet Terray à double effet. Sa capacité est de 71000 kg /h d'eau dégazée.

C'est un dégazeur physique fonctionnant sous pression, le fluide de réchauffage est de la vapeur à 3,5 bars.

L'eau adoucie et les condensais arrivent à la partie supérieure du dégazeur ainsi que la vapeur de réchauffage.



L'eau entre en contact avec la vapeur et est amenée à son point d'ébullition. Elle est d'abord détendue et finement pulvérisée à travers des clapets, ceci afin de réaliser une surface de contact eau vapeur la plus grande possible. Dans ces conditions, la pression partielle de l'air dans l'enceinte tend vers zéro ce qui a pour effet de diminuer la solubilité des gaz dissous dans l'eau. Ceux-ci se dégagent et le mélange air vapeur s'échappe par le dôme.

L'eau recueillie au fond du dégazeur s'écoule dans la bêche alimentaire située en dessous en passant par une série de chicanage superposé en rangées.

II-5-A-4/ Bêche alimentaire D8 :

La bêche de réserve d'eau alimentaire de construction ALI ECO Côte Rouge - H-dey à une capacité totale de 44 m³ et une capacité utile de 35 m³

Elle est installée à une hauteur de 10 m au dessus du niveau du sol et supporte le dégazeur.

L'eau alimentaire est maintenue dans la bêche à une température de 140 degrés ce qui correspond à une pression de 3,5 bars.

La bêche est équipée d'une régulation automatique de niveau et d'un-dispositif d'évacuation rapide à l'égout du trop plein à travers le ballon de détente D6.

II-5-A-5/ Pompes alimentaire :

L'eau dégazée de la bêche est amenée à la pression nécessaire à son introduction en chaudière à l'aide de trois pompes alimentaires de construction Sulzer. Ces pompes sont du type centrifuge multicellulaire à huit étages.

La puissance nominale absorbée par chaque pompe est de 164 CV ce qui permet un débit horaire de 80 m³ d'eau à 140 degrés sous une pression de refoulement de 48 bars.

Les deux pompes sont entraînées par un moteur asynchrone de 150 KW alimenté sous une tension de 5.500 avec une intensité nominale de 19 A.

L'autre pompe est entraînée par une turbine à vapeur Worthington de 185 CV à démarrage automatique par chute de pression à 42 bars. L'admission de vapeur est alimentée par de la vapeur HP à 35 bar et l'échappement est à contre-pression de vapeur BP à 3.5 bar.

II-6/ Générateur de vapeur : [9]

II-6-A/ Généralités :

Le poste de production de vapeur comprend deux chaudières de construction STEIN & ROUBAIX à l'origine timbrées à 41,5 bars.

Chaque chaudière à tube d'eau est construite pour fournir en marche normale 40000 kg à l'heure de vapeur à 35 bars et surchauffée à 410 [°C]. En marche poussée continue le débit peut être porté à 47000 kg/h en pointe à 52000 kg/h en 1 heure par jours.



Les chaudières sont du type à foyer pressurisé (sous pression) et sont conçues pour la chauffe mixte gaz et fuel.

Le combustible utilisé normalement est un mélange de gaz naturel et de gaz de Raffinerie. Le fuel-oil ne sera utilisé que pour maintenir la consommation de gaz naturel dans les limites imposées ainsi que pour alimenter les brûleurs pilote à débit réduit et en cas de manque de gaz naturel la priorité est laissée autour des unités combinées.

II-6-B/ Ensemble :

Chaque chaudière est constituée par :

- Un réservoir supérieur et un réservoir inférieur.
- Un faisceau de tubes évaporateurs reliant les deux réservoirs.
- Un faisceau de tubes écran d'eau entourant complètement la chambre de combustion.
- Une surchauffeur de vapeur à simple parcours.
- Un réchauffeur d'air.
- Un ventilateur de soufflage.
- Quatre brûleurs foyers/Turbines de chauffe combinée (mixtes) fuel gaz.
- Quatre ramoneurs à vapeur rotative.
- Un ramoneur à vapeur à lance rétractile.
- casing étanche en tôle nervurée.

Chaque chaudière est équipée d'une régulation automatique de chauffe numérique EVENSYS FOXBORO et PILLARDS.

II-6-B-1/ Réservoirs :

- Le réservoir supérieur à un volume utile d'environ 2,5 m³. Il est supporté par les tubes du faisceau vaporisateur. Il reçoit les tubes d'échappement venant du circuit écran.

Il est muni intérieurement d'un aménagement permettant la séparation de la vapeur et son séchage. Ce réservoir comporte une conduite de répartition d'eau alimentaire d'évacuation des purges ainsi qu'une conduite pour l'injection éventuelle de réactifs. Le niveau de l'eau est maintenu constant au tiers du diamètre environ par une chaîne de régulation de niveau, le transmetteur étant monté sur le réservoir. Le réservoir est équipé des appareils réglementaires : niveaux à lecture.

- Le réservoir inférieur à un volume de 2,85 m³ il repose sur deux jeux de rouleaux permettant sa libre dilatation il reçoit d'une part tubes faisceau vaporisateur et d'autre



part les tubes d'alimentation du circuit des écrans d'eau. Ce réservoir comporte à la partie inférieure deux conduites de purges destinées aux extractions.

II-6-B-2/ Faisceau vaporisateur et écrans d'eau : Le faisceau vaporisateur a une surface approximative de 780 m². Il est constitué par des tubes en acier et est muni extérieurement d'un chicanage permettant la sortie vers le haut du flux gazeux.

Les écrans d'eau ont une surface exposée au feu d'environ 420 m² ils entourent complètement le foyer dont le volume est d'environ 110 m³ ils sont constitués par des tubes en aciers, dudgeonnés dans des collecteurs d'alimentation et de dégagement en ce qui concerne les écrans latéraux dans les réservoirs inférieurs et supérieurs en ce qui concerne les écrans de la face avant, du plafond et du plancher.

Les tubes de liaison des collecteurs d'écrans latéraux ainsi que les tubes du faisceau Vaporisateur sont dudgeonnés dans les réservoirs.

II-6-B-3/ Surchauffeur : Le surchauffeur a une surface d'environ 450 m², il est du type suspendu, non vidange able à l'arrêt.

Il comprend un collecteur d'entrée, 50 éléments tubulaires à 4 boucles en chrome Cobalt et un collecteur de sortie. Il est muni d'une tubulure de remplissage en eau, de préservation distillée destinée à sa conservation à l'arrêt, d'une soupape de sûreté ainsi que des vannes de purge, mise à l'air libre, prise d'échantillons nécessaires.

La sortie surchauffeur est équipée d'un désurchauffeur et un clapet de sécurité à double effet ainsi que d'une vanne de sectionnement et un by passe.

II-6-B-4/ Réchauffeur d'air : Le réchauffeur d'air à une surface approximative de 1.326 m² il est du type tubulaire en acier à parcours croisés, les fumées circulant à l'intérieur des tubes et l'air à l'extérieur et perpendiculairement pour faire trois passages.

La partie froide est disposée séparément afin de permettre un remplacement des tubes corrodés, elle est équipée d'un dispositif de lavage à l'eau constitué par 2 herses de levage de manœuvre manuelle.

L'air de combustion est porté à 260 °C par la chaleur cédée par les fumées, la température de ces derniers se trouve alors abaissé à environ 140 °C à la sortie réchauffeur (exploitation env. 110 °C).

II-6-B-5/ Ventilateur de soufflage de combustion : L'air comburant est soufflé par un Ventilateur centrifuge de construction NEU tournant à 980 tr/mn. Type CM212CEGE - ERGE.62 N°1.

Ce ventilateur est muni à l'aspiration, d'un registre d'air dont les vannes sont commandées par la chaîne de régulation de combustion.

Il est entraîné à une extrémité de l'arbre par un moteur électrique de 170 CV et à l'autre par une turbine à vapeur et réducteur Worthington de 170 CV à démarrage automatique par chute de vitesse détecté par la pression d'huile, l'admission est alimentée par de la vapeur HP et l'échappement est à contre-pression de vapeur BP. La gaine d'air est à la sortie du ventilateur munie d'un dispositif de mesure du débit d'air.

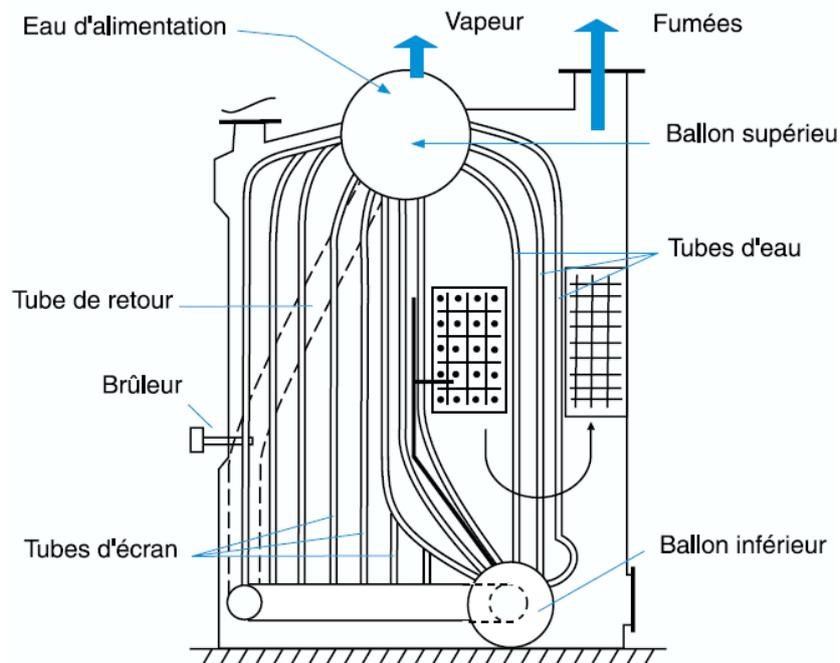


Figure II.3 Répartition des ensembles de la chaudière à tubes d'eau [3]

II-6-B-6/ Ventilateur d'air de balayage : l'air de balayage est fait pour refroidir la tête du brûleur car on ne veut pas atteindre la température de 1500 °C, le ventilateur maintient l'air à un débit constant.

II-6-B-7/ Brûleurs chaudière N°2: La chaudière N°2 est équipée de 4 ensembles de chauffe combinés pour gaz et fuel oil de construction « Foyers -Turbines », ces ensembles sont disposés sur la façade avant du foyer en deux plans horizontaux de deux ensembles. Chaque ensemble comprend :

- un registre de distribution d'air à turbulence réglable débitant dans un ouvrage réfractaire.
- Un brûleur à gaz réglable à 8 lances à injection tangentielle.
- Un brûleur à fuel à pulvérisation physique de vapeur
- Une torche d'allumage au gaz à allumeur électrique.
- Un dispositif de sécurité en cas d'extinction de la flamme.



Les brûleurs sont raccordés aux conduites de combustible gaz à l'aide de flexibles démontables.

II-6-B-8/ Description de l'équipement de chauffe brûleurs GRC TYPE G2 :

✓ Introduction

Les équipements GRC type G2 sont un ensemble de composants spécialement conçus pour réaliser de faibles émissions de NOX au fonctionnement au gaz naturel. Le résultat de recherches fondamentales et de multiples essais ont permis au GRC type G2 d'atteindre un niveau de performance dans le domaine de la conservation d'énergie et de la réduction des rejets polluants.

Le concept du brûleur garantit la stabilité de flamme qui permet de produire une flamme "froide" et appauvri en oxygène par le recyclage d'une partie des fumées de combustion, réalisant ainsi un niveau de NOX très bas.

✓ Description : Se reporter aux plans suivants :

Plan d'ensemble du brûleur mixte "LOW NOx" gaz/ fuel GRC type G2 No.Z-246922

Plan d'ensemble du brûleur standard mixte gaz/ fuel GRC type G1 No.Z-2474876

L'équipement de chauffe comprend essentiellement (se reporte aux croquis et à la nomenclature pages suivantes) :

- un ensemble de soudure en acier au carbone supportant l'ensemble des éléments et assurant une distribution d'air uniforme à la tête de combustion, à noter que cet ensemble de soudure comprend le directeur d'air cylindrique en acier inox réfractaire équipé de 8 venturis internes soudés.

- Une plaque de façade.
- Une porte de rosace.
- Un parallélogramme de Watt.
- Une tête de combustion.
- Un brûleur gaz multi lances et central.
- Un brûleur fuel type ZV2.

Cet équipement de chauffe est de la famille des brûleurs à écoulement parallèle du type à jet Tourbillon constitué par une virole cylindrique associée à un directeur d'air. L'air pénètre dans l'équipement au travers d'une virole perforée dont le rôle est d'assurer une Réparation radiale uniforme de l'air comburant et de tranquilliser les remous éventuels à L'entrée de l'équipement.



L'air circule parallèlement à l'axe longitudinal de l'équipement et rencontre la tête de combustion de mise en mouvement de cet air. La tête de combustion transforme le mouvement Axial de la veine d'air en un jet tourbillon assurant la double alimentation du remous toroïdal et de la zone de précombustion.

La tête de combustion n'occupant pas toute la section de sortie du tube cylindrique dont la partie avant est appelée directeur d'air, l'espace annulaire ainsi constitué permet l'alimentation de la zone de combustion. Les parois de la rosace se raccordent sur le moyeu d'accrochage de flamme et ont été aérodynamique étudiées pour assurer l'efficacité maximale pour une perte de cette charge minimale.

II-6-B-9/ Ramoneurs : Chaque chaudière est équipée d'un ensemble de souffleurs de suies de construction Forest. Le fluide de soufflage utilisé est de la vapeur surchauffée.

Les appareils sont disposés sur une des faces latérales du générateur. Ils comprennent :

Emplacement	Nombre	Type
Surchauffeur	1	Rampe rétractile
Faisceau vaporisateur	4	Rampe rotative

Le souffleur à rampe rétractile est motorisé et commandé par un bouton poussoir sur le coffret de commande.

Les souffleurs à rampe rotative sont manœuvrés manuellement chacun par l'intermédiaire d'un volant.

II-6-B-10/ Casing : Le casing enveloppe entièrement le générateur. Il est du type « out do or » étanche et se compose de :

- Un casing double, en tôle nervurée étudiée pour les générateurs à foyer sous pression.
- Les panneaux démontables, portes et regards nécessaires à la conduite et à l'entretien.
- Toutes les ouvertures sont alimentées en air de barrage à partir du refoulement du ventilateur de soufflage.

II-6-B-11/ Cheminée : C'est la conduite des gaz d'échappements ça hauteur par rapport au foyer nous permis d'avoir la différence de pression

II-7/ Poste d'alimentation en combustibles : [9]

II-7-A/ Poste de détente de gaz : Ce poste est alimenté par le réseau de gaz de la Raffinerie.

Le gaz utilisé est normalement un mélange de gaz de Raffinerie et de gaz naturel de SONELGAZ. Dans certains cas il peut y être ajouté des gaz condensables : Butane, Propane.

Le gaz naturel arrive dans le ballon Z1 de capacité 49 m³ avant la vanne audace dans une



conduite de diamètre 6" sous une pression maintenue constante aux environs de 4.2 bars, puis séparer en deux circuits chaudière N°1 et chaudière N°2 aux niveau des installations utilités. Le combustible est muni d'une vanne de sectionnement pour chaque chaudière. Le gaz de combustion est maintenu à la pression du circuit de gaz de la chaufferie qui est de 1 bars à l'aide d'un simple détendeur. Cet appareil est muni des vannes d'isolement et du by-pass nécessaire à son démontage en marche.

II-7-B/ Poste d'alimentation en gaz des chaudières : Chaque chaudière est équipée d'un dispositif d'alimentation en gaz constitué par deux circuits de gaz distincts.

- Un circuit de gaz d'allumage Ø 1" pris avant la vanne de sécurité.
- Un circuit de gaz normal des brûleurs.

Le circuit de gaz d'allumage de 4.2 bar comporte un simple détendeur ramenant la pression du gaz aux environs de 2,5 à 3 bars réglable. Ce détendeur est précédé d'un filtre et l'ensemble est muni des vannes d'isolement et du by-pass nécessaires aux démontages en marche.

Le circuit de gaz normal des brûleurs est muni à l'arrivée d'une vanne de sécurité de Sectionnement automatique avec signalisation de position à la salle de contrôle. Cette vanne est suivie d'une vanne de régulation réglant le débit de gaz aux brûleurs en fonction de la pression de vapeur. Cette dernière vanne est munie de deux vannes d'isolement et d'un by-pass nécessaire à son démontage.

II-7-C/ Poste de conditionnement du FUEL-OIL : Le fuel-oil venant de la Raffinerie est normalement coulé dans le bac de stockage, d'une capacité de 60 m³, Ce bac est muni d'un serpentin de réchauffage permettant de maintenir la température du fuel nécessaire à son pompage.

Le fuel est la sortie du bac filtré par une batterie de 2 filtres montés en parallèle et repris par deux motopompes à vis Guimard de 20 CV. Chaque pompe a une capacité de pompage de 14 m³ à l'heure sous une pression de refoulement de 14 bars. Le fuel à la sortie des pompes est réchauffé à la température nécessaire à sa pulvérisation correcte par les brûleurs, par passage dans l'échangeur E16. Cet échangeur est alimenté en vapeur BP, il est muni d'une vanne de régulation réglant le débit de vapeur en fonction de la température du fuel.

Le fuel réchauffé est à nouveau filtré dans une batterie de 2 filtres également montés en parallèle et de là envoyé aux postes d'alimentation des chaudières. Une conduite de retour du fuel au bac est raccordée à l'arrivée à ces postes.



Sur cette conduite, est montée une vanne de régulation réglant le débit de retour en fonction de la pression de la conduite de refoulement. Cette conduite permet une circulation du fuel dans le système en cas d'arrêt du débit des brûleurs.

II-7-D/ Poste d'alimentation en fuel des chaudières : Chaque chaudière est équipée d'un dispositif d'alimentation en fuel constitué par :

- Une vanne de sectionnement automatique avec signalisation de position à la salle de contrôle.
- Un compteur de fuel du type aéromètre Bailly
- Une vanne de régulation réglant le débit de fuel.

Ces deux derniers appareils sont munis des vannes d'isolement et des by-pass nécessaires à leur démontage.

II-8/ Dispositifs annexes : [9]

II-8-A/ Ballon de détente des purges continues D 9 :

Les purges continues des chaudières détendues à une pression de 3,5 bars dans le ballon de détente D9. Le ballon comporte une régulation automatique du niveau (LCV7) agissant sur la vidange ainsi qu'un dispositif de mise directe à l'égout en cas de niveau haut. La vapeur produite est envoyée dans le réseau BP des auxiliaires la centrale.

Le ballon est muni des dispositifs réglementaires : Deux soupapes de sûreté (S6 et S7), un manomètre.

II-8-B/ Ballon de détente des extractions D 6 :

L'eau d'extraction venant des chaudières est détendue dans le ballon D6.

Ce ballon reçoit le trop plein de la bêche alimentaire par la vanne automatique de sécurité (LCV6) en cas de niveau haut.

L'eau est évacuée directement à l'égout, la vapeur produite au cours de la détente est envoyée à l'atmosphère au dessus du toit du bâtiment de la centrale.

Le ballon a été réhabilité le 06.02. 2007 et fabriqué par la société STRUYF Belgique en 2006.

II-8-C/ Ballon de D 2 et D 4 des purges HP et BP :

Les purges de vapeur HP et BP d'origines diverses sont détendues respectivement dans les ballons D2 et D4. Dans le ballon D2, les purges HP sont détendues à une pression 3,5 bars. La vapeur produite est envoyée dans le réseau BP les auxiliaires de la centrale. L'eau est maintenue à un niveau constant dans le ballon à l'aide d'un régulateur de niveau agissant sur



une vanne automatique placée sur la vidange. Le ballon est muni d'un dispositif de vidange rapide en cas de niveau haut. L'eau de vidange est évacuée dans le ballon D4. Dans le ballon D4, les purges de vapeur BP ainsi que l'eau du ballon D2 sont détendues à la pression atmosphérique.

La vapeur produite est rejetée à l'atmosphère, l'eau est évacuée dans la bache de retour des eaux condensées D3.

II-8-D/ Bache de retour des eaux condensées D3 :

Cette bache est placée en dessous du niveau du sol et à une capacité de 6m^3 . Elle est équipée d'une pompe verticale du type immergé dont le moteur est enclenché par un dispositif de commande par niveau haut et bas.

L'eau est aspirée au fond de la bache et refoulée vers le dégazeur par la conduite commune des condensats du groupe et de la turbine du compresseur de platforming K201.

La bache est équipée intérieurement d'un déversoir destiné à évacuer à l'égout l'eau de trop plein et éventuellement l'eau huileuse.

II-9/ Distribution de la vapeur [9]:

II-9-A/ Postes de détente :

II-9-A-1/ Poste de détente 35/16 bars : Les turbines installées dans l'unité combinée ainsi que la turbine G306 sont alimentées par de la vapeur MP à 16 bars. On obtient cette vapeur MP à 16 bars, à l'aide d'une détente statique. L'installation comprend une vanne de sectionnement de vapeur HP au dessus du barillet HP, une vanne automatique de détente et un groupe de 2 soupapes de sûreté tarées à 17,6 bars. La vanne de détente est munie des vannes d'isolement et du by-pass nécessaire à son démontage en marche. La pression de départ du poste de détente est maintenue constamment égale à la valeur de consigne par la boucle de régulation PIC 17 sur la supervision des communs des chaudières.

II-9-A-2/ Poste de détente 35/3.5 bars : Le poste de détente comporte un équipement identique à celui du poste de détente 35/16 bars. Il est toute fois équipé de 5 soupapes de sûreté tarées à 4.2 bars. Cette détente ne doit normalement pas débiter, son ouverture ne doit avoir lieu que dans les cas suivants :

Groupe turboalternateur à l'arrêt.

Demande de vapeur BP dépassant les possibilités de groupe

La puissance demandée au réseau SONELGAZ n'étant pas nulle.

Demande d'énergie électrique de l'usine insuffisante. Soutirage groupe à l'arrêt.



II-9-B/ Barillets HP et BP :

II-9-B-1/ Barillet HP: Sur le barillet HP est raccordée 6 conduites disposées de gauche à droite de la façon suivante :

- Conduite 8" : d'arrivée de la chaudière I
- Conduite 8" : d'arrivée de la chaudière 2
- Conduite 8" : d'alimentation de groupe turboalternateur (max : 50000 kg/h).
- Conduite 8" : d'alimentation de la détente 35/3.5 bars.
- Conduite 6" : d'alimentation de la détente 35/16 bars : 20000 kg/h.
- Conduite 4" : d'alimentation des auxiliaires de la centrale.

II-9-B-2/ Barillets BP :

Sur le barillet BP sont également raccordées 6 conduites disposées de gauche à droite de la façon suivante :

- Conduite 8" : d'alimentation du dégazeur de la Centrale ; 11000 kg/h
- Conduite 10" : d'alimentation de l'épurateur (thermo circulatoire) et le retour de turbopompe G306.
- Conduite 12" : d'alimentation en vapeur de chauffage de l'unité, des stockages et de la climatisation TUNZINI : 25000à30000 kg/h.
- Conduite 18" : d'arrivée de la détente 35/3.5.bars.
- Conduite 16" : d'arrivée de soutirage du groupe.
- Conduite 12" : d'arrivée des auxiliaires de la centrale et des différents ballons de détente.

Le ballon à été réhabilité le 22.05.2001 et fabriquer par ALIECO Côte Rouge - H-dey.



II-10/ Produits : Vapeur Surchauffée [9]

II-10-A/ Générateur :

Nombre.....2

Type.....chaudière horizontale "VU " 55.155B

Marque.....STEIN et ROUBAIX-ALSTHOM

Fluide.....Vapeur surchauffée 36 bar eff. +400°C

Timbre.....41,5 bar eff.

Température eau alimentaire entrée chaudière.....140°C

Débit vapeur à la " marche poussée continue " (allure maximale).....47 T/H

Débit vapeur .à la " marche en pointe " (allure en pointe).....52 T/H

Rendement calculé sur P.C I. à l'allure nominale (avec taux de purge de 16%)...88%

Puissance calorifique en fonctionnement au gaz (allure maximale).....39093 KW

Puissance calorifique en fonctionnement au gaz (allure en pointe).....43252KW

Puissance calorifique maximale en fonctionnement au fuel.....38204KW

Pression maximale foyer.....100dapa

Dimensions foyer :

- Longueur.....4235 mm
- Largeur.....4000 mm
- Hauteur.....4500 mm

II-10-B/ Gaz pour allumeur brûleur :

- Nature.....Gaz naturel / gaz de raffinerie
- Pression constante disponible en limite de fourniture.....Mini : 4 bar eff.
Max : 5 bar eff.
- Débit maximum par allumeur.....20 Nm³/h

II-10-C/ Air de combustion :

- Débit à l'allure maximale.....Environ 42000 Nm³/h
- Débit à l'allure en pointe.....Environ 46000 Nm³/h
- Température.....+260°C
- Organe de régulation du débit d'air de combustionInclure situé à l'aspiration du ventilateur

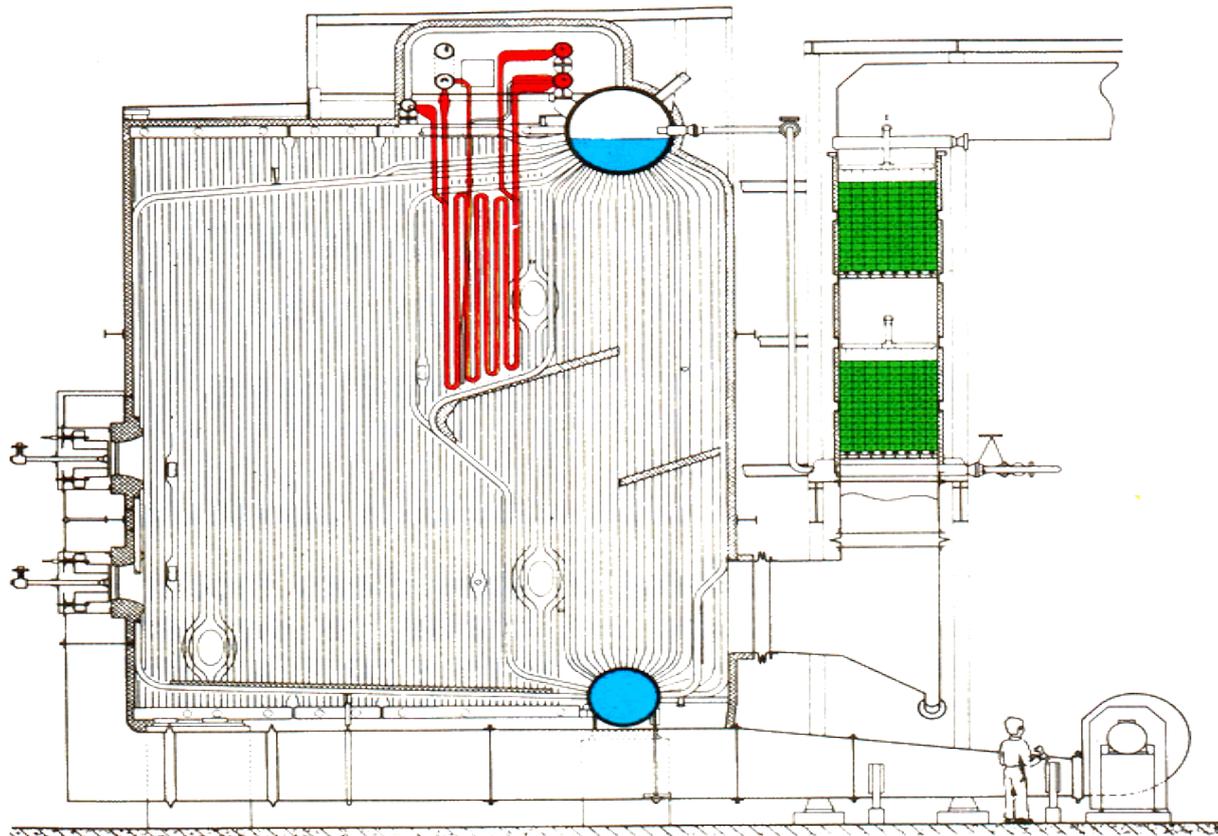


Figure II.4 Schéma indiquant le surchauffeur et le niveau d'eau dans les deux ballons

II-10-D/ Groupe duplex moto ventilateur d'air de balayage :

- Nombre.....2(1 groupe duplex moto ventilateur par chaudière)
- Fonctionnement.....1 ventilateur en service, l'autre en secours
- Débit.....1000 Nm³/h
- Pression statique au refoule0.0735 bar
- Vitesse de rotation.....2900tr/mn
- Température de l'air à l'aspiration.....Ambiante
- Montage.....Accouplement direct
- Puissance installée.....5,5 KW (moteur 2 pôles)
- tension d'alimentation du moteur.....3x380 VGA, 50Hz (couplage : 380/660 VGA)



II-10-E/ Courant électrique :

- Circuit puissance.....380 VGA, 3 phases
- Fréquence.....50Hz
- Circuit commande (électrovannes).....220 VGA monophasé/50Hz
- Circuit contrôle.....24VCC
- Signaux analogiques.....4-20 mA / 2fils

II-10-F/ Installation :

*Site.....Algérie (Raffinerie d'Alger)

*Conditions climatiques particulières.....Néant

*Type.....Extérieur

***Classification**

- Zone relative au brûleur et aux portiques de robinetterie combustible : zone classée ("Zone2") -ATEX Ex II 2G-EEx d IIB T4 minimum
- Zone relative à l'instrumentation chaudière : Zone non classée ("Zone sûre") - Altitude.....Niveau de la mer
- Mode d'exploitation.....Personnel en présence permanente

II-11/ Paramètres de fonctionnement de la chaudière [9]:

Les paramètres de fonctionnement de la chaudière sont les suivants:

Vaporisation

	Normale	40000 kg/h
	Poussée continue	47000 kg/h
	Pointe (1 heure)	52000 kg/h
Timbre		41,5 bars
Pression au ballon		35 bars
Pression sortie surchauffeur		35 bars
Température de la vapeur surchauffée		410 °C.
Température de l'eau d'alimentation		140 °C
Température de l'air sortie réchauffeur d'air		260°C
Eau de chaudière	Résidu solide	2.500 10 ⁻³ g/l
	TAC max.	210 °C
	Silice	25 10 ⁻³ g/l
	Oxygène	0,05 10 ⁻³ g/l



II-12/ Problèmes existants :

La présence simultanée de la phase liquide vapeur modifie le comportement du niveau, donc sa fonction de transfert vis-à-vis :

- Des variations du débit de vapeur sortant qui provoque et qui s'accompagne d'un « PHENOMENE DE GONFLEMENT ».
- Des variations du débit d'eau entrant qui provoque un «PHENOMENE DE TREMPE»

II-12-A/ Phénomène de gonflement : Lors d'une augmentation du débit de vapeur et par suite de la baisse de pression correspondante, une plus grande quantité de bulles de vapeur se forme dans l'eau de la chaudière et le niveau dans le ballon se soulève d'abord.

II-12-B/ Phénomène de trempe : Lors d'un apport supplémentaire d'eau d'alimentation relativement froide, la quantité de vapeur en émulsion dans l'eau de la chaudière diminue par condensation.

Le volume total d'eau subit donc un certain «TASSEMENT » (ou trempe) qui peut entraîner un temps de retard non négligeable, jusqu'à ce que le niveau commence à monter.

II-13/ Précautions :

II-13-A/ Traitement d'eau : Il est impératif de traiter l'eau de chaudière à fin d'éviter le dépôt de tartre à l'intérieur des tubes d'eau, En effet, le tartre provoquerait :

- un mauvais échange thermique.
- un temps de mise en pression-température plus long.
- un risque de surchauffe au niveau de tube foyer.
- une surconsommation de combustible.
- une augmentation de la température des fumées au niveau de la cheminée....

II-13-B/ Purge continue : Les produits de traitement et sels minéraux, arrivant avec l'eau d'alimentation et ne partant pratiquement pas avec la vapeur produite, ont tendance à se concentrer dans le ballon, qu'ils soient en solution ou en suspension. D'où la nécessité de procéder à une purge de déconcentration permanente, grâce à un robinet de dégazage spécial, à très faible débit. Le prélèvement continu se fait à environ 10,0 cm sous le plan d'eau, le dispositif pourra être mis à profit pour réaliser une prise d'échantillon pour analyse, après refroidissement.

Par ailleurs, la vapeur de revalorisation pourra être récupérée et réutilisée.



II-14/ Conclusion

On a vue ensemble dans ce chapitre ce que veut dire une chaudière à vapeur et ces différents types.

Les chaudières à combustibles sont les plus utilisées dans l'industrie a cause de leur rendement élevé (environ 90%) et surtout les chaudières à tubes d'eau et c'est le cas pour notre chaudière

On a défini presque tout les élément de notre chaudière a vapeur, la production de vapeur, les paramètres de fonctionnement et les phénomènes qui se produise lors de ça mise en marche.



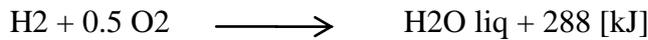
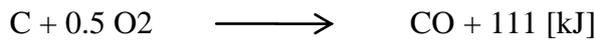
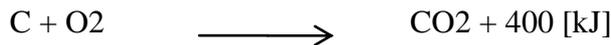
III-1/ Introduction :

On va définir la combustion et les caractéristiques qui influent sur la combustion, en suite on va décrire les différents combustibles utilisés dans l'industrie et ceux utilisés par les deux chaudières à vapeur présentés dans cette étude.

III-2/ Généralités sur la combustion : [10]

Une combustion est une réaction chimique entre un corps (combustible) et un comburant (le plus souvent l'oxygène de l'air, dont l'intérêt principal est d'être exothermique).

Soit quelques réactions de combustion :



Une combustion est complète quand les produits de combustion sont eux-mêmes incombustibles, tels les bioxydes de carbone CO_2 et l'eau H_2O .

La seconde réaction est donc incomplète, puisqu'elle produit de l'oxyde de carbone CO , lui-même combustible.

On remarque la chaleur dégagée par une combustion complète est la même, que cette combustion se fasse « directement » ou « par étapes ».

III-2-A/ Réaction de combustion : [11]

Connaissant la combustion des combustibles, l'excès d'air imposé et le taux de la vapeur de pulvérisation des brûleurs, nous résoudrons l'équation de la réaction afin de déterminer la composition des gaz provenant de la combustion. En effet, il sera utile de connaître cette composition pour :

- Dimensionner le foyer
- Dimensionner les canaux et la cheminée
- Évaluer la quantité de produits agressifs libérée.

Les principales réactions de combustion neutres sont données dans le tableau 05 ci-dessous avec une température de référence 0°C .

Ces réactions permettent de déterminer la qualité d'air nécessaire aux brûleurs ainsi que la composition et la quantité des fumées sèches et humides produites à partir d'un combustible.



Combustibles	Réactions de la combustion	PCI (KJ)	PCS (KJ)
C	$C + O_2 + 4N_2 = CO_2 + 4N_2$	407,968	0
C	$C + \frac{1}{2}O_2 + 2N_2 = CO + 2N_2$	122,892	0
S ₂	$S_2 + 2O_2 + 8N_2 = 2SO_2 + 8N_2$	579,348	0
S ₂	$S_2 + 3O_2 + 12N_2 = 2SO_3 + 12N_2$	767,448	0
H ₂	$H_2 + \frac{1}{2}O_2 + 2N_2 = H_2O + 2N_2$	243,276	288,838
CO	$CO + \frac{1}{2}O_2 + 2N_2 = CO_2 + 2N_2$	285,076	0
CH ₄	$CH_4 + 2O_2 + 8N_2 = CO_2 + 2H_2O + 8N_2$	804,65	895,774
C ₂ H ₄	$C_2H_4 + 3O_2 + 12N_2 = 2CO_2 + 2H_2O + 12N_2$	1336,346	1426,634
C ₂ H ₂	$C_2H_2 + \frac{5}{2}O_2 + 10N_2 = 2CO_2 + 2H_2O + 10N_2$	1274,064	1319,626
C ₂ H ₆	$C_2H_6 + \frac{7}{2}O_2 + 14N_2 = 3CO_2 + 6H_2O + 14N_2$	1424,962	1561,648
C ₃ H ₈	$C_3H_8 + 5O_2 + 20N_2 = 3CO_2 + 4H_2O + 20N_2$	2027,718	2209,966
C ₄ H ₁₀	$C_4H_{10} + \frac{13}{2}O_2 + 26N_2 = 4CO_2 + 5H_2O + 26N_2$	2615,426	2843,236
C ₆ H _{6 gazeux}	$C_6H_6 + \frac{15}{2}O_2 + 30N_2 = 6CO_2 + 3H_2O + 30N_2$	3141,27	3127,476

Tableau III.1 : Principales réactions de la combustion

III-2-B/ Composition théorique des fumées : [10]

La composition théorique des fumées s'exprime en pour-cent volume ou pour-cent poids.

On obtient ces valeurs à partir du nombre de molécule des constituants que l'on détermine à l'aide des équations des réactions.

Soit par les principaux constituants de fumées humides provenant de la combustion de 1Kg de combustible :

Il vient :

$$\text{Poids spécifique fumées} = \frac{\sum P M_i n_i \times 10^{-3}}{\sum 0,0224 n_i \times 10^{-3}} \dots\dots\dots [4]$$

$$\text{Volume spécifique fumées} = 1 / \text{poids spécifique fumées} = \frac{\sum 0,0224 n_i}{\sum P M_i n_i \times 10^{-3}} \dots\dots[4]$$

La connaissance de la teneur des fumées en produits agressifs s'impose aujourd'hui du fait de la réglementation sur la pollution atmosphérique.

Les principaux produits agressifs contenus dans les fumées produites par les combustibles utilisés sont le CO₂ le SO₂ et le NO.

Les valeurs spécifiques de ses constituants sont données en tête du tableau ci-continu.

Produits Agressifs	Poids moléculaire	Nombre de Moles	% Volume	Poids (Kg/ Kg)	Volume (Nm ³ / Kg)
CO ₂	44	n ₁	n ₁ / N	44n ₁ X 10 ⁻³	0.0224 n ₁
SO ₂	64	n ₂	n ₂ / N	64n ₂ X 10 ⁻³	0.0224 n ₂
N ₂	28	n ₃	n ₃ / N	28n ₃ X 10 ⁻³	0.0224 n ₃
O ₂	32	n ₄	n ₄ / N	32n ₄ X 10 ⁻³	0.0224 n ₄
H ₂ O	18	n ₅	n ₅ / N	18n ₅ X 10 ⁻³	0.0224 n ₅
Total		N	100.00	Σ P M _i n _i 10	Σ 0.0224n _i

Tableau III.2 : les produits agressifs contenus dans les fumées

III-2-C/ Pouvoir calorifique : [7]

Le pouvoir calorifique ou chaleur de combustion (noté ΔH° , en anglais Heating Value) d'un matériau combustible est l'enthalpie de réaction de combustion par unité de masse. C'est l'énergie dégagée sous forme de chaleur par la réaction de combustion par l'oxygène (autrement dit la quantité de chaleur). Le plus souvent, on considère un

Hydrocarbure réagissant avec l'oxygène de l'air pour donner du dioxyde de carbone de l'eau et de la chaleur.

Elle est exprimée en général en kilojoule par kilogramme (noté KJ/Kg) .Mais on rencontre également le pouvoir calorifique molaire en kilojoule par mole, (KJ/ mol) ou le pouvoir calorifique volumique en kilojoule par litre, (KJ/l). Pour le gaz naturel, il est exprimé en kilowattheure par normaux mètres cubes (Noté KWh/ Nm³).

Il existe 2 types de pouvoir calorifique :

Pouvoir calorifique supérieur (PCS) : C'est l'énergie thermique libérée par la réaction de combustion d'un kilogramme de combustible. Cette énergie comprend la chaleur sensible, mais aussi la chaleur latente de vaporisation de l'eau, généralement produite par la combustion. Cette énergie peut être entièrement récupérée si la vapeur d'eau émise est condensée, c'est-à-dire si toute l'eau vaporisée se retrouve finalement sous forme liquide.

Pouvoir calorifique inférieur(PCI) : C'est l'énergie thermique libérée par la réaction de combustion d'un kilogramme de combustible sous forme de chaleur sensible, à l'exclusion de l'énergie de vaporisation (chaleur latente) de l'eau présente en fin de réaction.

Par extension, il est possible de parler de PCS pour tout matériaux pouvant libérer de l'énergie sous forme de chaleur, même si la réaction libérant cette énergie n'est pas une réaction de combustion, en particulier, pour les matières radioactives utilisées pour la production de chaleur (on parle aussi, par extension, de combustible nucléaire). Dans ce cas, PCI et PCS désignent respectivement l'énergie thermique théoriquement récupérable avec des techniques classiques (chaudière simple, réaction de fusion de l'uranium enrichi) et avec des techniques avancées (chaudière à condensation, réaction de fusion par neutrons rapide (surgénération).



III-2-D/ Pouvoir calorifique d'un mélange : [10]

Soit par exemple, un gaz contenant :

14% de CO₂ 10% de CO 30% de H₂ 40% de CH₄ 6% de N₂

Son pouvoir calorifique supérieur sera égale à

$$3066 * 0.10 + 3071 * 0.30 + 9490 * 0.40 = 5024 \text{ kcal/m}^3$$

III-2-E/ Pouvoir comburivore d'un combustible : [10]

C'est le volume d'air V_a nécessaire et Suffisant, exprimé en m^3 , pour assurer la combustion complète Del 'unité de quantité de combustible. Il s'exprime en m^3/kg ou en m^3/m^3 .

•On peut admettre en première approximation que l'air se compose, en volume, de 21% d'oxygène et de 79% d'azote.

Cherchons le pouvoir comburivore de l'hydrogène : pour brûler $1m^3$ de H₂, Il faut $0,5 m^3$ d'O₂, soit

$$\frac{0.5 * 100}{21} = 2.38 \text{ m}^3 \text{ d'air}$$

Le pouvoir comburivore de l'hydrogène est $2,38 m^3/m^3$

Ce volume d'air est la quantité minimale d'air nécessaire et une combustion qui se fait dans de telles conditions est dite "neutre". •

Toute combustion réelle exige un excès d'air, mais les combustibles gazeux sont moins exigeants sur ce point que les charbons ou le mazout, car le mélange air-gaz se fait plus rapidement, et d'une manière plus homogène, que le mélange air-liquide (même vaporisé) ou air-solide. Cet excès d'air. Absorbe une partie de la chaleur dégagée, ce qui n'est pas un mal, car les chambres de combustion ne s'erraient pas toujours capables de supporter sans dommages les hautes températures dégagées par certains combustibles riches (gaz naturel, par exemple).



III-3/ Introduction sur les combustibles : [10]

Les corps simples combustibles, mis en présence d'oxygène, produisent une combustion, réaction fortement exothermique. Ces corps simples sont essentiellement, nous « combustibles » pratiquement utilisés sont des composés, renferment carbone et hydrogène en doses variables, mélangés à beaucoup d'autres éléments.

III-3-A/ Combustibles solides :

C'est fondamentalement le bois, soit sous sa forme actuelle, soit sous forme fossile ou il devient charbon.

Aux époques géologiques reculées, les végétaux tombés dans les marais ou recouverts par des glissements de terrain furent ainsi mis à l'abri de l'air. Ils subirent ensuite l'action combinée des hautes températures et des fortes pressions et de certains processus biochimiques amenant une lente transformation appelée « carbonisation ». Plus le combustible est ancien, plus sa teneur en carbone augmente tandis que diminue sa teneur en hydrogène et oxygène.

III-3-B/ Combustibles liquides :

L'origine du pétrole est analogue à celle du charbon :

Des débris d'organismes vivants tombés au fond d'une lagune et mis ainsi à l'abri d'une décomposition rapide par les agents atmosphériques. Seulement, les charbons ont pour origine des débris végétaux, alors que les débris animaux, soumis à l'action chimique des bactéries anaérobies ainsi qu'aux fortes pressions des terrains qui les couvrent, donnent naissance aux hydrocarbures liquides (pétrole) et gazeux (méthane).

Il peut arriver que ce pétrole reste enfermé au fond de ce qui fut sa lagune natale, (*roche mère*). Mais si l'entourage n'est pas totalement imperméable.

III-3-C/ Combustibles gazeux :

III-3-C-1/ gaz naturelle :

Le gaz naturel est un mélange d'hydrocarbures légers dans lequel le méthane CH_4 prédomine. Il peut également contenir de l'eau, de l'azote (le gaz Groningue, aux Pays-Bas, en contient 14%), du bioxyde de carbone CO_2 , de l'hydrogène sulfuré H_2S (ce fut le cas à Lacq où le soufre rendit, au début, son exploitation difficile avant de devenir une source de profit). Certains gisements des Etats-Unis sont



riches en hélium. Un gaz est dit « humide » s’il contient des hydrocarbures se liquéfiant à la température ambiante, sous la pression atmosphérique ; si non, il est dit « sec ».

L’origine du gaz naturel est identique à celle du pétrole lente fossilisations de produits organique. Aussi trouve-t-on souvent, dans un même gisement, gaz et pétrole associé.

L’utilisation du gaz naturel est plus récente que celle du pétrole, car il est plus difficile à stocker et à transporter; aussi le gaz jaillissent des premiers puits de pétrole fut tout simplement brulé à la torche, comme il l’est d’ailleurs encre dans certains pays riche en gisement.

III-3-C-2/ gaz fabriques à partir de la houille :

Le seul gaz naturel est le méthane. A partir de combustibles solides ou liquide, on peut fabriquer des gaz combustibles, c’est-à dire contenant les corps combustibles : hydrogène H2, oxygène de carbone CO, hydrocarbure CmHn, mêlés à des inertes : azote, bioxyde de carbone, etc.

Il y a plusieurs gaz fabriques à partir de la houille (gaz de houille, gaz à l’air, gaz à l’eau, gaz à l’eau carburé, gaz intégral).

III-3-C-3/ fabrication directe de gaz à partir du charbon :

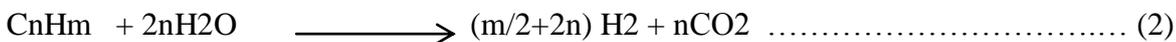
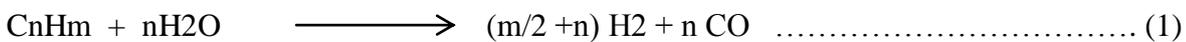
On supprime la fabrication intermédiaire du coke. Le charbon lui-même, pulvérisé et préchauffé à 400°, Est soumis à l’action d’un jet de vapeur et d’hydrogène. On obtient un gaz de haut pouvoir calorifique qui, après adjonction de méthane, est substituable au gaz naturel.

Il existe un coke résiduel qui, gazéifié sous pression par la vapeur, fournit l’hydrogène nécessaire.

III-3-C-4/ gaz fabrique d’origine pétrolière :

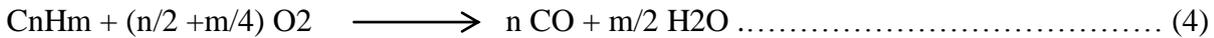
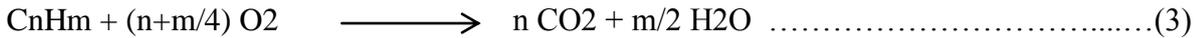
Il y a en premier lieu les gaz produit par la distillation (sous pression atmosphérique, puis sous vide) du pétrole. Ces produits sont rarement utilisés tels quels.

Reformage des produits pétroliers consiste en une oxydation par la vapeur d’eau et l’air. Cette oxydation se traduit par les réactions endothermiques :





Et par les réactions exothermiques:



III-3-C-5/ gaz de pétrole liquéfié (G.P.L) :

LE propane C3H8 et le butane C4H10 sont des hydrocarbures que l'on trouve

- dans les produits de distillation du pétrole brut,
-dans les produits de reformage du d'hydrocarbures plus lourds,
-dans les produits issus de la purification du gaz naturel,

Leur grand intérêt provient de leur pouvoir calorifique élevé mais surtout de leur haut point d'ébullition qui est, sous pression atmosphérique,

III-3-C-6/ mélange de gaz :

Ces mélangés sont en nombre illimité. Suivant les besoins du moment, on enrichit un gaz pétrolier par l'adjonction de méthane, on appauvrit un gaz de houille par adjonction de gaz à l'air, etc.

Cependant, trios mélanges sont à retenir pour l'importance de leur utilisation :

_l'air propre (1ere famille) 24% de propane 73% d'air densité =1.14

P C S = 27209 [kJ/Nm³]

_l'air propane (2em famille) 50% de propane 44% d'air densité =1.3

P C S = 56611 [kJ/Nm³]

_L'air butané (1ere famille) 14% de butane 79% d'air densité =1.2

P C S = 26372 [kJ/Nm³]

III-3-D/ Combustibles utilisé : [9]**III-3-D-1/ Combustible Gazeux Gaz naturel :**

H2	0,19
N2	5,82
CO2	0,21
CH4	83,50
C2H6	6,90
C3H8	2,10
iC4H10	0,35
nC4H10	0,53
iC5H12	0,11
nC5H12	0,12
C6H14	0,17
Masse volumique	0.850 kg/Nm ³
Pression disponible	Mini : 3.6 bar eff ; Maxi : 5.5 bar eff
Débit à l'allure maximale	3693Nm ³ /h
Débit à l'allure en pointe	4085 Nm ³ /h
Pression au brûleur à l'allure en pointe	environ 2,2 bar eff.
Température	+15°C <T<+26°C

Tables III.3 : propriétés de combustible gaz naturel

III-3-D-2/ Gaz de raffinerie :

H2	29,771
CH4	19,598
C2H6	32,495
C3H8	17,090
C4H10	1,046
Masse volumique	0,981 kg/Nm ³
Pression disponible	Mini : 3.6 bar eff ; Maxi : 5.5 bar eff.
Débit à l'allure maximale	2905 Nm ³ /h
Débit à l'allure en pointe	3214 Nm ³ /h
Pression au brûleur à l'allure en pointe	environ 1,8 bar eff.
Température	+30°C < T < +40°C

Tables III.4 : propriétés de combustible gaz process
III-3-D-3/ Combustible liquide :

Nature	Mélange distillat/fuel oil ("Gasoil lourd")
P.C.I	41017,9kj/kg
Masse volumique à +15°C	Comprise entre 864 et 894 kg/m ³
Pression constante disponible	10 bar eff À l'entrée du portique principal de comptage / régulation fuel
Débit maximum	3353 kg/h
Pression maximum au brûleur	Environ 9 bar eff.
Température	A ajusté pour obtenir une viscosité < 17 cSt (maxi+80°C)

Tables III.5 : propriétés de combustible fuel oil



III-4/ Conclusion :

On a vue ensemble ce que veut dire une combustion et les différents combustibles utilisés dans l'industrie
Avec une présentation des combustibles utilisés dans nos deux chaudières a vapeur.

IV-1/ Introduction :

On va poser dans ce chapitre le problème avec les différentes causes qui influent sur le bon déroulement de notre combustion, on fera aussi une comparaison entre les résultats obtenus pratiquement avec ceux proposés par le constructeur et on terminera avec le calcul du rendement actuel et le comparera avec celui du design.

IV-2/ Problématique :

La notion de rendement d'une chaudière apparaît par le fait que le débit de chaleur libérée aux brûleurs par la combustion n'est pas intégralement transmise au fluide, d'où un rendement faible et une mauvaise combustion.

- Les pertes de chaleur par les parois de la chaudière.
- La haute température de sortie des fumées.
- Mauvais contrôle de la combustion

La combustion joue un grand rôle pour l'amélioration du rendement.

Si on a une bonne combustion on aura une flamme stable.

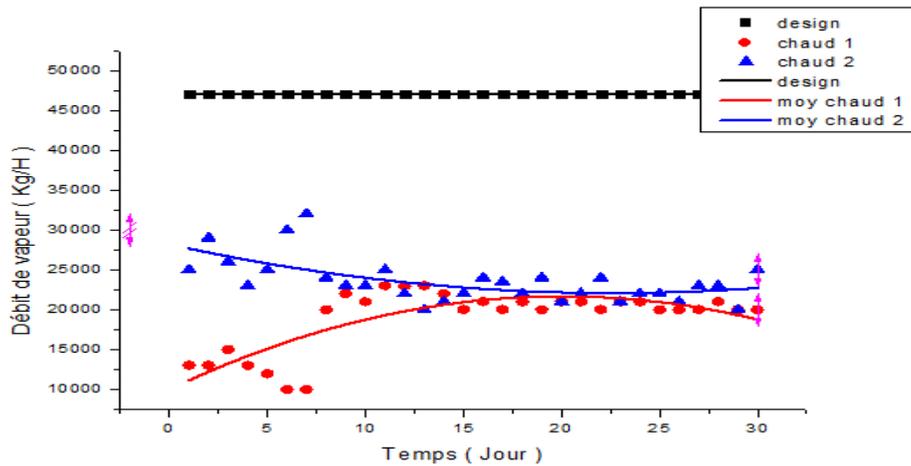
La non stabilité de la flamme provoque une détérioration des tubes d'eau.

Une mauvaise flamme implique une faible quantité de chaleur libérée par la combustion.

Dans ce cadre, le personnel de la raffinerie d'Alger nous a proposé de faire une étude sur la combustion et l'amélioration du rendement de leurs deux chaudières à vapeur

IV-3/ Les causes probables d'une mauvaise combustion :

Le suivi de la production de vapeur d'eau des deux chaudières est donné sur les figures (IV.1 et IV.2)

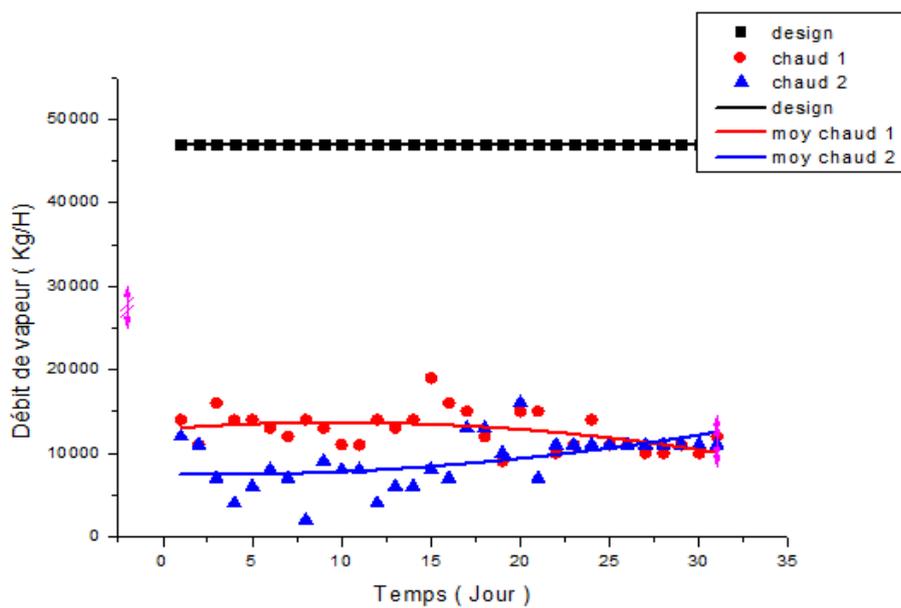


$$\text{Design : } y = 47000 - (3.004 \cdot 10^{-12}) \cdot x^1 + (8.03 \cdot 10^{-14}) \cdot x^2$$

$$\text{Chaudière 1 : } y = (10002.9) + (1166.5 \cdot x^1) - (29.13 \cdot x^2)$$

$$\text{Chaudière 2 : } y = (28197.7) - (538.87 \cdot x^1) + (11.86 \cdot x^2)$$

Figure IV.1 : le suivi de la production pendant le (mois de septembre 2011)



$$\text{Design : } y = 47000 + (4.29 \cdot 10^{-12}) \cdot x^1 - (1.11 \cdot 10^{-13}) \cdot x^2$$

$$\text{Chaudière 1 : } y = (12911.9) + (158.42 \cdot x^1) - (8.05 \cdot x^2)$$

$$\text{Chaudière 2 : } y = (7472.74) - (28.03 \cdot x^1) + (6.16 \cdot x^2)$$

Figure IV.2 : le suivi de la production pendant (mois de mai 2012)

Interprétation :

On remarque que le régime donné aux chaudières par le personnel de la central électrique est (en moyenne 12000 Kg/H) inférieur au celle proposée par le constructeur (47000 Kg/H), pendant notre stage pratique on a constaté que lorsque on augmente la charge la flamme atteint les tubes d'eau conséquence léchage de ces derniers et apparence des fuites d'eau



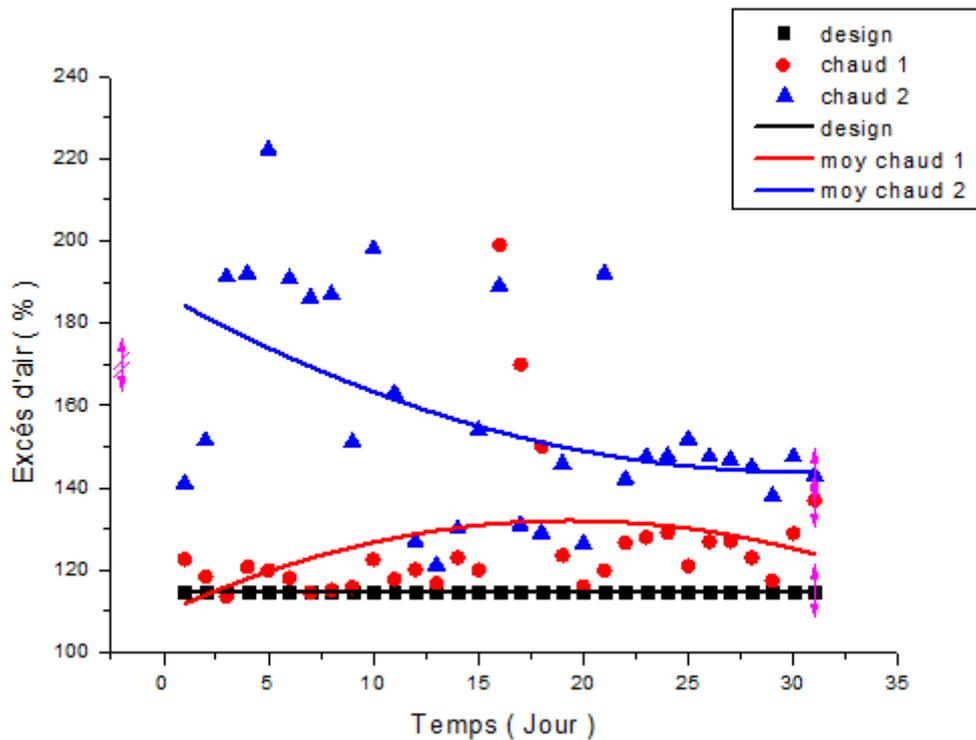
Figure IV.3 : Des trous d'eau sur les écrans de face qui sont soudé

La qualité et la stabilité de la flamme nécessitent la présence des facteurs suivants :

- a- l'air de combustion
- b- Le combustible
- c- Les bruleurs

IV-3-A/ L'air de combustion :

IV-3-A-1/ Excès d'air :



$$\text{Design : } y = (-4.78 \cdot 10^{-16}) \cdot x^1$$

$$\text{Chaudière 1 : } y = (178.02) - (2.83 \cdot x^1) + (0.04 \cdot x^2)$$

$$\text{Chaudière 2 : } y = (109.52) + (2.32 \cdot x^1) - (0.06 \cdot x^2)$$

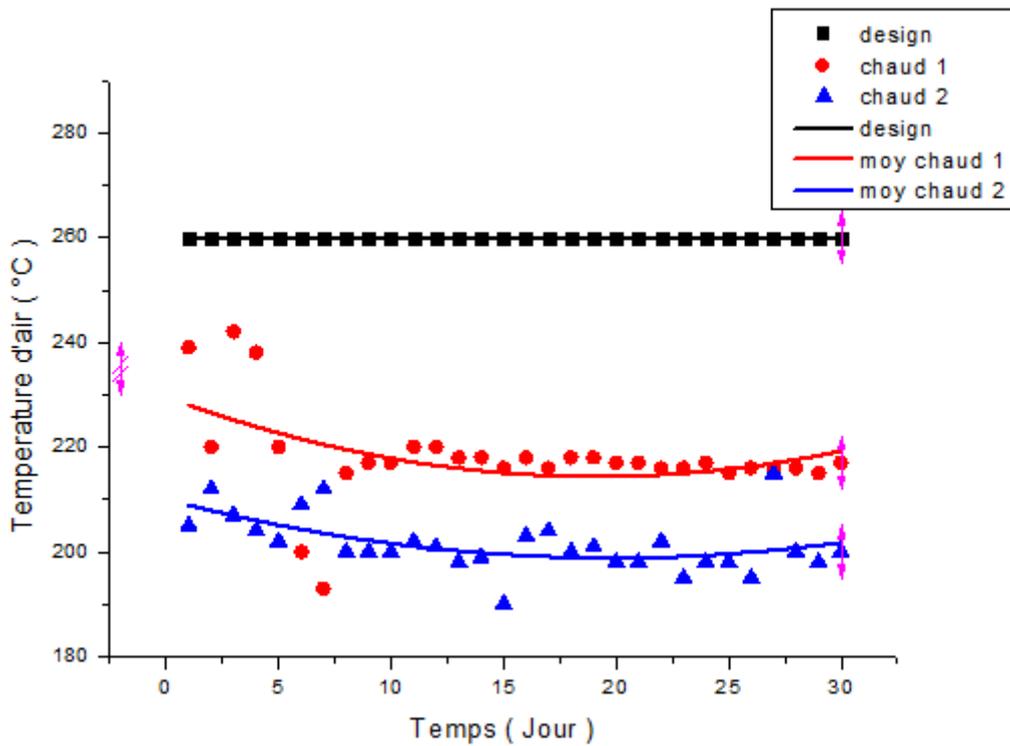
Figure IV.4 : suivi des excès d'air de la combustion dans les deux chaudières

Pour avoir une combustion théorique complète il nous faut un excès d'air égal à 1 mais en pratique en travail toujours avec un intervalle de sécurité de 15 à 25 % en cas de manque d'oxygène dans l'air

Comme le montre la figure IV.4 que l'excès d'air est supérieur à la valeur idéal de (15%). ce important excès d'air est due a un problème au niveau du ventilateur de soufflage.

Le ventilateur de soufflage qui travail avec ces deux chaudières ne se règle pas manuellement, en cas d'arrêt les ventailles sont fermé lors du fonctionnement ils sont ouvert a 100% on appelle ça des ventailles tutorial elles ne peuvent pas régler le débit d'air exacte donnée par le système de régulation.

IV-3-A-2/ Préchauffage d'air :

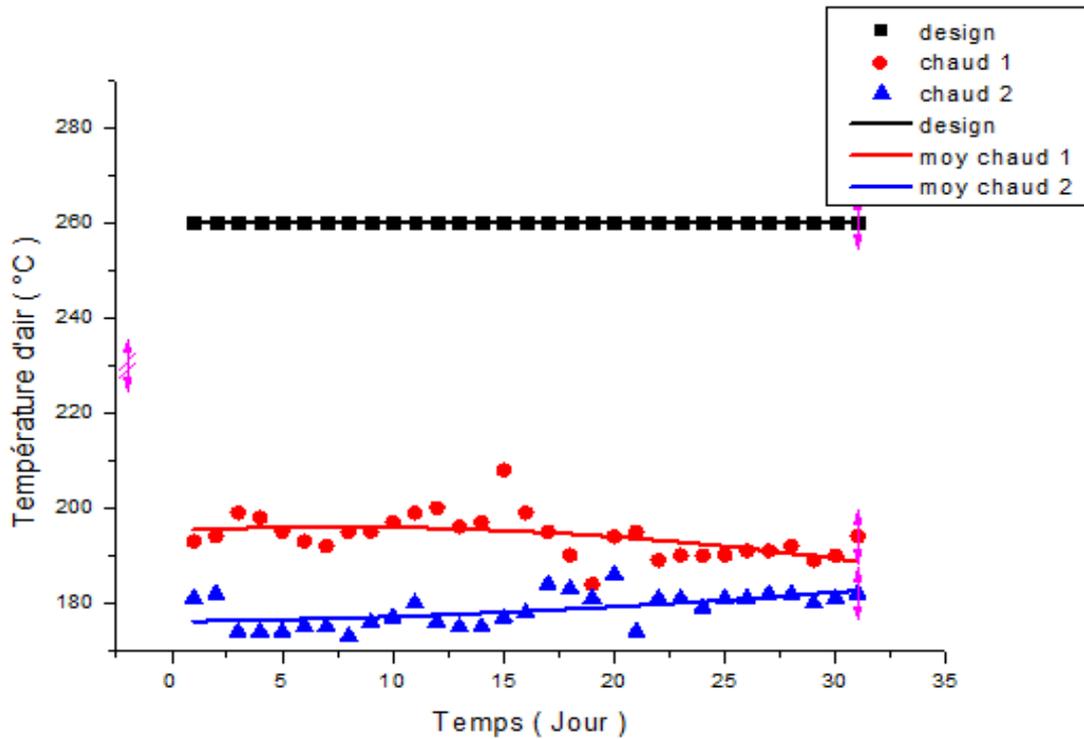


$$\text{Design : } y = 260 + (8.3 \cdot 10^{-15}) \cdot x^1$$

$$\text{Chaudière 1 : } y = (229.58) - (1.58 \cdot x^1) + (0.04 \cdot x^2)$$

$$\text{Chaudière 2 : } y = (210.05) - (1.12 \cdot x^1) + (0.02 \cdot x^2)$$

Figure IV.5 : suivi de la température d'air sorti réchauffeur (mois de septembre 2011)



$$\text{Design : } y = 260 + (4.47 \cdot 10^{-14}) \cdot x^1 + (1.16 \cdot 10^{-15}) \cdot x^2$$

$$\text{Chaudière 1 : } y = (195) + (0.19 \cdot x^1) - (0.01 \cdot x^2)$$

$$\text{Chaudière 2 : } y = (176.11) + (0.05 \cdot x^1) - (0.004 \cdot x^2)$$

Figure IV.6 : suivi de la température d'air sorti réchauffeur (mois de mai 2012)

Comme la montre les figures IV.5 et IV.6, on constate que la température sortie réchauffeur (en moyenne 180°C) est inférieure à celle de design 260°C.

IV-3-B/ Le combustible :

Dans notre chaudière on peut utiliser deux sortes de combustible :

- Le combustible gazeux (mélange de gaz de raffinerie et de gaz naturel) est prioritaire.
- le fuel-oil (gasoil lourd)

On classifie les combustibles selon leurs natures (gazeux, solides ou liquides), composition chimique et leurs pouvoirs calorifique inférieur et supérieur (PCI et PCS).

IV-3-B-1/ Gaz (HRM & Gaz Process):

Ce combustible gazeux est prioritaire mais lors de notre études on obtenue ces résultat :

- Saison hivernal on a un gaz faible en butane mais en été le contraire un gaz riche en propane
- Des fois on a un combustible gazeux riche en hydrogène et des fois faible en hydrogène
- Dans notre études on travail avec un combustibles gazeux d'un PCI environ 46118.51 kJ/Nm^3 inferieur au celle de design 48450.1 kJ/Nm^3

IV-3-B-1/ Fuel-oil (distillat):

Le fuel-oil interne est en secours, Maintenant pour ce cas on connaît juste le PCI demandé par le constructeur ($41017,9 \text{ kJ/kg}$) mais lors de notre études on a cherché ça composition et son PCI mais on a rien trouvé parce que le laboratoire na pas les moyens nécessaires pour décrire les propriétés chimiques et physiques du fuel-oil.

IV-3-C/ Les Bruleurs :

Les bruleurs c'est eux qui font le mélange carburant/comburant si le mélange est mal fait on aura un problème lors de la combustion ce qui implique une mauvaise flamme.

Ces nouveau bruleurs marche qu'avec les instruments automatique par exemple si on voie que notre flamme n'est po stable on ne peut pas régler le débit d'air ou du combustible manuellement tout est programmé automatiquement.

On terme longueur on voie bien sur la photo que les nouveau bruleurs sont avancées par rapport a la façade intérieure du foyer ce qui donne un avance a la flamme.



Figure IV.7 : position des bruleurs

Tous ces paramètres influent sur la combustion des deux chaudières à vapeur.

Dans cette étude, on va procéder au calcul du rendement actuel des deux chaudières à vapeur et le comparer à celui de design et voir ensuite les solutions possibles pour améliorer le rendement afin d'avoir une bonne combustion.

IV-4/ Calcul du rendement des deux chaudières :

IV-4-A/ Vérification du rendement des chaudières cas de design : [8]

IV-4-A-1/ Données du design :

-Température d'entrée de l'eau d'alimentation : $T_{ea} = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$

-Température de la vapeur à la sortie : $T_{vs} = 400 \text{ }^{\circ}\text{C}$

-pression de l'eau d'alimentation : $P_{ea} = 3.5 \text{ bars}$

-pression de vapeur à la sortie : $P_{vs} = 36 \text{ bars}$

-débit de la vapeur à la sortie : $M_{vs} = 47000 \text{ kg/h}$

IV-4-A-2/ Quantité de chaleur absorbée par la charge Q_{ab} :

$$Q_{ab} = M_{vs} * (H_{vs} - H_{ea})$$

Détermination de l'Enthalpie de la vapeur à la sortie :

1. Température de la vapeur à la sortie : 400 °C
2. Pression de vapeur à la sortie : 36 bars

D'après l'utilisation des tables $H_{vs} = 3219.6$ [kJ/kg k]

Détermination de l'Enthalpie de l'eau :

1. Température à l'entrée de la chaudière : 140 °C
2. Pression a l'entrée de la chaudière : 3.5 bar

D'après l'utilisation des tables : $H_{ea} = 588.9$ [kJ/kg k]

D'après ces calculs, on trouve que la chaleur absorbée dans la chaudière est :

$$Q_{ab} = 47000 * (3219.6 - 588.9)$$

$$Q_{ab} = 123642900 \text{ [kJ/h]}$$

IV-4-A-3/ Quantité de chaleur fournie par le combustible Q_{lib} :

$$Q_{lib} = PCI \times M_v$$

M_v : Le débit volumique de gaz Hassi R'mel

PCI : pouvoir calorifique du gaz Hassi R'mel

$$M_v = 3693 \text{ [Nm}^3\text{/h]}$$

$$PCI = 38112.7 \text{ [kJ/Nm}^3\text{]}$$

$$Q_{lib} = 38112.7 * 3693$$

$$Q_{lib} = 140750201 \text{ [kJ/h]}$$

IV-4-A-4/ Calcul du rendement :

$$\begin{aligned}\eta_d &= (Q_{ab} / Q_f) * 100 \\ &= (123642900 / 140750201) * 100 \\ \eta_d &= 87.85 \%\end{aligned}$$

D'après les calculs avec les paramètres donnés par le constructeur le rendement de la chaudière correspond à 88 % (rendement design)

IV-4-B/ Bilan en fuel gaz (gaz process + gaz Hassi R'mel) : [7]**IV-4-B-1/ Composition du fuel gaz :**

La composition du gaz combustible est donnée par l'analyse chromatographique.

Les pourcentages molaires ou volumiques sont les suivantes :

composition	% volumique molaire
CH ₄	17
C ₂ H ₆	20.76
H ₂	40
C ₃ H ₈	17.56
iC ₄ H ₁₀	1.80
nC ₄ H ₁₀	2.40
iC ₅ H ₁₂	0.30
nC ₅ H ₁₂	0.18

Tableau IV.1 : analyse chromatographique de fuel gaz

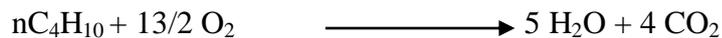
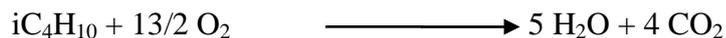
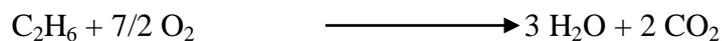
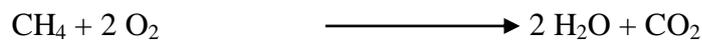
IV-4-B-2/ Calcul le pouvoir calorifique du combustible utilisé :

Le pouvoir calorifique de chaque composant qui entre dans la chaudière est donné dans le tableau suivant:

Composants	% Volumique	PCI (kJ/Nm ³)
H ₂	40.00	5099.9845
CH ₄	17.00	6072.51757
C ₂ H ₆	20.76	13288.4348
C ₃ H ₈	17.56	15989.8501
iC ₄ H ₁₀	1.80	2125.8911
nC ₄ H ₁₀	2.40	2843.1599
iC ₅ H ₁₂	0.3	436.25238
nC ₅ H ₁₂	0.18	262.4220
TOTAL	100.00	46118.5126

Tableau IV.2 : PCI de fuel-gaz

Les réactions chimiques de la combustion de ces composés sont les suivantes :



Ces réactions permettent de déterminer la quantité d'O₂ nécessaire pour la combustion, ainsi que la composition des fumées.

IV-4-B-3/ Calcul des volumes de H₂O, O₂, CO₂, pour la combustion de 100 Nm³ du gaz combustible :

-Détermination du rapport stœchiométrique (HC /volume d'air) :

Les valeurs de ces volumes sont données dans le tableau suivant :

Composition du gaz	% volumique	Quantité O ₂	Quantité CO ₂	Quantité H ₂ O
CH ₄	17	34	17	34
C ₂ H ₆	20.76	72.66	41.52	62.28
H ₂	40	20	-	40
C ₃ H ₈	17.56	87.8	52.68	70.24
IC ₄ H ₁₀	1.80	11.7	7.2	9
NC ₄ H ₁₀	2.40	15.6	9.6	12
IC ₅ H ₁₂	0.30	2.40	1.50	1.80
NC ₅ H ₁₂	0.18	1.44	0.9	1.08
TOTAL	100	245.60	130.4	230.4

Tableau IV.3 : composition des fumées

-Détermination du volume d'air nécessaire à la combustion (Pouvoir Comburivoire) :

D'après les réactions de combustion la quantité d'oxygène nécessaire à la combustion de 100Nm³ du fuel gaz est de : $O_{thé} = 245.60 \text{ Nm}^3$

Donc: $V_{O_{2th}} = 245.60 / 100$

$V_{O_{2th}} = 2, 456 \text{ Nm}^3 \text{ d'O}_2 / \text{Nm}^3 \text{ de gaz}$

Comme l'air atmosphérique contient 21% d'oxygène et 79% d'azote donc le rapport :

$N_2/O_2 = 79/21 = 3.762$

Donc : $V_{air} = V_{O_{2th}} + 3.762 V_{O_{2th}}$

$V_{air} = 2, 4560 + 3.762 * 2, 4560$

$V_{air th} = 11,69547 \text{ Nm}^3 \text{ d'air} / \text{Nm}^3 \text{ de gaz}$



Dans la pratique, la quantité d'air que nous utilisons est supérieure à celle de la combustion à stœchiométrie

On appelle α le coefficient d'excès d'air

$$\alpha = V_{\text{air Pra}} / V_{\text{air th}}$$

$$V_{\text{air Pra}} = \alpha * V_{\text{air théo}}$$

$$V_{\text{air Pra}} = \alpha * 11,69547$$

En prend un excès d'air de 1.15 comme exemple de calcul qui est mesuré le 08-05-2012 chaudière 1

Volume de fuel gaz $V_{\text{fg}} = 1027 \text{ Nm}^3$ de gaz

Volume d'air théorique $V_{\text{air th}} = 12011.247 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$ de gaz

Volume d'air pratique $V_{\text{air Pra}} = 13824 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$ de gaz

$$\alpha = 13824/12011.247 = 1.15$$

$$\alpha = 1.15$$

-Détermination des volumes des produits de la combustion (Pouvoir fumigène) :

Les produits formés de la combustion sont : CO_2 , H_2O et l'azote de l'air

Volume de CO_2 formé par la combustion :

$$V(\text{CO}_2) = 130.4 \text{ Nm}^3$$

$$\text{D'où } V_{\text{CO}_2} = 130.4/100$$

$$V_{\text{CO}_2} = 1,304 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ de gaz}$$

Volume de H_2O formé par la combustion :

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 230.4 \text{ Nm}^3$$

$$\text{D'où } V_{\text{H}_2\text{O}} = 230.4/100$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 2.304 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ de gaz}$$



Volume d'azote formé par la combustion :

$$V(N_2) = V_{\text{air théo}} - O_{\text{thé}}$$

$$V(N_2) = 1169.547 - 245.6$$

$$V(N_2) = 923.947 \text{ Nm}^3$$

Volume d'azote dans l'excès d'air α :

$$V(N_2) = \alpha * 923.947$$

Comme dans le gaz combustible on a la Quantité de $N_2 = 0$ donc

$$V_{N_2} = \alpha * 923.947$$

$$D'où $V_{N_2} = \alpha * 923.947 / 100$$$

$$V_{N_2} = 10.6254 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3 \text{ de gaz}$$

Volume d'oxygène dans l'excès d'air α :

$$O_2 (\text{excès}) = O_{\text{réel}} - O_{\text{théo}} = \alpha * O_{\text{théo}} - O_{\text{théo}} = (\alpha - 1) * O_{\text{théo}} = (\alpha - 1) * 245.6$$

$$O_2 (\text{excès}) =$$

$$VO_2 (\text{excès}) = 0.3684 / 100$$

$$VO_2 (\text{excès}) = 0.3684 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3 \text{ de gaz}$$

IV-4-B-4/ Quantité de vapeur d'eau dans l'air de combustion :

La teneur est donnée avec la loi d'Avogadro-Dalton

$$P_{H_2O} / P - P_{H_2O} = N_{H_2O} / N_{\text{Air}}$$

P_{H_2O} : la tension de vapeur d'eau à 20°C qui est de 17.4 mm Hg et l'humidité relative est de 80%

$$P = 760 \text{ mm Hg}$$



N_{H_2O} : la quantité de l'eau contenue dans l'air de la combustion

N_{Air} : la quantité d'air totale nécessaire à la combustion

$$N_{H_2O} = P_{H_2O} \times N_{air} / P - P_{H_2O} = (17.4 * 1461.93 / 760 - 17.4) * 0.8$$

$$N_{H_2O\ air} = 27.4 \text{ Nm}^3$$

$$V_{H_2O\ air} = 0.2740 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3 \text{ de gaz}$$

IV-4-B-5/ Le volume des fumées formé :

$$V_{fum} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2} + V_{H_2O\ air}$$

$$V_{fum} = 1.304 + 2.304 + 10.6245 + 0.3684 + 0.274$$

$$V_{fum} = 14.8749 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3 \text{ de gaz}$$

IV-4-B-6/ Composition des fumées :

$$CO_2 = (130.4 / 1487.49) * 100 = 0.0812 * 100$$

$$CO_2 = 8.77 \%$$

$$H_2O = (257.8 / 1487.49) * 100 = 0.1606 * 100$$

$$H_2O = 17.33 \%$$

$$N_2 = (1062.45 / 1487.49) * 100 = 0.7198 * 100$$

$$N_2 = 71.42 \%$$

$$O_2 = (0.3684 / 1487.49) * 100 = 0.0382 * 100$$

$$O_2 = 2.47 \%$$

Les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous, basé sur la combustion de 100 Nm³ du gaz combustible.

Composants du fuel gas	% Volumique	O ₂ pour la combustion	Composition des fumées				Composants du fuel gas
			CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	
H ₂	40	20	—	40	—	—	H ₂
CH ₄	17	34	17	34	—	—	CH ₄
C ₂ H ₆	20.76	72.66	41.52	62.28	—	—	C ₂ H ₆
C ₃ H ₈	17.56	87.8	52.68	70.24	—	—	C ₃ H ₈
iC ₄ H ₁₀	1.8	11.7	7.20	9.0	—	—	iC ₄ H ₁₀
nC ₄ H ₁₀	2.4	15.6	9.60	12.0	—	—	nC ₄ H ₁₀
iC ₅ H ₁₂	0.3	2.4	1.50	1.80	—	—	iC ₅ H ₁₂
nC ₅ H ₁₂	0.18	1.44	0.90	1.08	—	—	nC ₅ H ₁₂
TOTAL	100%	245.6	—	27.4	36.84	1062.45	Air
			130.4	257.8	36.84	1062.45	Total
O ₂ dans l'excès d'air		36.84					
O ₂ dans l'air de combustion		282.44	8.77	17.33	2.47	71.42	% volumique
N ₂ dans l'air de combustion		1154.93					
Volume d'air de combustion pour 100 Nm ³ de gaz combustible		1437.37	1487.49				Volume total de fumée pour 100Nm ³

Tableau IV.4 : résumé des résultats

IV-4-B-7/ Tracé de l’enthalpie des fumées en fonction de la température : [7]

L’enthalpie des fumées formées par la combustion de 1kg de gaz est calculée par la formule suivante :

$$H_j = G_f \times C_{pj} \times T_j \dots\dots\dots [7]$$

La chaleur spécifique moyenne des fumées est calculée par l’équation suivante :

$$C_{pj} = 0.258 + 4.5 \times 10^{-5} T \dots\dots\dots [7]$$

Avec : $G_f = 21.86$

Les chaleurs spécifiques moyennes des fumées et l’enthalpie pour les différentes températures sont regroupées dans le tableau suivant :

Température °C	C _{pj} (KJ / kg°C)	H _j (KJ / kg gaz)
0	1.0784	0
200	1.1118	4675.8984
400	1.1536	9703.3684
600	1.1913	15029.679
800	1.2289	20672.399
1000	1.2665	26631.5365
1200	1.3041	32907.0834
1400	1.3417	39499.0479
1600	1.3794	46407.43
1800	1.417	53632.2215
2000	1.4546	61173.4305

Tableau IV.5 : chaleur spécifique et l’enthalpie des fumées pour différentes températures

Les données du tableau permettent de tracer l'enthalpie restant dans la fumée en fonction de la température $H = F(T)$

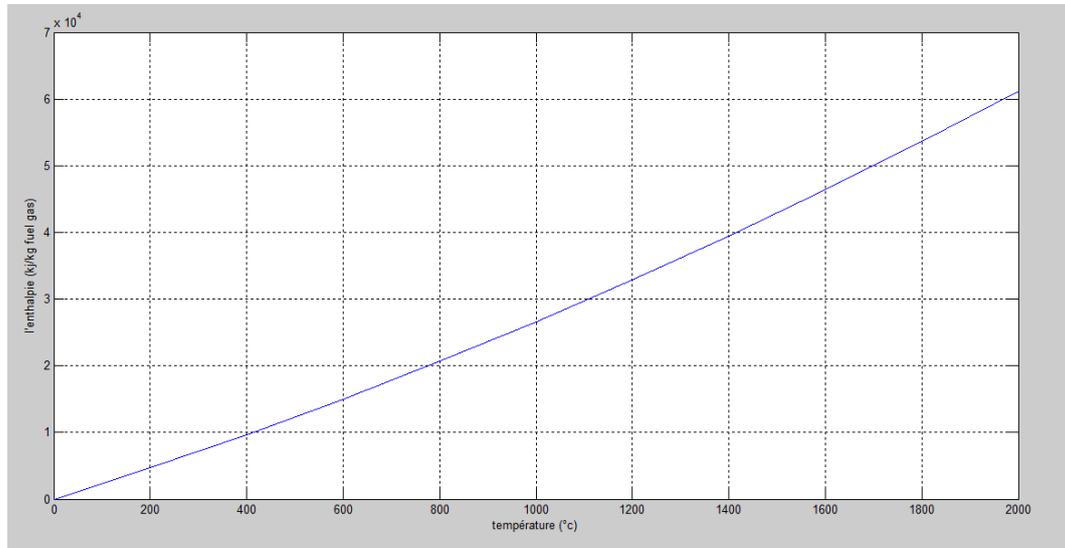


Figure IV.8: tracé de l'enthalpie en fonction de la température

IV-4-C/ Calcul du rendement des chaudières cas actuel : [8]

En calcul le rendement actuel en deux période quand le groupe (GTA) est en marche et en arrêt

IV-4-C-1/ Conditions de marche de la chaudière (GTA) en marche :

Quand le (GTA) en Marche pendant le mois de septembre en utilise deux combustibles fuel gaz et le fuel oil (gasoil lourd)

1. Température de l'eau d'alimentation à l'entrée : 161°C
2. Pression de l'eau d'alimentation : 4.6 bars.
3. Température de la vapeur à la sortie : 383°C
4. Pression de la vapeur à la sortie : 34 bars
5. Débit de la vapeur : 22000 kg/h
6. Débit de fuel oil : 522 Nm³/h
7. Débit de gaz : 1128 Nm³/h



Quantité de chaleur absorbée :

Détermination de l'Enthalpie de la vapeur la sortie :

1. Température à la sortie : 383 °C
2. Pression à la sortie : 34 bars

$$H_{vs} = 3152.76 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Détermination de l'enthalpie de l'eau d'alimentation à l'entrée:

1. Température à la sortie : 161 °C
2. Pression à la sortie : 6.1 bar

$$H_{ca} = 683.9 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Les enthalpies de la vapeur d'eau et de l'eau d'alimentation sont déterminées par les tables en connaissant la température et la pression.

Pour déterminer les quantités de chaleur absorbée on utilise la même méthode de calcul précédente

$$Q_{ab} = 54880716 \text{ kJ/h}$$

Quantité de chaleur fournie par les combustibles Q_{lib} :

$$Q_{lib} = (M_{v fo} \times PCI_{fo}) + (M_{v fg} \times PCI_{fg})$$

PCI_{fo} : pouvoir calorifique de combustible fuel oil = 41017.9 kJ/kg

PCI_{fg} : pouvoir calorifique de combustible fuel gaz = 46118.5126 kJ/Nm³

$M_{v fo}$: débit de combustible fuel oil

$M_{v fg}$: débit de combustible fuel gaz

$$Q_{lib} = (522 * 41017.9) + (1128 * 46118.5126)$$

$$Q_{lib} = 73433023,08 \text{ kJ/h}$$

Rendement η_a

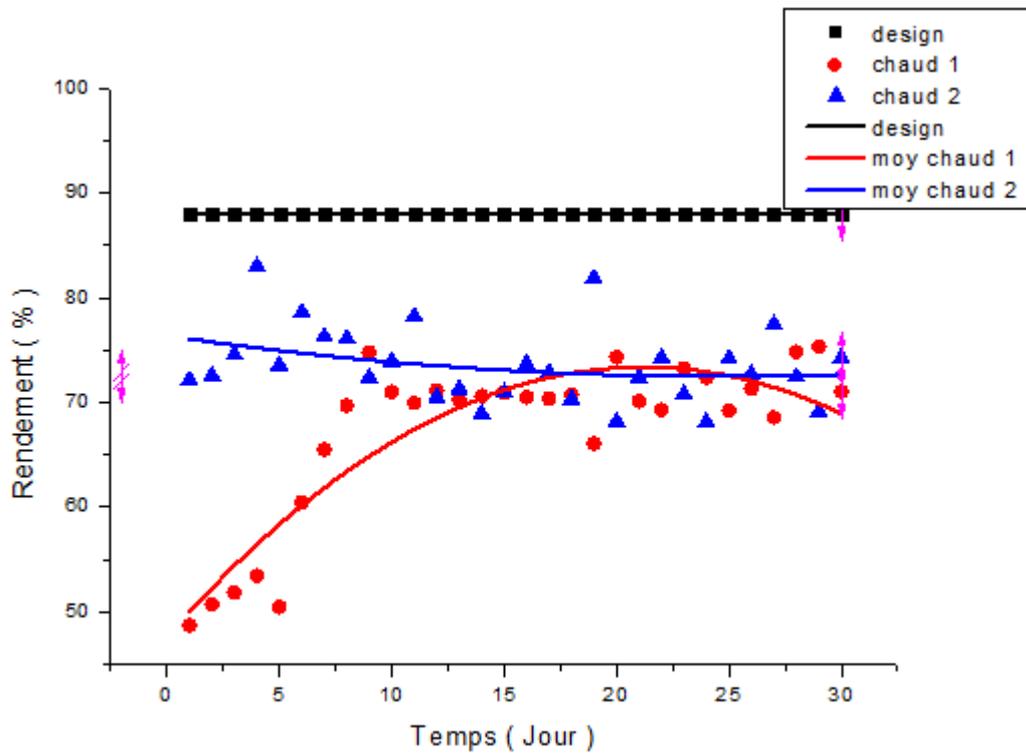
$$\eta_a = (Q_{ab} / Q_{lib}) * 100$$

$$\eta_a = 54880716 / 73433023,08$$

$$\eta_a = 74.73 \%$$

Le rendement de la chaudière **74.73** %, reste faible par rapport au design 88 %.

Le rendement de la chaudière est de 74.73 %, alors les pertes de chaleur sont de l'ordre de 25.27 % de la quantité de chaleur fournie



$$\text{Design : } y = 88 + (1.5 \cdot 10^{-15}) \cdot x^1$$

$$\text{Chaudière 1 : } y = (47.63) + (2.42 \cdot x^1) + (0.05 \cdot x^2)$$

$$\text{Chaudière 2 : } y = (76.35) - (0.31 \cdot x^1) + (0.006 \cdot x^2)$$

Figure IV.9 : calcul du rendement (mois de septembre 2011)

IV-4-C-2/ Calcul du rendement actuel (GTA) en arrêt :

En a utilisée uniquement le fuel gaz

1. Température de l'eau d'alimentation à l'entrée : 157°C
2. Pression de l'eau d'alimentation 5.7 bars.
3. Température de la vapeur à la sortie : 375°C
4. Pression de la vapeur à la sortie : 26 bars
5. Débit de l'eau d'alimentation : 25000 kg/h.
6. Débit de la vapeur à la sortie : 16000 kg/h
7. Débit de gaz : 1241 Nm³/h

Quantité de chaleur absorbée Q_{ab} :**Détermination de l'Enthalpie de la vapeur saturée la sortie :**

1. Température à la sortie : 375 °C
2. Pression à la sortie : 26 bars

$$H_{vs} = 3179,95 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Détermination de l'enthalpie de l'eau d'alimentation à l'entrée:

1. Température à la sortie : 157 °C
2. Pression à la sortie : 5.7 bar

$$H_{ea} = 662.15 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Les enthalpies de la vapeur d'eau et de l'eau d'alimentation sont déterminées par les tables en connaissant la température et la pression.

Pour déterminer les quantités de chaleur absorbée on utilise la même méthode de calcul précédente,

$$Q_{ab} = 40279200 \text{ kJ/h}$$

Quantité de chaleur fournie Q_{lib} :

PCI_{fg} : pouvoir calorifique de combustible fuel gaz = 46118.5126 kJ/Nm³

Pour déterminer les quantités de chaleur fournie on utilise la même méthode de calcul précédente,

$$Q_{lib} = 57233070,91 \text{ kJ/h}$$

Rendement η_a :

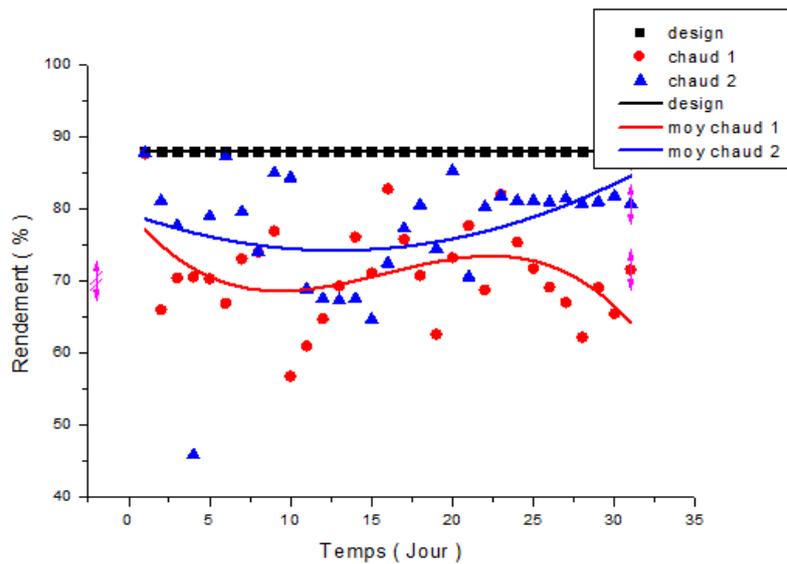
$$\eta_a = (Q_{abs} / Q_{lib}) * 100$$

$$\eta_a = 40279200 / 57233070,91$$

$$\eta_a = 70.37 \%$$

Le rendement de la chaudière **70.37 %**, reste faible par rapport au design 88 %.

Le rendement de la chaudière est de 70.37 %, alors les pertes de chaleur sont de l'ordre de 29.63 % de la quantité de chaleur fournie



$$\text{Design : } y = 88 + (4.78 * 10^{-16}) * x^1$$

$$\text{Chaudière 1 : } y = (79.61) - (2.74 * x^1) + (0.208 * x^2) - (0.004 * x^3)$$

$$\text{Chaudière 2 : } y = (79.36) - (0.807 * x^1) + (0.03 * x^2)$$

Figure IV.10 : calcul du rendement des deux chaudières (mois de mai 2012)



IV-5/ Conclusion :

on a abordé dans ce chapitre notre problème et on a posé les différentes cause qui peuvent nous ramener a lui ensuite on a suivi l'état de marche de nos deux chaudières a vapeur dans le mois de septembre (GTA en marche) et le mois de mai (GTA en arrêt) et a la fin on a procédé au rendements actuel de nos chaudières et celui du design avec la comparaison entre eux.

V-1/ Introduction :

Dans ce chapitre on va interpréter les résultats obtenus au chapitre précédent et on va essayer en même temps de résoudre notre problème en posant des solutions et des suggestions qui peuvent améliorer notre rendement et d'avoir une bonne combustion.

V-2/ Interprétation des résultats :

Le rendement reste faible par rapport au design (88%). Ce faible rendement est dû à la faible charge des brûleurs et aux pertes de chaleur (perte aux fumées et perte aux parois).

Les pertes les plus importantes se situent à la cheminée, dissipées dans l'atmosphère par les fumées qui sortent des chaudières à des températures assez élevées.

L'analyse des fumées a donné un pourcentage d'excès d'air par rapport au pourcentage théorique ce qui veut dire qu'il y a une pénétration d'air parasite à cause du manque d'étanchéité des chaudières, non fiabilité du ventilateur de soufflage et à la faible charge des brûleurs.

Ces pertes dépendent des facteurs suivants :

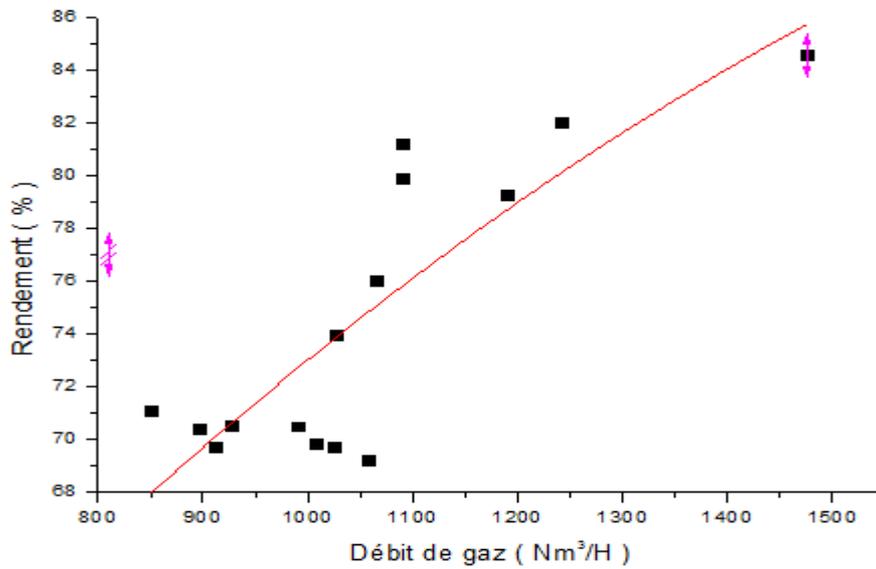
- Des brûleurs bien conçus et en bonne état, aide à avoir une bonne combustion. Dans le cas contraire, une mauvaise combustion provoque une grande perte de combustible.
- L'excès d'air qui est très grand par rapport à la quantité admissible ce qui nous conduit à un réglage délicat des brûleurs, une dégradation du revêtement réfractaire surtout au niveau de la zone de convection et par conséquent une consommation excessive du gaz combustible. Cet air parasite provient du manque d'étanchéité de l'enveloppe métallique.
- Mauvais réglage des chaudières, car la dépression dans ces derniers se fait d'une manière aléatoire ce qui provoque à chaque fois, un excès d'air important dû au tirage naturel de la cheminée.
- Dépôt de coke sur les parois interne des tubes à cause du mauvais traitement d'eau ce qui minimise le transfert de chaleur et provoque la fissure des tubes.
- Mauvais préchauffage d'air, les gaz des fumées sortent à une température élevée mais l'air n'est pas chauffé à la température désirable, ce problème influe directement sur le comportement de la combustion.

- Un combustible avec un PCI faible à celui demandé provoque une faible quantité de chaleur libérée
- Les impuretés qui viennent avec le mélange air/combustible conduit à un bouchage des buses des bruleurs.

V-3/ Solution et suggestions :

V-3-A/ Cas design :

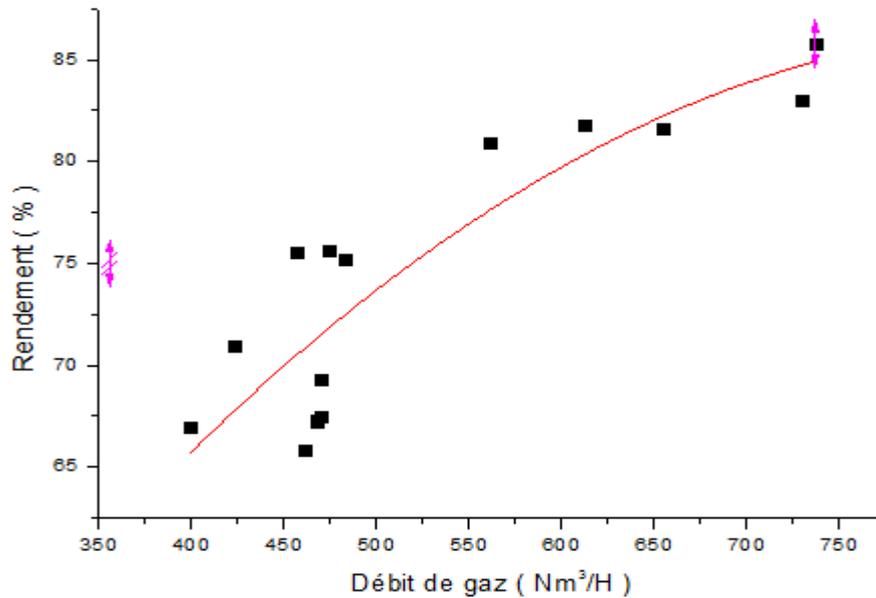
V-3-A-1/ Bruleurs :



Equation : $y = (29.63) + (0.05 * x^1) + (1.129 * 10^{-5} * x^2)$

Figure V.1 : variation du rendement en fonction du débit de combustible

Pour la chaudière 1



$$\text{Equation : } y = (14.96) + (0.165 * x^1) - (9.515 * 10^{-5} * x^2)$$

Figure V.2 : variation du rendement en fonction du débit de combustible pour la chaudière 2

D'après les figures (V.1 et V.2) on constate que lorsque le débit de combustible augmente le rendement augmente aussi ce qui veut dire la variation de ce dernier est proportionnelle à l'augmentation de la charge et de la production.

Si on augmente la charge des brûleurs les flammes touchent les tubes d'eau pour cela le personnel de la salle de contrôle fait fonctionner les brûleurs avec une faible charge pour que les flammes ne détériorent pas les tubes de la chaudière.

On a vu au chapitre précédent qu'on a des brûleurs qui sont surdimensionnés (avancés vers l'avant dans le foyer).

Alors on propose de faire un retrait vers l'arrière des brûleurs ou de les changer avec des brûleurs qui conviennent avec les dimensions de la chaudière et du foyer.



V-3-A-2/ Matériau des tubes :

Le problème crucial qu'on a c'est bien la déformation des tubes d'eau et apparitions des trous.

Les solutions possible pour ce problème est de rénover les deux stations de traitement d'eau et de bien traiter ce dernier en plus il faut faire une étude sur le matériau des tubes.

Le choix du matériau pour les faisceaux des tubes repose sur les critères suivants :

- Résistance à la corrosion par le fluide chauffé.
- Résistance à l'oxydation par les fumées chaudes.
- Résistance mécanique en température :
 - A la pression intérieure du fluide chauffé.
 - Aux contraintes mécaniques dues au poids du faisceau tubulaire et du fluide.

V-3-A-3/ Garnissage des parois des chaudières :

L'enveloppe des chaudières (chambre de combustion, zone de convection, cheminée) est constituée d'un casing métallique revêtue intérieurement d'un garnissage isolant et réfractaire.

Les propriétés requises par un garnissage isolant réfractaire sont variées :

- Conductivité thermique faible.
- Résistance mécanique.
- Bonne résistance aux variations de température.
- Facilité de mise en œuvre.

Ces propriétés sont contradictoires et la sélection d'un matériau pour une application particulière est le résultat d'un compromis. Dans certain cas, c'est un garnissage multicouche qui permettra d'allier les propriétés opposées de plusieurs matériaux.

V-3-A-4/ Ventilateur de soufflage :

Si on a mis en place un système de régulation automatique pour contrôler et réguler les différents paramètres variables on n'a pas changé le ventilateur de l'air de combustion qui est un ancien ventilateur avec des ventailles avec ouverture et fermeture manuel toute ou rien
Alors on propose de changer le présent ventilateur avec un autre plus fiable. Le nouveau ventilateur doit avoir des ventailles qui s'ouvrent et se ferment selon la charge demandé parce

que on sais bien que le volume d'air nécessaire a la combustion change d'une charge a une autre et d'un combustibles a un autre (gaz process ou fuel-oil).

V-3-B/ Cas d'exploitation :

V-3-B-1/ Qualité du combustible :

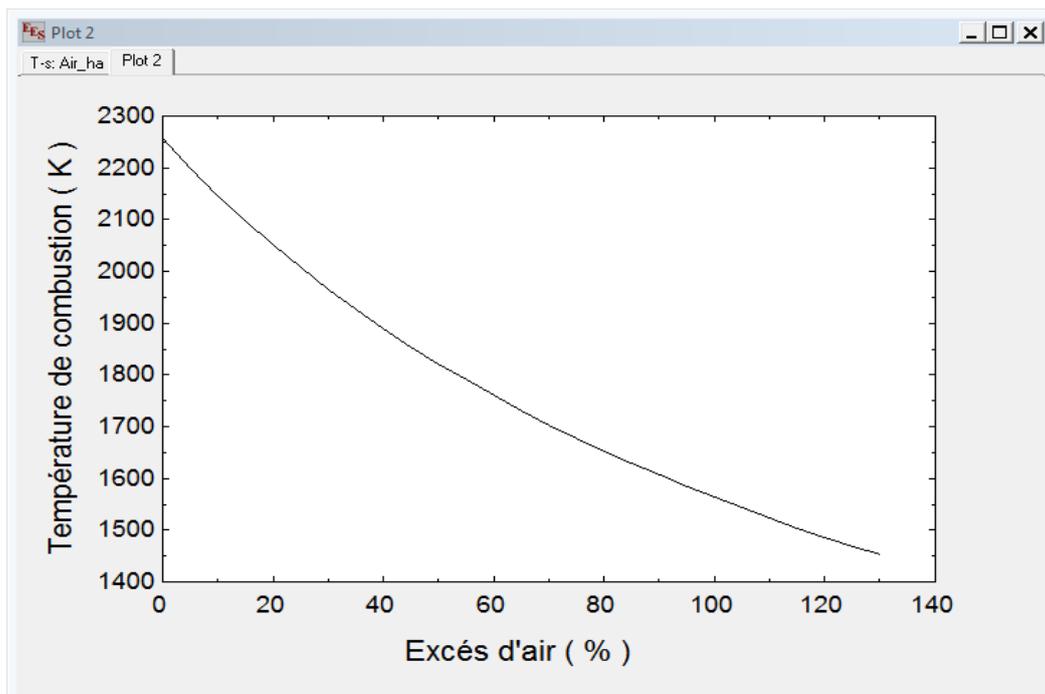
Chaque combustible a ces propre propriétés chimiques et physique et quand ces derniers change le volume d'air nécessaire a la combustion change.

Au chapitre 4 et Lors de notre Calcul du pouvoir calorifique du combustible on a trouvé que ce dernier et environ $46118.5126 \text{ KJ/Nm}^3$ faible par rapport au celui du design.

Alors on propose d'installé un densimètre a la sortie du ballon Z1 et le raccorder avec notre système de commande automatique et ce dernier donne un ordre au ventilateur et a la vanne de régulation du débit de combustible de régler respectivement le débit d'air et celui du combustible selon la charge demandé.

V-3-B-1/ Paramètres de d'air :

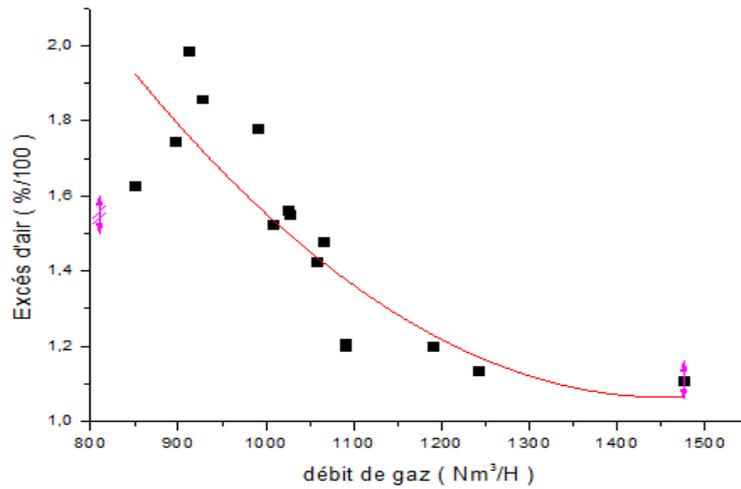
a) Excès d'air :



$$\text{Equation : } y = (2239.85) - (9.715 * x^1) + (0.028 * x^2)$$

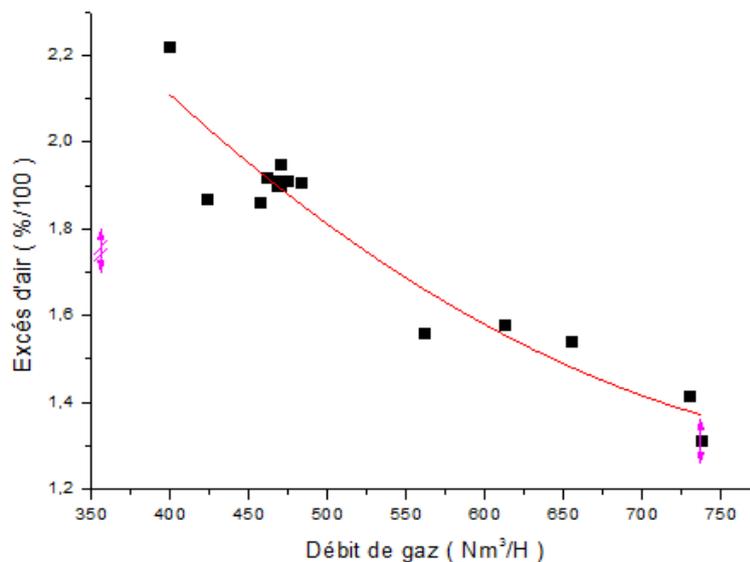
Figure V.3 : variation de la température de combustion en fonction de l'excès d'air

On constate d'après notre figure que lorsqu'il y a un excès d'air élevé la température de combustion diminue ce qui veut dire que l'excès d'air influe directement sur la quantité de chaleur libérée par la combustion.



$$\text{Fonction : } y = (6.048) - (0.0068 * x^1) + (2.35 * 10^{-6} * x^2)$$

**Figure V.4 : variation de l'excès d'air en fonction du débit de combustible
Pour la chaudière 1**



$$\text{Fonction : } y = (3.97) - (0.006 * x^1) + (3.35 * 10^{-6} * x^2)$$

**Figure V.5 : variation de l'excès d'air en fonction du débit de combustible
pour la chaudière 2**

On constate d'après les figures (V.4 et V.5) que lorsque le débit de combustible diminue l'excès d'air augmente en raison d'une plus grande difficulté de mélange air gaz à basse vitesse d'écoulement.

b) La régulation d'oxygène dans les fumées :

La régulation de combustion par mesure de l'oxygène implique d'adopter une consigne fonction des caractéristiques de l'installation et de son taux de charge. Cette consigne variable résulte du fait que l'excès d'air minimal nécessaire avant qu'apparaissent des imbrûlés augmente lorsque la puissance diminue, en raison d'une plus grande difficulté de mélange air gaz à basse vitesse d'écoulement. La figure V.6 donne un exemple de la consigne d'oxygène en fonction de la charge que la régulation de combustion doit respecter.

c) La régulation de combustion des chaudières par détection du CO :

Au contraire de la régulation d'oxygène, la régulation par détection du monoxyde de carbone ne nécessite pas de consigne variable. On adopte une consigne fixe, située en général à quelques dizaines ou quelques centaines de ppm de CO suivant la qualité et l'importance de l'installation. Le choix est très souvent lié à des problèmes de stabilité de flamme.

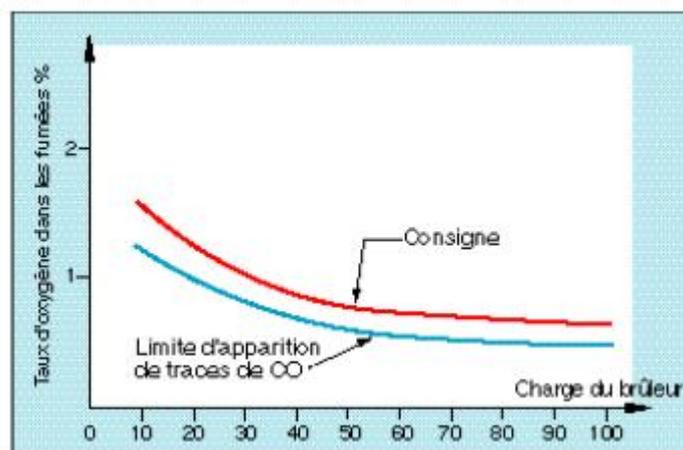


Figure V.6 : pourcentage d'oxygène dans les fumées selon la charge du brûleur [1]

Pour régler ce problème il est indispensable d'installée sur site un analyseur d'oxygène et un analyseur de monoxyde de carbone a la sortie de la cheminée a fin de pouvoir déterminer le taux d'oxygène imbrulé, le pourcentage du CO dans les gaz de fumées et notre excès d'air.

d) Préchauffeur d'air :

Avec la température de 199 °C de l'air de combustion et un débit de 16488 Nm³/h on a un rendement de 70 % (calculer au chapitre précédent).

Récupération de l'énergie par les gaz de fumées :

$$Q_{rc} = M_{air} * C_{p_{air}} * \Delta T$$

Pour un débit de 1Nm³/h et récupération de 1C⁰ :

Cp de l'air à p=1 [bar] et T= 200[C⁰] Cp=1.107 [kJ/Nm³*°C]

$$Q_{rc} = 1 * 1.107 * 1 = 1.1 \text{ [kJ/h]}$$

Le 03-05-2012

La température de l'air de combustion 199 C⁰

L'air de combustion design 260C⁰

Débit de l'air de combustion 16488 Nm³/H

Calcul de quantité de chaleur récupérer :

$$Q_{rc} = 16488 * 1.107 * (260-199)$$

$$Q_{rc} = 1126460.16 \text{ [kJ/h]}$$



Comme on a déjà calculé quantité de chaleur absorbé Q_{ab} et la quantité de chaleur libérer par le combustible Q_{lib}

$$Q_{ab} = 40279200 \text{ [kJ/h]}$$

$$Q_{lib} = 57233068 \text{ [kJ/h]}$$

$$Q_f = Q_{lib} - Q_{rc}$$

$$Q_f = 57233068 - 1126460.2 = 56106607 \text{ [kJ/h]}$$

$$\eta_{aa} = (Q_{ab} / Q_f) * 100 = (40279200/56106607)*100 = 71.9 \%$$

D'après le calcul de la récupération de l'énergie par les gaz de fumées que lorsque on augment la température de l'air de combustion de 199 a 260 °c le rendement augment de 1.9%

Alors pour apporter une amélioration au rendement il est nécessaire d'installer à la suite de la zone de convection un nouveau préchauffeur d'air de combustion ou de remplacer le préchauffeur présent par un autre plus performant pour obtenir la température désirable. Les calories ainsi récupérés augmentent la quantité de chaleur libérée, ce qui permet une diminution de la consommation du gaz combustible.



V-4/ Conclusion :

On a déterminé les différents points qui influent sur la combustion et on a vu les solutions possibles sur l'exploitation et sur le design qui peuvent aidées à l'amélioration du rendement actuel des deux chaudières à vapeur.

Conclusion générale

La présente étude a pour rôle de contribuer aux travaux relatifs de l'amélioration des performances des deux chaudières à vapeur et de voir l'influence de la combustion sur le rendement de notre machine aux différents points de design.

Le rendement actuel des deux chaudières reste faible par rapport au celui du design à cause de plusieurs facteurs on peut citer les plus important tel que :

- Les brûleurs qui sont surdimensionnés ce qui donne un avance à la flamme.
- L'excès d'air qui est supérieur à celui du design cela influe sur la température de combustion et le comportement de la flamme.
- Mauvais traitement d'eau ce qui provoque un dépôt de coke sur les parois interne des tubes conséquence mauvais transfert de chaleur et léchage des tubes.
- La qualité du combustible qui joue un rôle important lors de la combustion.

D'après ces causes, on conclut qu'une mauvaise combustion influe directement sur le rendement.

La combustion n'est pas le seul point qui détermine le rendement, il faut toute une étude pour déterminer les pertes de chaleurs aux niveaux des parois des tubes et à la cheminée.

Et à la fin de notre travail on a pu voir les solutions possibles soit pour les problèmes d'exploitations soit pour les problèmes du design pour réguler la combustion et améliorer le rendement.

Recommandations

Afin d'améliorer le rendement thermique de la chaudière et d'avoir une bonne combustion, nous proposons les travaux suivants :

- ✓ L'amélioration de l'étanchéité de la chaudière, pour éviter l'entrée d'air parasite.
- ✓ Réduire les pertes aux parois par l'amélioration de l'isolation thermique.
- ✓ Le remplacement des tubes en radiation par des tubes d'une qualité supérieure.
- ✓ Revoir les analyses de la composition du ballon Z1 car cette composition du gaz combustible influe d'une façon directe sur le rendement de la chaudière.
- ✓ La chambre de combustion, doit être renforcée pour résister aux actions du vent et supporter l'ensemble des faisceaux tubulaires.
- ✓ La sensibilisation des chauffeurs de la chaudière sur l'importance d'un bon réglage de la chaudière. Essayons de prendre comme référence, l'analyseur d'oxygène.
- ✓ Un bon réglage de la chaudière permet de réduire les températures des fumées mais cela est faisable seulement à charge moyenne.
- ✓ Un autre procédé permettant d'améliorer le rendement de la chaudière, c'est d'installer à la suite de la zone de convection un préchauffeur d'air de combustion ou de remplacer le préchauffeur présent par un autre plus performant. Les calories ainsi récupérés augmentent la quantité de chaleur libérée, ce qui permet une diminution de la consommation du gaz combustible et d'avoir une bonne combustion.
- ✓ Une Augmentation de la surface de convection permettra d'absorber plus de chaleur ce qui réduira la température des fumées à la sortie.
- ✓ Installer un analyseur d'oxygène a la sortie des gaz des fumées pour connaître le taux d'O₂ imbrulé
- ✓ Installer un analyseur de monoxyde de carbone pour déterminer le pourcentage de CO et de l'excès d'air.
- ✓ Il faut rénover les deux stations de traitement d'eau pour ne pas avoir un dépôt de coke sur les parois internes des tubes.
- ✓ Installer un densimètre a la sortie du ballon Z1 pour connaître les propriétés du combustible qui arrive à la chaudière.



NOMENCLATURE

SYMBOLE

$C_{p_{air}}$	chaleur spécifique de l'air [kJ/kg °C]
C_{pj}	chaleur spécifique moyenne des fumées [kJ/kg °C]
HC	rapport stœchiométrique [%]
H_{ea}	enthalpie de l'eau d'alimentation [kJ/kg °C]
H_j	enthalpie des fumées [kJ/kg]
H_{vs}	enthalpie de la vapeur surchauffé [kJ/kg °C]
M_{air}	débit d'air [kg/h]
M_{ea}	débit de l'eau d'alimentation [kg/h]
M_v	débit de combustible [kg/h]
M_{vfg}	débit de fuel gaz [kg/h]
M_{vfo}	débit de fuel oïl [kg/h]
M_{vs}	débit de la vapeur surchauffé [kg/h]
N_{air}	quantité d'air nécessaire dans la combustion [Nm ³]
N_{H_2O}	quantité de l'eau contenue dans l'air [Nm ³]
N_i	nombre de mole [mol]
P	poids molaire [g/mol]
P	pression atmosphérique [bar]
PCI	Pouvoir calorifique inferieur [kJ/kg]
PCI_{fg}	pouvoir calorifique de fuel gaz [kJ/kg]
PCI_{fo}	pouvoir calorifique de fuel oïl [kJ/kg]
PCS	Pouvoir calorique supérieur [kJ/kg]
P_{ea}	pression de l'eau d'alimentation [bar]
P_{H_2O}	pression de H ₂ O [bar]
P_{vs}	pression de la vapeur surchauffée [bar]



Q_{ab}	quantité de chaleur absorbée [kJ/h]
Q_f	quantité de chaleur fournie [kJ/h]
Q_{lib}	quantité de chaleur libérer [kJ/h]
Q_{rc}	quantité de chaleur récupérer [kJ/h]
T	température [$^{\circ}C$]
T_{ea}	température de l'eau d'alimentation [$^{\circ}C$]
T_{vs}	température de la vapeur surchauffée [$^{\circ}C$]
V	volume [Nm^3]
$V_{air\ Pra}$	volume d'air pratique [Nm^3]
$V_{air\ th}$	volume d'air nécessaire [Nm^3 / Nm^3]
V_{CO2}	volume de CO_2 [Nm^3 / Nm^3]
V_{fg}	volume du fuel gaz [Nm^3 / Nm^3]
V_{fum}	volume des fumées [Nm^3 / Nm^3]
V_{H_2O}	volume de H_2O [Nm^3 / Nm^3]
V_{N_2}	volume de N_2 [Nm^3 / Nm^3]
$V_{O_2\ excès}$	volume d'oxygène dans l'excès d'air [Nm^3 / Nm^3]
V_{o_2th}	volume d'oxygène nécessaire théorique [Nm^3 / Nm^3]
ΔT	variation de température [$^{\circ}C$]

LETTRES GRECQUES

η_a	rendement actuel calculé [%]
η_{aa}	rendement actuel amélioré [%]
η_d	design [%]
α	Excès d'air [%]
Δ	différence



ABREVIATIONS

B	bac
BP	base pression
C	colonne
CV	cheval
D	ballon
E	échangeur
GPL	gaz pétrole liquéfiée
GTA	groupe turbine alternateur
HP	haute pression
HRM	gaz Hassi R'mel
Moy	moyenné
MP	moyenne pression
P	pompe
R	réacteur
S	soupape
U	unité
Z1	ballon de stockage combustible gazeux



INDICES

I	nombre
Ea	eau d'alimentation
Vs	vapeur surchauffée
Vfo	combustible fuel oil
Vfg	combustible fuel gaz
V	combustible
Ab	absorbée
Lib	libérée
F	fournie
Rc	récupérer
Fo	fuel oil
Fg	fuel gaz
Th	théorique
Pra	pratique
J	nombre
D	design
A	actuel



NOMENCLATURE



Annexe 1

P, V, T, H pour 1 kg d'EAU LIQUIDE à la saturation

Tableau II. — Enthalpie et volume massique de l'eau à la saturation

Température °C	Pression absolue de la vapeur bar	Enthalpie de liquide kJ/kg	Volum massique m ³ /kg	Température °C	Pression absolue de la vapeur bar	Enthalpie de liquide kJ/kg	Volum massique m ³ /kg	Température °C	Pression absolue de la vapeur bar	Enthalpie de liquide kJ/kg	Volum massique m ³ /kg
0	0,006107	0,00	0,0010002	72	0,3396	301,16	0,0010242	182	10,497	771,5	0,0011305
2	0,007056	8,43	0,0010001	74	0,3696	309,55	0,0010254	184	10,984	780,4	0,0011333
3	0,007577	12,64	0,0010001	76	0,4019	317,94	0,0010267	186	11,489	789,2	0,0011361
4	0,008131	16,84	0,0010000	78	0,4365	326,33	0,0010280	188	12,011	798,1	0,0011389
5	0,008722	21,05	0,0010000	80	0,4736	334,72	0,0010293	190	12,552	807,0	0,0011418
6	0,009349	25,25	0,0010000	82	0,5133	343,12	0,0010306	192	13,112	816,0	0,0011447
7	0,010016	29,45	0,0010001	84	0,5557	351,52	0,0010320	194	13,692	824,9	0,0011477
8	0,010725	33,64	0,0010001	86	0,6011	359,93	0,0010334	196	14,291	833,9	0,0011507
9	0,011477	37,84	0,0010002	88	0,6495	368,34	0,0010348	198	14,910	842,8	0,0011537
10	0,012275	42,03	0,0010002	90	0,7011	376,75	0,0010363	200	15,551	851,6	0,0011568
11	0,013122	46,22	0,0010003	92	0,7561	385,17	0,0010377	202	16,212	860,8	0,0011599
12	0,014020	50,41	0,0010004	94	0,8146	393,59	0,0010392	204	16,895	869,9	0,0011631
13	0,014971	54,59	0,0010005	96	0,8769	402,01	0,0010407	206	17,601	879,0	0,0011663
14	0,015979	58,78	0,0010007	98	0,9430	410,44	0,0010423	208	18,329	888,0	0,0011696
15	0,017045	62,96	0,0010008	100	1,0132	418,88	0,0010438	210	19,080	897,1	0,0011729
16	0,018174	67,14	0,0010010	102	1,0878	427,32	0,0010454	215	21,063	920,0	0,0011814
17	0,019367	71,32	0,0010011	104	1,1667	435,77	0,0010470	220	23,201	943,0	0,0011903
18	0,02083	75,50	0,0010013	106	1,2504	444,22	0,0010487	225	25,504	966,2	0,0011994
19	0,02196	79,68	0,0010015	108	1,3390	452,67	0,0010503	230	27,979	989,6	0,0012090
20	0,02337	83,86	0,0010017	110	1,4326	461,13	0,0010520	235	30,635	1013,2	0,0012190
21	0,02486	88,03	0,0010019	112	1,5316	469,60	0,0010537	240	33,480	1036,9	0,0012293
22	0,02643	92,21	0,0010021	114	1,6361	478,08	0,0010554	245	36,524	1060,9	0,0012402
23	0,02803	96,39	0,0010024	116	1,7464	486,56	0,0010572	250	39,78	1085,1	0,0012515
24	0,02982	100,56	0,0010026	118	1,8827	495,04	0,0010590	255	43,24	1109,5	0,0012633
25	0,03166	104,74	0,0010029	120	1,9853	503,5	0,0010608	260	46,94	1134,3	0,0012757
26	0,03360	108,91	0,0010031	122	2,1144	512,0	0,0010626	265	50,87	1159,3	0,0012888
27	0,03564	113,09	0,0010034	124	2,2503	520,5	0,0010645	270	55,05	1184,5	0,0013025
28	0,03778	117,26	0,0010037	126	2,3932	529,1	0,0010664	275	59,49	1210,2	0,0013169
29	0,04004	121,43	0,0010040	128	2,5434	537,6	0,0010683	280	64,19	1236,1	0,0013322
30	0,04241	125,61	0,0010043	130	2,7011	546,1	0,0010702	285	69,17	1262,5	0,0013483
31	0,04491	129,78	0,0010046	132	2,8667	554,6	0,0010721	290	74,45	1289,3	0,0013655
32	0,04753	133,95	0,0010049	134	3,041	563,2	0,0010741	295	80,03	1316,5	0,0013837
33	0,05028	138,13	0,0010052	136	3,223	571,7	0,0010761	300	85,92	1344,2	0,0014033
34	0,05318	142,30	0,0010056	138	3,414	580,3	0,0010782	305	92,14	1372,5	0,001424
35	0,05621	146,47	0,0010059	140	3,614	588,9	0,0010802	310	98,70	1401,3	0,001447
36	0,05939	150,65	0,0010063	142	3,823	597,5	0,0010823	315	105,61	1430,9	0,001471
37	0,06273	154,82	0,0010067	144	4,042	606,1	0,0010845	320	112,90	1461,3	0,001498
38	0,06623	159,00	0,0010070	146	4,271	614,7	0,0010868	325	120,57	1492,5	0,001527
39	0,06990	163,17	0,0010074	148	4,510	623,3	0,0010888	330	128,65	1524,8	0,001550
40	0,07374	167,34	0,0010078	150	4,760	631,9	0,0010910	335	137,14	1558,4	0,001597
42	0,08197	175,69	0,0010088	152	5,020	640,5	0,0010932	340	146,08	1593,5	0,001633
44	0,09059	184,04	0,0010095	154	5,293	649,2	0,0010955	345	155,48	1630,5	0,001667
46	0,10084	192,40	0,0010103	156	5,576	657,8	0,0010978	350	165,37	1670,3	0,001706
48	0,11161	200,75	0,0010112	158	5,872	666,5	0,0011001	355	175,77	1714,5	0,001817
50	0,12334	209,11	0,0010121	160	6,180	675,2	0,0011024	360	186,74	1762,2	0,001903
52	0,13611	217,46	0,0010131	162	6,501	683,9	0,0011048	365	198,30	1817,9	0,00203
54	0,15001	225,82	0,0010141	164	6,835	692,6	0,0011072	370	210,52	1893,7	0,00223
56	0,16509	234,18	0,0010151	166	7,183	701,3	0,0011097	374	220,86	2043,2	0,00279
58	0,18146	242,55	0,0010161	168	7,544	710,0	0,0011122				
60	0,1992	250,91	0,0010172	170	7,920	718,8	0,0011147				
62	0,2184	259,28	0,0010183	172	8,311	727,5	0,0011172				
64	0,2391	267,65	0,0010194	174	8,716	736,3	0,0011198				
66	0,2615	276,03	0,0010206	176	9,137	745,1	0,0011224				
68	0,2856	284,40	0,0010217	178	9,574	753,9	0,0011251				
70	0,3116	292,78	0,0010229	180	10,027	762,7	0,0011278				

Table de l'eau liquide a la saturation



Annexe 2

SI

TABLE DE VAPEUR D'EAU

Tableau I. - Entalpie et volume massique de la vapeur saturée et surchauffée.

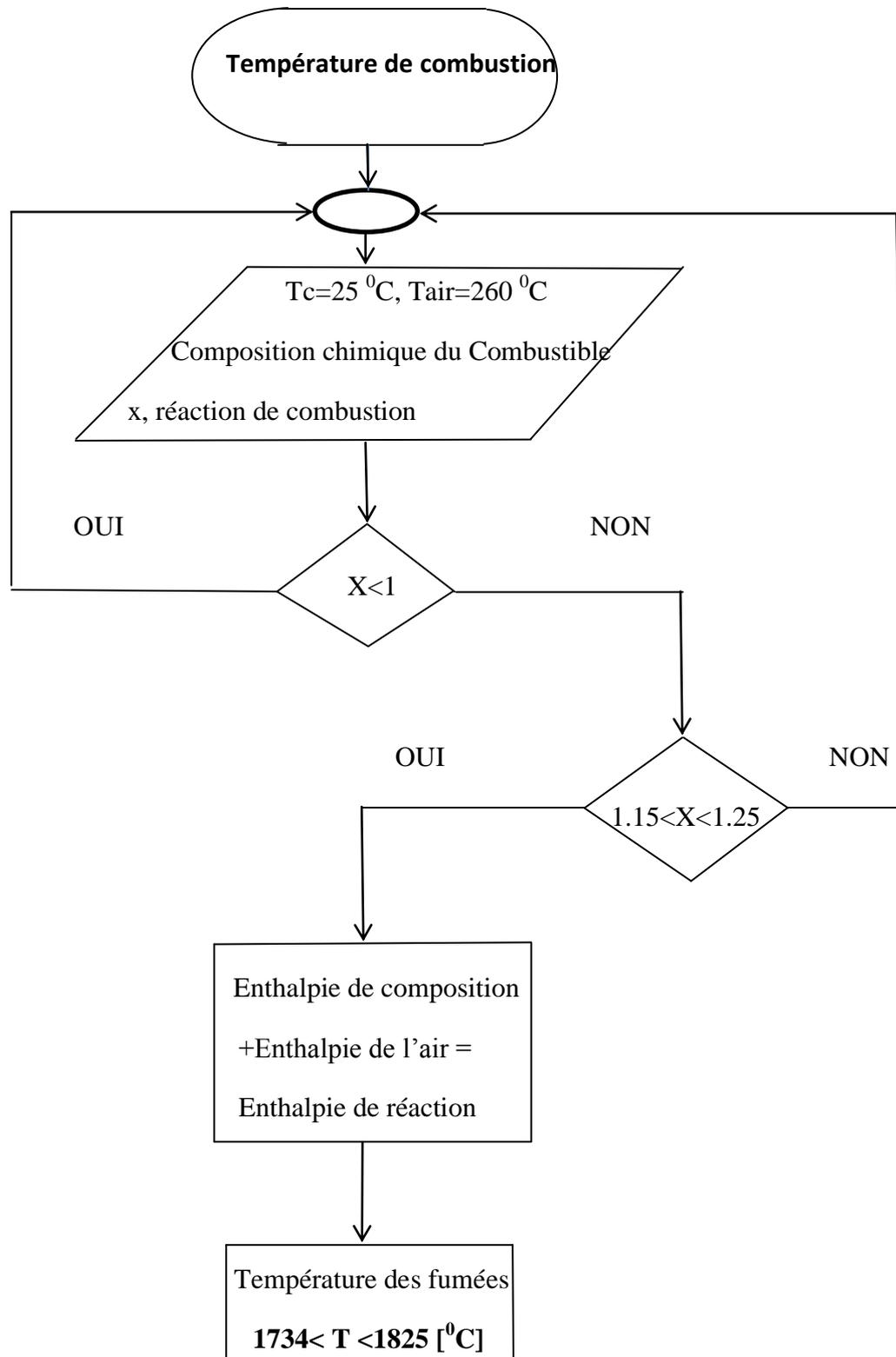
Pression bar	Température °C	Vapeur saturée										Vapeur surchauffée														
		A					B					C					D					E				
		Entalpie kJ/kg	Volume m³/kg	Entalpie kJ/kg	Volume m³/kg	Entalpie kJ/kg	Volume m³/kg	Entalpie kJ/kg	Volume m³/kg	Entalpie kJ/kg	Volume m³/kg	Entalpie kJ/kg	Volume m³/kg													
0,02	17,51	237,7	745,3	714,5	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
0,04	28,98	259,3	747,3	715,6	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
0,06	36,19	266,7	748,2	716,4	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
0,08	41,54	276,3	749,2	717,2	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
0,10	45,84	284,9	750,2	717,9	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
0,16	53,4	296,7	752,2	718,4	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
0,26	68,87	318,9	754,4	719,4	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
0,40	81,36	334,7	756,4	720,3	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
0,60	93,78	347,8	758,2	721,1	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
1,00	99,63	357,8	760,0	721,8	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
1,50	111,37	365,6	761,6	722,4	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
2,00	120,33	370,6	762,9	722,9	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
3,00	130,34	373,2	763,9	723,2	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
4,00	141,63	374,5	764,5	723,4	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
5,00	151,85	375,0	764,8	723,5	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
6,00	161,84	375,2	764,9	723,5	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
7,00	171,58	375,2	764,9	723,5	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
8,00	181,10	375,1	764,8	723,4	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
10,00	193,88	374,7	764,5	723,2	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
11	194,06	374,3	764,2	723,0	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
12	194,26	373,8	763,7	722,8	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
13	194,47	373,2	763,2	722,6	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
14	194,69	372,5	762,7	722,4	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
15	194,92	371,7	762,2	722,2	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
16	195,16	370,8	761,7	722,0	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
17	195,41	369,8	761,2	721,8	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
18	195,67	368,7	760,7	721,6	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
19	195,94	367,5	760,2	721,4	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
20	196,22	366,2	759,7	721,2	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
21	196,51	364,8	759,2	721,0	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
22	196,81	363,3	758,7	720,8	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
23	197,12	361,7	758,2	720,6	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
24	197,44	360,0	757,7	720,4	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
25	197,77	358,2	757,2	720,2	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
26	198,11	356,3	756,7	720,0	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
27	198,46	354,3	756,2	719,8	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
28	198,82	352,2	755,7	719,6	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
29	199,19	350,0	755,2	719,4	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
30	199,57	347,7	754,7	719,2	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
31	199,96	345,3	754,2	719,0	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
32	200,36	342,8	753,7	718,8	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
33	200,77	340,2	753,2	718,6	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
34	201,19	337,5	752,7	718,4	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
35	201,62	334,7	752,2	718,2	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
36	202,06	331,8	751,7	718,0	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
37	202,51	328,8	751,2	717,8	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
38	202,97	325,7	750,7	717,6	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
39	203,44	322,5	750,2	717,4	67,02	2976,9	120,7	3763,9	155,3	3382,8	168,9	3488,3	178,4	3595,6	192,9	3704,6	201,5	3815,4	213,0	3915,4	226,2	4015,4				
40	203,92	319,2	749,7	717,2	67,02																					

Annexe 3

1..27	X	T
Run 1	0	2256
Run 2	5	2200
Run 3	10	2147
Run 4	15	2098
Run 5	20	2051
Run 6	25	2007
Run 7	30	1966
Run 8	35	1927
Run 9	40	1890
Run 10	45	1855
Run 11	50	1821
Run 12	55	1790
Run 13	60	1760
Run 14	65	1731
Run 15	70	1704
Run 16	75	1678
Run 17	80	1653
Run 18	85	1629
Run 19	90	1606
Run 20	95	1584
Run 21	100	1563
Run 22	105	1542
Run 23	110	1523
Run 24	115	1504

Table de la variation de la température de combustion en fonction de l'excès d'air

Annexe 4



Organigramme : variation de la température de combustion en fonction de l'excès d'air



Bibliographie

- 1/Gestion des équipements thermiques dans l'industrie** par la commission des utilisations de l'ATG La régulation de la combustion « GAZ D'AUJOURD'HUI N° 10-11-12 • 2000 »
- 2/Retrofit de 2 chaudières de 50 t/h mixtes,SONATRACH – NAFTEC SPA, Raffinerie d'Alger (Algérie) « R. Egéa, Responsable Systèmes, Fives Pillard, Marseille (France) » 2004**
- 3/ Chaudières à vapeur à combustible** Edition du 08/02/07 auteur **Christophe Alleau**
Enseignant de BTS CIRA Lycée Pilote Innovant France
- 4/ Mémoire de fin d'études Réalisé par Mr. Mohamed Lamine OULD CHIKH** ingénieur spécialisé en raffinage « **Etude de la consommation du fuel gaz dans le four de distillation atmosphérique F101 de la Raffinerie d'Alger** » Février 2011
- 5/Technique de l'ingénieur** version 2004 « Conception et calcul des chaudières »
par **Jean PARISOT** Ingénieur de l'École Centrale des Arts et Manufactures
Ingénieur-conseil, Thermicien
Ancien Chef de service Calcul/Conception de Stein Industrie
- 6/Technique de l'ingénieur** version 2004 «Différents types de chaudières industrielles »
par **Alain RIOU** Ingénieur de l'École Nationale Supérieure de Mécanique et Aérotechnique
Chef de Projets dans la Division Chaudières Industrielles de la Société Babcock Entreprise
et **Jean-Pierre DEPAUW** Ingénieur de l'École Centrale des Arts et Manufactures
- 7/ Pierre WUTHIER** : Raffinage et génie chimique TOME-1-2-Edition TECHNIP-1972
- 8/Dr M.A.MASRI a IAP** Séminaire sur les chaudières dans l'industrie pétrolière « raffinerie d'Alger 06 au 08 novembre **2010** »
- 9/Manuel Opérateur Utilités (MO P –PROD 03)** « production et distribution de la vapeur Février 2008»**Raffinerie d'Alger**
- 10/ Samuel BELAKHOWSKY** introduction aux combustibles et a la combustion **1978**
- 11/Roland BORGHI,Michel DESTRIAU et Gérard DE SOETE** La combustion et les flammes -Edition TECHNIP-**1995**