N° Ordre...../DGM/FT/UMBB/2022

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES

Faculté de Technologie

Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en **:**

Filière : ***Génie mécanique***
Spécialité : ***Energétique***

THEME

Impact du mode de combustion sur les performances énergétiques et écologiques de la turbine à gaz V94.2 de la centrale thermique de Larbaa

Présenté par :

- Benlefki Soheib
- Hachemi Mohamed Ali

Promotrice : Mme. Bahloul

Promotion 2021- 2022

REMERCIEMENTS

AVANT TOUT NOUS REMERCIONS "ALLAH" LE TOUT PUISSANT QUI NOUS A DONNÉ LE COURAGE, LA VOLONTÉ ET LA FORCE POUR ACCOMPLIR CE MODESTE TRAVAIL. MERCI DE NOUS AVOIR ÉCLAIRÉ LE CHEMIN DE LA RÉUSSITE.

NOS REMERCIEMENTS SONT FORMULÉS AUSSI À NOS PARENTS DE NOUS AVOIR ÉLEVÉ, INSTRUIT, POUR TOUS LEURS SACRIFICES,...LES MOTS S'ÉPUISENT SANS DOUTE, MAIS VOUS COMPRENDREZ QUE TOUT UN UNIVERS DE PAROLES NE POURRAIT SUFFIRE POUR VOUS DIRE MERCI.

NOUS REMERCIONS PLUS VIVEMENT TOUTE L'ÉQUIPE DE L'UNITÉ « SPE » À QUI NOUS DEVONS NOTRE RESPECT ET NOTRE PARFAITE CONSIDÉRATION, PARTICULIÈREMENT AU DIRECTEUR DE LA CENTRALE DE LARBAA MR BENDAACE YACINE, SANS OUBLIER NOTRE ENCADREUR MR DJAAFER ABDELHAKIM POUR SA GENTILLESSE, SON AIDE PRÉCIEUSE ET SES ENCOURAGEMENTS, IL A ÉTÉ UNE MAIN FORTE POUR NOUS DURANT LA RÉALISATION DE CE TRAVAIL.

NOUS TENONS À REMERCIER NOTRE PROMOTRICE MME BAHLOUL POUR SON AIDE PRÉCIEUX, SON SUIVI, SES CONSEILS JUDICIEUX. NOUS REMERCIONS AUSSI LES MEMBRES DE JURY QUI NOUS ONT FAIT L'HONNEUR D'ACCEPTER LE JUGEMENT DE NOTRE TRAVAIL.

UNE PENSÉE PLEINE DE RECONNAISSANCE À TOUS LES ENSEIGNANTS DE LA FILIÈRE ÉNERGÉTIQUE ET DU DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE, QUI ONT CONTRIBUÉ À NOTRE FORMATION PENDANT TOUTE LA DURÉE DE NOS ÉTUDES, AFIN D'ACQUÉRIR CE MODESTE SAVOIR.

NOS REMERCIEMENTS LES PLUS SINCÈRES VONT AUSSI À TOUS CEUX QUI NOUS ONT AIDÉS DE PRÈS OU DE LOIN, PAR LEURS CONSEILS ET LEURS CRITIQUES.

ENFIN NOUS REMERCIONS TOUS NOS AMIS ET TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUÉ DE PRÈS OU DE LOIN À L'ÉLABORATION DE CE MODESTE TRAVAIL, TROUVENT AINSI L'EXPRESSION DE NOTRE PROFONDE GRATITUDE ET RESPECTS.

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À :

L'ÊTRE QUI M'EST LE PLUS CHER AU MONDE, À CELLE QUI M'A TOUT DONNÉ POUR QUE JE SOIS CE QUE JE SUIS, MA MÈRE.

CELUI QUI FAIT TOUT SON POSSIBLE POUR ME VOIR REUSSIR DANS MA VIE, MON CHER PÈRE MR HACHEMI TAYEB

A MON BINÔME ET MON FRÈRE SOHEIB

A MES COUSINS ET TOUTE LA FAMILLE HACHEMI ET BELKADI

SANS OUBLIER TOUS LES ÉTUDIANTS DE LA PROMOTION 2EME ANNÉE ÉNERGÉTIQUE ET A TOUTES LES PERSONNES QUI M'ONT CONNU.

Mohamed-Ali

POUR CHAQUE DÉBUT IL Y A UNE FIN, ET CE QUI EST BEAU DANS TOUTE FIN C'EST LA RÉUSSITE ET L'ATTEINTE DU BUT.

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL, FRUIT DE TRÈS LONGUES ANNÉES
A LA SEULE MAMAN QUI A ÉNORMÉMENT SOUFFERT POUR FAIRE DE MOI CE QUE JE SUIS ET QUI ME DONNE TOUJOURS L''ESPOIR DE VIVRE ET QUI N'A JAMAIS CESSÉ DE PRIER POUR MOI ; MA TRÈS CHÈRE MÈRE.

A MON TRÈS CHER DÉFINIT PÈRE MR BENLEFKI ALI

A TOUTE MA GRANDE FAMILLE BENLEFKI, KHIER

A TOUS MES FRÈRES WASSIM, ABEDALAH, YOUCEF

SANS OUBLIER MA PETITE SŒUR MARIA

A MES MEILLEURS AMIS CHACUN EN SON NOM, ET TOUS CEUX
QUE J'AIME.
A TOUS CEUX QUI M'ONT ENCOURAGÉ PENDANT
LES MOMENTS LES PLUS DIFFICILES.
A TOUTE LA PROMOTION 2EME ANNÉE ÉNERGÉTIQUE ET À TOUTES LES PERSONNES QUI M'ONT CONNU.

Soheib

Résumé :

Ce mémoire intitulé, **Impact de mode de combustion sur les performances énergétiques et écologiques de la turbine à gaz V94.2 de la centrale de Larbaa** commence par une présentation générale de la centrale thermique de production de l'électricité de Larbaa ainsi que tous les équipements qui la composent. Ensuite, une étude détaillée de la turbine à gaz V94.2 a été réalisée, mettant l'accent sur ses composants et ses caractéristiques. La combustion dans ce type de turbine a aussi fait l'objet d'une attention particulière car elle constitue la source des rejets gazeux nocifs dans l'atmosphère. L'impact de ces rejets dans l'environnement a été soigneusement traité.

Les résultats de cette étude ont montré que le type de combustion utilisé dans les chambres à combustion, à savoir combustion par diffusion ou pré mélangé (premix) n'influent pratiquement pas sur les performances énergétiques de la turbine. Ces derniers ont une considérable influence sur les volumes de gaz brulés nocifs rejetés dans l'environnement.

Abstract :

This thesis under the theme, **Impact de mode de combustion sur les performances énergétiques et écologiques de la turbine à gaz V94.2 de la centrale de Larbaa** , starts with a general presentation of the electricity producing thermal station of Larbaa as well as all the equipment composing this station. After, a detailed study of the V94.2 gas turbine was carried out putting the accent its components and characteristics. The combustion in such a gas turbine was particularly treated because it constitutes the main source of harmful gas rejections into the atmosphere. The impact of these rejections into the atmosphere was carefully treated.

The results of this study have shown the combustion type used in these combustion chambers that is diffusion or premix process don't influence the gas turbine energetic performances. On the other hand, they have a considerable influence on the burnt harmful rejected gas volumes into the environment.

ملخص :

تبدا هذه الأطروحة بعنوان " **Impact de mode de combustion sur les performances énergétiques et écologiques de la turbine à gaz V94.2 de la centrale de Larbaa**" بلمحة عامة عن محطة الطاقة الحرارية Larbaa وجميع المعدات التي تتكون منها. بعد ذلك تم إجراء دراسة تفصيلية للتوربين الغازي V94.2 مع التركيز على مكوناته وخصائصه. كان الاحتراق في هذا النوع من التوربينات موضوع اهتمام خاص أيضًا لأنه مصدر للانبعاثات الغازية الضارة في الغلاف الجوي. تمت دراسة تأثير هذه التصريفات على البيئة بعناية.

أظهرت نتائج هذه الدراسة أن نوع الاحتراق المستخدم في أجهزة الاحتراق ، أي الاحتراق بالانتشار أو الخلط المسبق ، لا يؤثر على الأداء الصيفي للتوربين ، ولهذه العوامل تأثير كبير على كميات الغازات المحترقة الضارة المنبعثة في البيئة.

Mots clés : Combustion, Diffusion, Pré mélangé, turbine à gaz, la flamme

➢ GRANDEURS :

Symbole	Description	Unité
p	La pression	bar
P	La puissance	kw
ɾ	Le taux de compression	
ε	Rapport de détente	
ṁ	Débit massique	kg/s
W	Le travail spécifique	kJ/kg
h	Enthalpie	kJ/kg
cp	Chaleur spécifique	kJ/kg
PCI	Le combustible gaz naturel	kcal/$m3$
ɤ	Coefficient poly tropique	
T	Température	k
η	Rendement	%
Q_{cc}	Quantité de chaleur	kJ/kg
η_s	Rendement isentropique	%
$\eta_{méc}$	Rendement mécanique	%
η g	Rendement global	%
η th	Rendement thermique	%

➢ Indices

a	Air
cc	Chambre de combustion
c	compresseur
c	combustible
t	turbine
g	gaz
ut	utile
s	isentropique
cal	calorifique

➢ Abréviations :

CH	Hydrocarbures
CH_3	Méthyle
CH_4	Méthane
CH_i	Radicaux hydrocarbure
CN	Cyanure
CO	Monoxyde de carbone
CO_2	Dioxyde de carbone
CFC	Chlorofluorocarbones
COV	Composés organiques volatils
H_2	Hydrogène
H_2O	Eau
$(HOCN)_3$	Acide cyanurique
HCN	Acide cyanhydrique
HNO_3	Acide nitrique
N_2	Azote
NO	Monoxyde d'azote

Sommaire

RESUME :
ABSTRACT :
ملخص:

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I: LA CENTRALE THERMIQUE DE LARBAA

INTRODUCTION 3
I.1. LE GROUPE DE LA SOCIETE SONELGAZ 3
I.2. LA SOCIETE ALGERIENNE DE PRODUCTION DE L'ELECTRICITE (SPE) 4
I.2.1 Présentation 4
I.2.2 Missions et attributions 5
I.2.3 Organisation de la SPE 5
I.2.4 Historique de la SPE 5
I.3. LA CENTRALE DE PRODUCTION D'ELECTRICITE DE LARBAA 7
I.3.1 Situation géographique 7
I.3.2 Superficie 7
I.3.3 Principales caractéristiques de la centrale 8
I.3.4 Évacuation de l'Énergie Électrique 9
I.4. DESCRIPTION DE LA CENTRALE DE PRODUCTION D'ELECTRICITE 10
I.4.1 Bâtiment administratif : 10
I.4.2 Bloc de la salle de commande : 10
I.4.3 Atelier mécanique: 10
I.4.4 Magasin : 10
I.4.5 Les auxiliaires communs des groupes turbines à gaz V94.2 : 10
I.4.5.1 Station Poste gaz : 10
I.4.5.2 Station fuel combustible 11
I.4.5.3 Station d'air comprimé 12
I.4.5.4 Station de production d'eau déminéralisée 12
I.4.5.5 Station d'anti incendie (eau et mousse) : 13
I.4.5.6 Groupe électrogène de secours : 14
I.4.6 Les auxiliaires de groupe turbine à gaz V94.2 : 15
I.4.6.1 Skid final poste gaz : 15
I.4.6.2 Station de réfrigération Noria 15
I.4.6.3 Salle des machines : 16
CONCLUSION 25

CHAPITRE II : LA TURBINE A GAZ V 94.2

INTRODUCTION 26
II . 1 GENERALITES SUR LES TURBINES A GAZ 26
II.1.1 Définition de la turbine à gaz 26
II.1.2 Evolution de la turbine à gaz 26
II.1.3 Classification des turbines à gaz 26
II.1.3.1 Par le mode de construction 26
II.1.3.2 Chambre à combustion 27
II.1.3.3 Type de combustible 27
II.1.3.4 Par le mode de travail 28
II.1.3.5 Par le mode de fonctionnement thermodynamique 28
II.1.4 Catégories des turbines à gaz 29
II.1.5 Principe de fonctionnement de la turbine à gaz 30

II.1.6 Cycles des turbines à gaz....31
II.1.6.1 Cycle de base (Cycle de Joule ou de Brayton)....31
II.1.6.2 Cycle réel....32
II.1.7 Domaine d'applications de la turbine à gaz....32
II.1.7.1 Production d'électricité....32
II.1.7.2 Propulsion....33
II.1.7.3 Moteur....33
II.1.7.4 Production combinée chaleur-force....33
II.1.8 Les avantages et inconvénients des turbines à gaz....33
II.1.8.1 Les avantages....33
II.1.8.2 Inconvénients....34
II.2. DESCRIPTION DE LA TURBINE A GAZ V94.2 DE LA CENTRALE DE PRODUCTION D'ELECTRICITE....34
II.2.1 Caractéristiques générales de la turbine à gaz V94.2....35
II.2.2 Composants de la turbine à gaz V94.2....36
II.2.2.1 Turbo compresseur....36
II.2.2.1.1 Le rotor....36
II.2.2.1.2 Le stator....36
II.2.2.1.3 La section compresseur axial....37
II.2.2.1.4 Le système anti-pompage du compresseur axial....38
II.2.2.2 La chambre à combustion....39
II.2.2.3 La section turbine....40
II.2.2.4 Le Vireur....42
II.2.2.5 Les paliers de la turbine à gaz V94.2....43
II.2.2.5.1 Pour le compresseur axial et la turbine :....43
II.2.2.5.2 Pour le générateur :....44
II.2.2.6 Le Système d'échappement....45
II.2.3 Démarrage et mise à l'arrêt de la turbine à gaz....46
Conclusion....47

CHAPITRE III : LA COMBUSTION DANS LA TURBINE A GAZ V 94.2

INTRODUCTION....48
III.1. DEFINITION....48
III.2. LE TRIANGLE DE FEU....48
III.2.1 Les combustibles....49
III.2.1.1 Types de combustibles....49
III.2.1.2 Les carburants hydrocarbonés....50
III.2.1.3 Les propriétés physiques et chimiques des combustibles....51
III.2.2 Le comburant....52
III.3. LES DIFFERENTS TYPES DE COMBUSTION....52
III.3.1 La combustion rapide (vive)....52
III.3.2 La combustion complète....52
III.3.3 La combustion incomplète (en défaut d'air)....53
III.3.4 La combustion stœchiométrique....53
III.3.5 La combustion sans flamme....53
III.3.5.1 La combustion lente....53
III.3.5.2 Combustion spontanée....53
III.4. LES FLAMMES DE COMBUSTIONS....53
III.4.1 Définition d'une flamme....53
III.4.2 Les types de flammes....54
III.4.2.1 La flamme de diffusion (non pré-mélangée)....54
III.4.2.1.1 Flamme de diffusion laminaire (non-prémélangée)....56
III.4.2.1.2 Flamme de diffusion turbulente (non-prémélangée)....56
III.4.2.2 Les flammes pré mélangées....57

III.4.2.2.1 Les flammes pré-mélangées laminaires....57
III.4.2.2.2 Les flammes pré-mélangées turbulentes....58
III.5. LA CHAMBRE A COMBUSTION DE LA TURBINE A GAZ V94.2....58
III.5.1 Composition de la chambre à combustion de la turbine à gaz V94.2....59
III.5.2 Les brûleurs de la turbine à gaz V94.2....61
III.5.3 Les modes de combustion de la turbine à gaz V94.2....63
III.5.3.1 Mode diffusion (Non pré-mélange)....63
III.5.3.2 Mode Premix « LP» (pré-mélange)....63
III.5.3.3 Mode diffusion (fuel) :....63
III.5.4 Les modes d'injection de gaz....63
III.5.4.1 Marche au combustible gazeux....63
III.5.4.2 Marche au combustible liquide....64
CONCLUSION....64

CHAPITRE IV : IMPACT DU MODE DE COMBUSTION SUR LES PERFORMANCES ENERGETIQUES ET ECOLOGIQUES DE LA TURBINE V94.2

INTRODUCTION....65
IV.1. ANALYSE THERMODYNAMIQUE DE LA TURBINE A GAZ V94.2....65
IV.1.1 Cycle idéal de Brayton....65
IV.1.2 Cycle thermodynamique réel de la turbine à gaz....65
IV.1.3 Equations énergétiques....66
IV.1.3.1 Pour de la compression :....66
IV.1.3.2 Pour de la combustion :....67
IV.1.3.3 Pour de la détente :....68
IV.1.4 Bilan de cycle :....69
IV.1.5 Calcul de la turbine à gaz V94.2....70
IV.1.5.1 Paramètres de la TG N°1 (marche en mode diffusion le 15-05-2022)....70
IV.1.5.2 Paramètres de la TG N°3 (marche en mode premix le 15-05-2022)....71
IV.1.5.3 Tableau de résultat de calcul (mode diffusion et mode premix)....72
IV.2. IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE LA CENTRAL DE LARBAA....76
Introduction....76
IV.2.1 Définition de l'environnement....76
IV.2.2 Les émissions atmosphériques d'une centrale thermique de production d'électricité....76
IV.2.2.1 Le monoxyde de carbone (CO)....76
IV.2.2.2 Le dioxyde de carbone (CO_2)....77
IV.2.2.3 Les oxydes d'azote (NO_X)....77
IV.2.2.4 Les oxydes de soufre (SO_X)....77
IV.2.2.5 Les COV....77
IV.2.2.6 Les poussières....77
IV.2.3 Le processus de formation de l'ozone....77
IV.2.4 L'équilibre dynamique de l'ozone....78
IV.2.5 Les réactions chimiques dans l'atmosphère....78
IV.2.6 L'impact des polluants sur l'environnement :....80
IV.2.6.1 Le réchauffement climatique....80
IV.2.6.2 La pollution atmosphérique....80
IV.2.6.3 Les pluies acides....80
IV.2.6.4 Les marées noires....80
IV.2.7 Evolution des émissions des gaz d'échappement de la Centrale de Larbaa (rapport d'analyse effectué le 20 et 21 Avril 2021)....81
IV.2.7.1 Les émissions des gaz d'échappement (mode premix)....81
IV.2.7.1.1 Les oxydes d'azote (NO_X)....81
IV.2.7.1.2 Le monoxyde de carbone (CO)....82
IV.2.7.1.3 Le dioxyde de carbone(CO_2)....83

IV.2.7.2 Evolution des émissions des gaz d'échappement (mode diffusion) 84
IV.2.7.2.1 Les oxydes d'azote (NO_X) 84
IV.2.7.2.2 Le monoxyde de carbone (CO) 86
IV.2.7.2.3 Le dioxyde de carbone (CO_2) 86
Conclusion 87
CONCLUSION GENERALE

Liste des figures

Chapitre 1 :

Figure I: 1 Filiales et Participations....4
Figure I: 2 Logo de la SPE Algérie....4
Figure I: 3 Puissance installée par type d'équipement....6
Figure I: 4 Puissance installée par producteur....6
Figure I: 5 Situation géographique de la Centrale....7
Figure I: 6 Vue satellitaire de la Centrale de Larbaa....7
Figure I: 7 Évacuation de l'Énergie Électrique....9
Figure I: 8 Evacuation d'énergie électrique....9
Figure I: 9 Station poste de gaz....11
Figure I: 11 Station dépotage fuel....11
Figure I: 10 Tank fuel....11
Figure I: 12 Station transfert fuel....12
Figure I: 13 Station d'air comprimé....12
Figure I: 14 station de production d'eau déminéralisée....13
Figure I: 15 Réseau d'eau d'anti incendie....13
Figure I: 16 Groupe électrogène de secours....14
Figure I: 17 Skid final poste gaz....15
Figure I: 18 Station de réfrigération Noria....15
Figure I: 19 Système De drainage....16
Figure I: 20 Bouteille de gaz propane utilise dans circuit d'allumage en cas marche en fuel....16
Figure I: 21 Capotage d'alternateur....17
Figure I: 22 Rotor et stator de l'alternateur....17
Figure I: 23 échangeurs air-eau de refroidissement d'alternateur....18
Figure I: 24 Bouteille de gaz CO2....18
Figure I: 25 Système d'admission d'air....19
Figure I: 26 Compresseur autonettoyant ERVOR....19
Figure I: 27 Circuits de graissage....20
Figure I: 28 Circuit de graissage....20
Figure I: 29 Skid huile hydraulique....21
Figure I: 30 Skid final fuel....22
Figure I: 31 Skid d'injection d'eau....23
Figure I: 32 Salle électrique....23
Figure I: 33 Salle éléctronique....24
Figure I: 34 Transformation principal....24
Figure I: 35 Transformateur de soutirage....25

Chapitre 2 :

Figure II:1 Turbine a gaz a un seul arbre....27
Figure II :2 Turbine à gaz à deux arbres....27
Figure II :3 Rotor et stator de la turbine à action et à réaction....28
Figure II :4 Schéma d'un turbomoteur....29
Figure II :5 Schéma d'un turboréacteur d'avion....29
Figure II :6 Diagramme T-s d'une turbine à gaz à cycle simple....31
Figure II :7 Cycle de Joule (Brayton)....31

Figure II :8 Cycle simple réel 32
Figure II :9 une coupe de la turbine à gaz V94.2 34
Figure II :10 Une coupe de la turbine V94.2 35
Figure II :11 Rotor du turbocompresseur de la turbine V94.2 36
Figure II :12 Stator du turbocompresseur de la turbine V94.2 36
Figure II :13 Aube variable (IGV) du turbocompresseur de la turbine V94.2 37
Figure II :14 Rotor de compresseur 38
Figure II :15 Station Anti-pompage 38
Figure II :16 Chambre à combustion à cône 39
Figure II :17 Vue des bruleurs de la chambre combustion de la turbine à gaz V94.2 39
Figure II :18 Rotor de la turbine 40
Figure II :19 schéma de stator de la turbine 41
Figure II :20 1ér ailette statorique de la turbine 41
Figure II :21 Vireur 43
Figure II :22 Coussinets de turbine 44
Figure II :23 Coussinet du compresseur axial 44
Figure II :24 Vue en coupe du palier lisse coté générateur 45
Figure II :25 Vue intérieure du système d'échappement 45
Figure II :26 Vue extérieure du système d'échappement 46

Chapitre 3 :

Figure III : 1 Le triangle du feu montrant l'association des trois éléments indispensables. 49
Figure III : 2 : image de la flamme 54
Figure III : 3 les différents types de flammes. 54
Figure III : 4 la flamme de diffusion. 54
Figure III : 5 les parties de la flamme de diffusion. 55
Figure III : 6 la flamme pré-mélangée. 57
Figure III : 7 Le Cône 59
Figure III : 8 Dôme de la chambre de combustion 59
Figure III : 9 vue à l'intérieure du dôme 59
Figure III : 10 brique réfractaire à l'intérieur de la chambre de combustion 60
Figure III : 11 chambre mélange de la chambre de combustion 60
Figure III : 12 les bruleurs à l'intérieur de chambre de combustion 60
Figure III : 13 Caisse interne 61
Figure III : 14 Bruleurs utilisés par la turbine à gaz V94.2 61

Chapitre 4 :

Figure IV: 1 Cycle théorique de la turbine à gaz 65
Figure IV: 2 le cycle thermodynamique de Joule de la turbine à gaz V94.2 66
Figure IV: 3 Schéma simplifié d'oxydation des COV induit par le radical OH• et impact sur la formation d'ozone troposphérique 79
Figeur IV: 4 Evolution de la température des fumées et de NOX en Fonction de la puissance électrique 82
Figure IV: 5 Evolution de la température des fumées et des concentrations de CO en fonction de la puissance électrique. 82
Figure IV: 6 Evolution de la température des fumées et des concentrations de CO2 en fonction de la puissance électrique. 83
Figeur IV: 7 Evolution de la température des fumées et des concentrations des NOX en fonction de la puissance électrique. 85

Figure IV: 8 Production de NOX thermique en fonction de la température de flamme et du rapport d'équivalence [30] 85
Figure IV: 9 Evolution de la température des fumées et des concentrations de CO en fonction de la puissance électrique.....86
Figure IV: 10 Evolution de la température des fumées et des concentrations de CO2 en fonction de la puissance électrique.....87

Liste des tableaux

Chapitre 2 :

Tableau II: 1 Caractéristiques de la turbine à gaz V94.2 35

Chapitre 3 :

Tableau III: 1 Exemples de combustibles classés suivants leur phase 49
Tableau III: 2 Composition chimique du Gaz Naturel utilisé au niveau de la centrale de Larbaa (il s'agit des % en volume).....63
Tableau III: 3 composition du combustible liquide fioul de la centrale de larbaa 64

Chapitre 4 :

Tableau IV: 1 Paramètres de la TG N°1 (marche en mode diffusion).....70
Tableau IV: 2 Paramètres de la TG N°3 (marche en mode premix) 71
Tableau IV: 3 Les résultats de Calculs de la TG N°1 (marche en mode diffusion) et la TG N°3 (marche en mode premix) 72
Tableau IV: 4 Les résultats de Calculs de la TG N°1 (marche en mode diffusion) et la TG N°3 (marche en mode premix) 73
Tableau IV: 5 Echelle d'espace et de temps des phénomènes de pollution Atmosphérique 80
Tableau IV: 6 Evolution des paramètres et les émissions des gaz d'échappement lors du fonctionnement mode premix 81
Tableau IV: 7 Evolution des paramètres et les émissions des gaz d'échappement lors du fonctionnement mode diffusion 84

Introduction générale

Introduction générale

La combustion ou plutôt la flamme est la première rencontre des hommes préhistoriques avec ce procédé naturel. A travers les feux de volcans, le tonnerre et les feux de forêts, les premiers humains avaient compris l'utilité de la flamme et ont entrepris sa domestication. Son application a commencé d'abord par la flamme d'éclairage puis la flamme de réchauffe et enfin la flamme de cuisson.

Ce procédé appelé la combustion par l'homme moderne devient la source d'énergie la plus répandue et utilisée dans le monde. La combustion reste la source de beaucoup de formes d'énergie. La combustion interne dans les moteurs de véhicules, avions et fusées pour le transport des êtres humains, la combustion dans les turbines des centrales thermiques pour produire l'électricité d'éclairage, de cuisson et de chauffage.

Aujourd'hui, les centrales thermiques sont à la base de vie humaine, la production d'électricité reste le moyen le plus répandu pour assurer la disponibilité de l'énergie dans les usines, les hôpitaux, les foyers, l'éclairage des rues et plus récemment les bornes de recharge des voitures électriques.

En Algérie, l'utilisation des centrales thermiques est aussi répandue, ces dernières sont dotées de turbines à vapeur localisées près de la per, et de turbines à gaz loin des côtes. Dans la centrale thermique de Larba près de la ville d'Alger, la production d'électricité est réalisée aux moyens d'un train de turbines à gaz parmi elles, la turbine à gaz V94.2 qui fait l'objet de ce mémoire de fin d'études.

Dans ce mémoire, après une introduction, nous commencerons par une présentation détaillée de la centrale thermique de Larbaa, sa situation géographique, ses équipements et matériels. Le chapitre suivant traitera la turbine à gaz d'abord de façon générale puis une étude détaillée de la turbine à gaz 94.2, installée dans cette centrale, sous tous ses aspects tels que ses composants, le principe, ses organes et les caractéristiques de fonctionnement.

Le troisième chapitre traitera le phénomène de la combustion de manière approfondie, les types de combustion, leurs propriétés ainsi qu'une comparaison entre ces derniers. Le dernier chapitre sera consacré à l'étude de l'impact environnemental des rejets gazeux de la turbine à gaz V94.2 sur la nature. Une conclusion générale finale des résultats de l'étude terminera notre mémoire.

Chapitre I:

La centrale thermique de Larbaa [1]

Introduction

Dans ce premier chapitre, nous allons procéder à la présentation de la société SONELGAZ (Société nationale de l'électricité et du gaz) et la filiale SPE (Société Algérienne de Production de l'Electricité), son lieu d'implantation, son organisation administrative ainsi que les détails et caractéristiques techniques propres à cette société.

I.1. Le Groupe de la Société SONELGAZ

La Société nationale de l'électricité et du gaz (SONELGAZ), est une compagnie chargée de la production, du transport et de la distribution de l'électricité et du gaz en Algérie, elle a été créée le 28 juillet 1969, en remplacement de l'entité coloniale précédente Électricité et gaz d'Algérie (EGA), et on lui a donné le monopole de la distribution et de la vente de gaz naturel en Algérie, de même pour la production, la distribution de l'électricité.

La SONELGAZ vit, depuis quelques années, une phase particulièrement importante de son histoire. Désormais, la restructuration de Sonelgaz en filiales, suite à l'avènement de la loi N°01.02 du 05 février 2002 s'est achevée avec la création de l'ensemble des filiales de la nouvelle organisation validée en février 2017, Sonelgaz s'est vu érigée en Groupe industriel composé de 16 filiales.

Ainsi, ses filiales métiers de base assurent la production, le transport et la distribution de l'électricité ainsi que le transport, et la distribution du gaz par canalisations, on compte:

- La Société de Production de l'Electricité (SPE).
- Sharikat Kahraba watakat moutadjadida (SKTM).
- La Société de l'Engineering de l'électricité et du Gaz (CEEG).
- La Société de Gestion du Réseau de Transport Gaz (GRTG)
- L'Opérateur Système électrique (OS), chargée de la conduite du système Production et Transport de l'électricité.
- La Société de Distribution de l'électricité et du gaz (SDC)

Les sociétés travaux du Groupe Sonelgaz, Kahrif, Kahrakib, Etterkib, Inerga et Kanaghaz, sont spécialisées dans le domaine de la réalisation des infrastructures énergétiques (engineering, montage industriel, réalisation de réseaux...) et c'est grâce à ces sociétés que l'Algérie dispose aujourd'hui d'une infrastructure électrique et gazière répondant aux besoins du développement économique et social du pays.

Par ailleurs, les filiales métiers périphériques sont en charge d'activités annexes, telles que la maintenance d'équipements énergétiques, la distribution de matériel électrique et gazier, le transport et la manutention exceptionnels, ... etc.

De plus, le groupe Sonelgaz détient également des participations dans des sociétés, dont le métier est en rapport avec le domaine de l'électricité et du gaz.

Grâce à sa ressource humaine formée et qualifiée, le Groupe Sonelgaz occupe une position privilégiée dans l'économie du pays en tant que responsable de l'approvisionnement de plus de six millions de ménages en électricité et de trois millions en gaz naturel, soit une couverture géographique de plus de **99%** en taux d'électrification et **59%** pour la pénétration gaz.

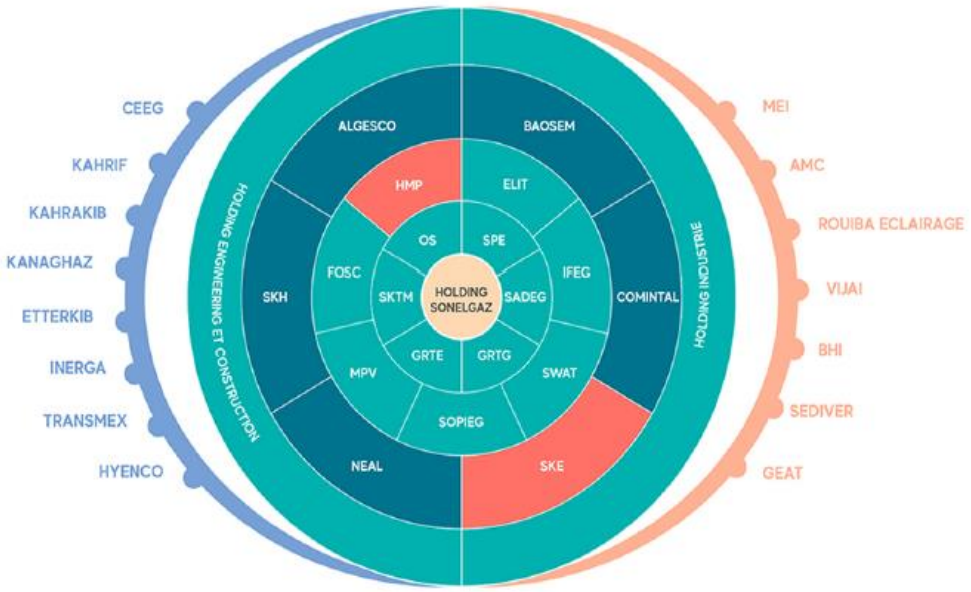


Figure I: 1 Filiales et Participations

I.2. La Société Algérienne de Production de l'Electricité (SPE)

Figure I: 2 Logo de la SPE Algérie

I.2.1 Présentation

C'est un acteur principal et historique sur la scène nationale de la production de l'électricité, la SPE dispose du plus grand parc de production avec 8400 MW installés, ce qui lui confère une position du premier opérateur sur le réseau interconnecté.

La SPE est le plus important fournisseur en énergie électrique en Algérie. Elle est présente sur tout le territoire national, de la plus petite agglomération aux confins du désert, aux grands centres urbains du nord.

La SPE comprend 04 Pôles de Production Turbine à Vapeur et Turbine à Gaz.

I.2.2 Missions et attributions

La Société Algérienne de Production de l'Electricité (SPE) a pour mission la production d'électricité répondant aux exigences de disponibilité, fiabilité, sécurité et protection de l'environnement. Elle est également chargée de commercialiser l'électricité produite. La SPE, met en œuvre un vaste programme de réhabilitation et de développement de son parc de production. Elle ambitionne de demeurer l'opérateur dominant en matière de fourniture de l'énergie électrique. Son programme de développement est orienté vers l'augmentation de :

- La capacité de production,
- La disponibilité des groupes de production,
- La fiabilité des groupes de production

I.2.3 Organisation de la SPE

La société SPE est constituée de :

- Un niveau Central : chargé de la politique générale d'investissement, de maintenance, d'exploitation, de commercialisation et du développement de la Ressource Humaine, il coordonne les activités des Pôles de production.
- Quatre Pôles de production TV/TG (Turbine à Vapeur, à gaz et cycle a combine) disposant de patrimoine propre et dotés d'une large autonomie de gestion.
- Ces pôles regroupent des unités et des groupements répartis à travers le territoire national.

I.2.4 Historique de la SPE

La date de la création et l'évolution de la Société SONALGAZ et ses filiales.

- 1969 : Création de SONELGAZ.
- 1998 : Création de la Direction de Production de l'Electricité DPE.
- 2002 : Loi sur l'Electricité qui ouvre le marché à la concurrence et donne naissance à SONELGAZ Spa.
- 2004 : Création de la société SONELGAZ, Production d'Electricité SPE filiale de SONELGAZ
- 2009 : Changement de dénomination : Société Algérienne de Production de l'Electricité SPE.

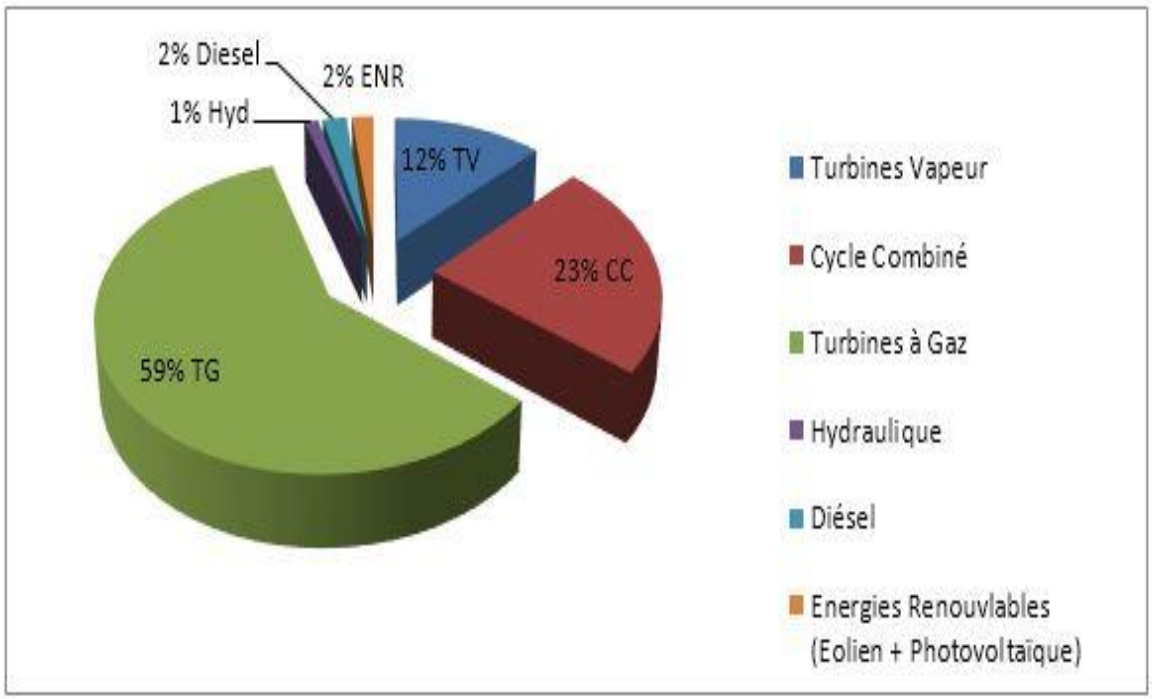


Figure I: 3 Puissance installée par type d'équipement

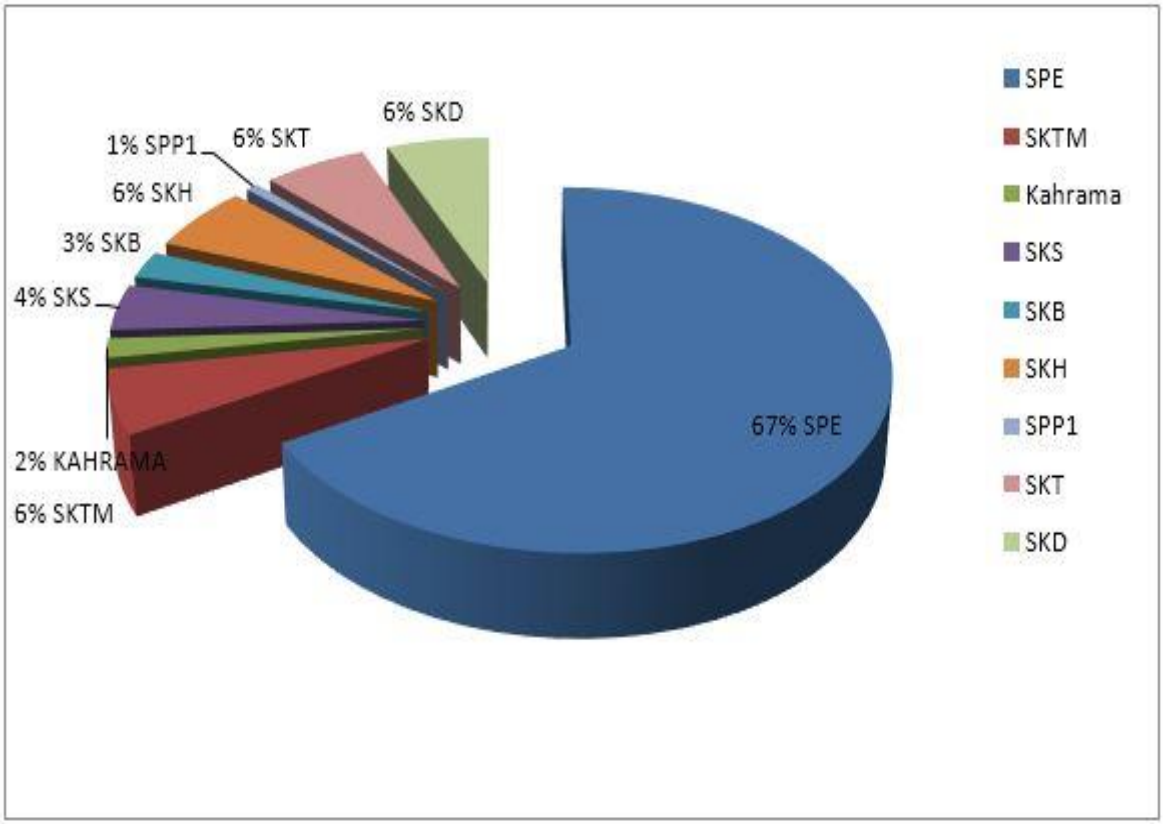


Figure I: 4 Puissance installée par producteur

I.3. La centrale de production d'électricité de Larbaa

I.3.1 Situation géographique

La centrale thermique à turbines à gaz de Larbaa est implantée dans la localité de BELOUADI à environ 04 kilomètres au Nord du chef-lieu de la Daïra de Larbaa, wilaya de Blida et à 08 kilomètres au Sud de la commune des Eucalyptus, Wilaya d'Alger.

Figure I: 5 Situation géographique de la Centrale

I.3.2 Superficie

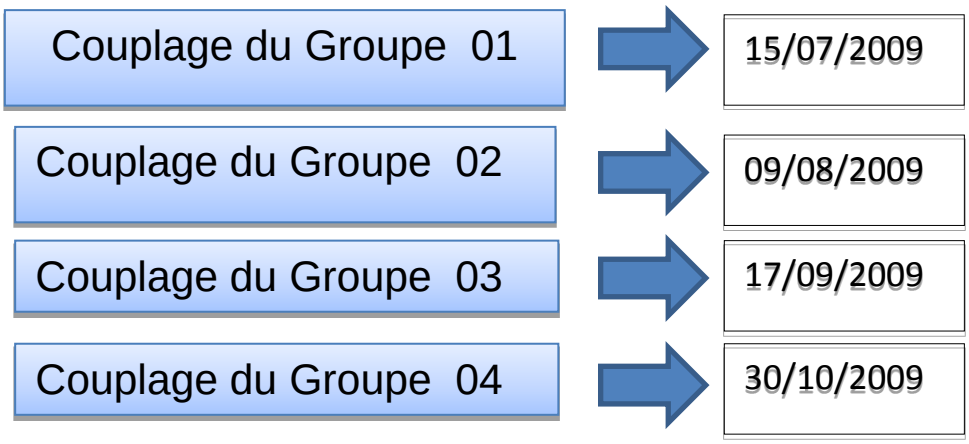
La superficie du terrain servant d'assiette pour l'implantation de la centrale est de 5.4 hectares dont 04 hectares sont acquise auprès des EAC (Exploitations agricoles communes) et 1.4 hectares fait partie de l'assiette du poste 220/60 kV.

Ce site a été choisi en raison de sa proximité à la fois du poste d'évacuation d'énergie électrique et du gazoduc SONATRACH alimentant la capitale et ses environs, passant près de la ville des Eucalyptus.

Figure I: 6 Vue satellitaire de la Centrale de Larbaa

I.3.3 Principales caractéristiques de la centrale

- Localisation du site : Larbaa Wilaya de Blida.
- Superficie du site : 06 hectares environ.
- Type de centrale : Cycle ouvert-turbine à gaz.
- Nombre de groupes : 04.
- La turbine est du type mono arbre à cycle simple tournant à 3000tr/min.
- La centrale est dotée de moyens technologiques lui permettant de fonctionner dans le respect des normes en matière de préservation de l'environnement.
- Puissance totale : 140MW X 04 (560MW aux conditions du site).
- Combustible principal : Gaz naturel.
- Combustible de secours : Gasoil (fuel).
- Constructeur : Ansaldo Energia (Italie).
- Marché : Contrat n°2007/242/KDM/007.
- Date de mise en vigueur du contrat : 30 mai 2007.
- Délais de réalisation globale : environ 30 mois.
- Montant total du projet (centrale électrique et évacuation) : 253 851 503,00 EURO (6 613 433 368,00 DA)
- Dates du premier couplage :



I.3.4 Évacuation de l'Énergie Électrique

La centrale est destinée à faire face :

- A la demande d'énergie résultant de l'implantation dans la région de divers aménagements industriels et domestiques et à assurer un appoint au réseau général interconnecté.
- Le poste d'évacuation de l'énergie électrique est de type extérieur, il est constitué de quatre (04) travées entièrement équipées, aboutissant sur 2 jeux de barres de 220 kV, il est constitué de :

- 04 arrivées groupes.
- 05 départs 220kv (Alger Est 1, Alger Est 2, MetalSider, Béni Merad, Hamr El Ain).
- Un coupleur de barres

Figure I: 7 Évacuation de l'Énergie Électrique

Figure I: 8 Evacuation d'énergie électrique

I.4. Description de la centrale de production d'électricité

I.4.1 Bâtiment administratif :

Ce bâtiment abrite tout le personnel de gestion et de soutien de la centrale.

I.4.2 Bloc de la salle de commande :

Composé en deux parties :

- Rez de chaussé ou se trouve la salle MESA commune (salle électronique et électrique).
- 1er étage : salle de commande du conduit centrale commune des groupes (démarrage et arrêt des groupes).

I.4.3 Atelier mécanique:

Composé des parties :

- Magasin de l'outillage
- Salle des équipements de tournage, fraisage…ect
- Salle des réparations des équipements
- Bureau des ingénieurs et techniciens de maintenance.

I.4.4 Magasin :

Composé en deux parties :

- Magasin léger
- Magasin lourd

I.4.5 Les auxiliaires communs des groupes turbines à gaz V94.2 :

Composé par différentes stations :

I.4.5.1 Station Poste gaz :

- Le gaz naturel est livré sur site à une pression d'environ 65 bar.
- Le poste gaz a pour rôle le traitement et la détente.
- Le traitement consiste à la filtration du gaz et a l'extraction des condensats qu'il contient par un séparateur.
- La détente consiste à un préchauffage préalable suivi d'une réduction de pression de 65 bar à 21 bar par des détendeurs.
- Poste de gaz est composé de :
- Deux (02) lignes de filtration et détente
- Une (01) vanne d'entrée à commande pneumatique du chaque ligne.
- Un (01) séparateur de gaz et deux (02) filtres filtration du chaque ligne.

- Un (01) réservoir de récupération de condensat.
- Deux (02) compteurs pour le comptage gaz.
- Quatre (04) réchauffeurs gaz type ‘‘Bain marie’’ destinés à amener la température du gaz supérieure à 15 °C après détente.
- Huit (08) Lignes de détente gaz pour réduire la pression à 21 bar, dont deux (02) lignes sont destinées pour chaque Groupe.

Figure I: 9 Station poste de gaz

I.4.5.2 Station fuel combustible

La fonction du système est de recevoir le gasoil de la station de dépotage et de le transférer aux réservoirs principaux, des turbines à gaz, des groupes électrogènes et la motopompe diesel anti-incendie le système est composé de :

- Deux pompes de dépotage (2x100%) de 100 m^3/h chacune, équipées de filtres sur la tuyauterie d’aspiration.
- Quatre Réservoirs de stockage de capacité de 9 000 m^3 chacun.
- Deux pompes d’alimentation (2x100%) de 70 m^3/h pour chaque groupe.
- Deux accumulateurs pneumatiques pour chaque groupe.
- Une pompe d’alimentation pour les réservoirs des groupes électrogènes 10 m^3/h.
- Un réservoir de drainage du gasoil avec une capacité de 4 m^3 et une pompe de drainage du gasoil.

Figure I: 10 Station dépotage fuel

Figure I: 11 Tank fuel

Figure I: 12 Station transfert fuel

I.4.5.3 Station d'air comprimé

- La centrale est dotée d'un système de production et de distribution d'air comprimé exempt d'huile, séché et filtré pour les besoin de la centrale.
- Le système comprend principalement:
- Quatre compresseurs d'air de type à vis 07 bar, on a deux en service les autre en secoure.
- Quatre sécheurs d'air du type régénératif à froid.
- Six réservoir d'air sous pression l'air de régulation et de travail.

Figure I: 13 Station d'air comprimé

I.4.5.4 Station de production d'eau déminéralisée

La fonction du système est de traiter l'eau brute pour produire une eau déminéralisée et l'emmagasiner dans un réservoir de 4500 m^3

Figure I: 14 station de production d'eau déminéralisée

I.4.5.5 Station d'anti incendie (eau et mousse) :

- Les réseaux eau anti incendie couvre toute la centrale protégeant ainsi les transformateur TP et TS, les tanks fuel, les équipements non électriques ainsi que les différent locaux de la centrale.
- Le système comprend :
- Un réservoir de 500 m^3.
- Quatre réservoirs mousse de 9m3 chacun destinés aux tanks fuel.
- Une locale eau anti incendie qui abrite :
- Une motopompe diesel 1450 m^3/h.
- Deux électropompe de 1450 m^3/h alimentées par moteurs asynchrones 6.3 kV, 700 kW
- Une électropompe de 20 m^3/h (pompe jockey), alimentée par un moteur asynchrone 0.4 kV, 22 kW

Figure I: 15 Réseau d'eau d'anti incendie

I.4.5.6 Groupe électrogène de secours :

- Un groupe diesel destiné à fournir la puissance pour alimenter les services de sûreté et démarrer une tranche en cas de manque de tension sur le système 220 kV، au fonctionnée en cas de démarrage de la tranche sans tension sur le réseau 220 kV, le démarrage sera possible par les générateurs diesel, pour assurer de graissage des 04 groupe et lancement d'un groupe turbine à gaz, et en cas l'absence de tension au niveau de jeux de barre 6.3 kV pour à l'alimentée des auxiliaires de ce groupe ainsi que des auxiliaires généraux nécessaires à la marche de la centrale pendant le démarrage du groupe.
- Dans certains cas, plusieurs essais de lancement successifs peut être nécessaires.
- Le groupe électrogène alimente le tableau 6.3 kV soit pendant l'absence de tension sur le jeu de barre, soit pendant les essais périodiques.
- Caractéristique de groupe électrogène de secours :
- Marque : CTM Italie
- Nombre de groupe : 02
- Moteur diesel
- Constructeur : MTU GERMANY
- Nombre de cylindre : 20 (type 20v/4000)
- Alternateur :
- Constricteur : STAMFORD.
- Tension nominale : 6.3 kV.
- Vitesse de rotation : 1500 tr/min.
- Puissance : 2846 kVA.

Figure I: 16 Groupe électrogène de secours

I.4.6 Les auxiliaires de groupe turbine à gaz V94.2 :

I.4.6.1 Skid final poste gaz :

Le skid gaz final est composé d'un poste de filtration/séparation finale avec évacuation automatique du condensat, et d'un dispositif de comptage individuel et d'une vanne de sécurité.

Figure I: 17 Skid final poste gaz

I.4.6.2 Station de réfrigération Noria

Le système de réfrigération noria construit de 04 circuit chaque un alimentée une turbine.

Ainsi le système de réfrigération de l'alternateur et de l'huile de graissage de la TG, comprend principalement:

Une unité aero-réfrigérante, avec quatre cellules de ventilation, ayant chacune une capacité égale au 66% de capacité de charge.

Deux pompes de circulation de l'eau réfrigérée, ayant chacune une capacité égale à 100% de la capacité totale nécessaire, pendant le fonctionnement nominal du système une pompe sera en marche tandis que l'autre reste en secours.

- Une bâche haute de 1.5 m^3 et une bâche d'injection chimique de 30 litres
- Le système de réfrigération noria est lié avec les systèmes suivants:
- Système de distribution eau déminée.
- Système de refroidissement du générateur (échangeurs de chaleur air à l'eau)
- Système de refroidissement de l'huile de graissage (échangeurs de chaleur huile à l'eau)

Figure I: 18 Station de réfrigération Noria

I.4.6.3 Salle des machines :

Elle comprend des quatre (04) groupes chaque groupe contient les divers systèmes mécaniques auxiliaires. Tel que :

- Capotage de la turbine :

- Trouver à l'intérieur turbocompresseur
- Moyen de détection incendie au niveau capotage turbine :
- Détecteur infrarouges
- Détecteur thermostatique.
- Détecteur thermo rhéomètres
- Détecteur optique de fumée
- Détecteur de gaz

- Système De drainage :

Un réservoir de fuite recueille le fuel de fuite en provenance des clapets à bille de la chambre de combustion et de différentes lignes de drainage et de surpression.

Figure I: 19 Système De drainage

- Circuit d'allumage

Si la turbine à gaz est démarrée avec du fioul, du gaz en bouteille du propane et de butane et il est disponible en bouteille, peut être utilisé pour l'allumage.

Figure I: 20 Bouteille de gaz propane utilise dans circuit d'allumage en cas marche en fuel

➢ Capotage Alternateur :

Se trouver à l'intérieur alternateur (Générateur) :

- Turboalternateur triphasé à deux pôles avec rotor lisse
- Le générateur à deux pôles à rotor lisse
- Rotor directement couplé à la turbine
- Enroulement amortisseur du rotor
- Générateur expédié complètement assemblé
- Excitation de type statique
- Isolation d'enroulement stator de type Résine-Rich en barre individuelle
- Règles, Standards CEI
- Système d'isolation stator et rotor en classe F
- Système de mise à la masse de l'arbre et d'isolation des paliers pour prévenir la circulation des courants d'arbre.
- Auto-ventilation du stator et du rotor
- Ventilation en circuit fermé avec 04 échangeurs air-eau incorporés dans la carcasse

Figure I: 21 Capotage d'alternateur

Figure I: 22 Rotor et stator de l'alternateur

Figure I: 23 échangeurs air-eau de refroidissement d'alternateur

- **Réseau de gaz CO_2 pour le système anti-incendie :**

Le circuit de gaz CO_2 trouvé au niveau capotage turbocompresseur de 64 bouteilles de CO_2, donc un circuit de CO_2 rapide, qui démarrée la 1er après l'autre circuit lente en cas l'incendie

Le circuit de gaz CO_2 au niveau de capotage l'alternateur de 16 bouteilles de CO_2, est-on à l'autre l'extincteur à CO_2 et à poudre

Figure I: 24 Bouteille de gaz CO2

- **Système d'admission d'air :**

Le conduit de prise d'air est équipé d'un dispositif de filtrage à nettoyage automatique à un seul étage pour fournir de l'air sec et purifié au compresseur de la TG, d'une porte anti-implosion, d'un silencieux, amortisseur et refroidisseur à vaporisation en aval de l'unité de filtrage.

Dans ce système d'admission d'air qui construit **:**

- Système de filtrage
- Système de jets a implosion
- Système de dégivrage
- Porte anti-implosion
- Registre d'air

Figure I: 25 Système d'admission d'air

- **Compresseur autonettoyant :**

Système nettoyage du filtre cylindrique et conique de l'admission d'air Fonctionne en marche du groupe

Figure I: 26 Compresseur autonettoyant ERVOR

- **Capotage de skid gaz final :**

Vanne d'arrêt d'urgence du gaz naturel : est une vanne étanche à fermeture rapide, cette vanne est utilisée pour contrôler la circulation de gaz naturel vers les chambres de combustion au démarrage et à l'arrêt de la turbine à gaz, ainsi qu'au passage du mode de fonctionnement en gaz naturel au mode de fonctionnement en fioul et inversement.

Vanne de contrôle du gaz naturel **:** est une vanne d'arrêt de sécurité étanche à fermeture rapide, qui non seulement contrôle le débit massique de gaz mais fonctionne également comme une vanne d'arrêt.Les deux vannes de régulatrice du gaz pilote et vanne régulatrice (diffusion et pré mélange).

- **Circuit de graissage :**

Le circuit d'huile de graissage se compose d'une cuve à huile placée à proximité de la turbine sur laquelle sont installés les composants suivants :

- Une pompe de soulèvement
- Une motopompe principale a courant alternatif.

- Une motopompe à courant alternatif auxiliaire. ayant un débit d'huile nécessaire à fonctionnement normal.
- Une motopompe à courant continu de secours.
- Deux ventilateurs d'aspiration des buées qui évacuent à l'extérieur les vapeurs se trouvant à la partie supérieur de la cuve.
- Un indicateur de niveau.
- Huile refoulé par les pompes traverse est refroidie à travers des réfrigérants d'huile muni d'un système de régulation de température d'huile à travers vanne thermostatique.
- Deux filtres duplex d'huile situaient sur circuit de graissage en aval de la pompe de soulèvement et l'autre deux filtres de la pompe principale et secours.
- Le système de graissage a pour rôle :
- Assurer la lubrification des coussinets, des paliers, et des divers mécanismes du palier afin de minimiser la friction.
- Assurer le refroidissement des paliers et des diverses pièces à lubrifier

La quantité de chaleur à évacuer nécessite un certain débit d'huile suffisamment élevé pour maintenir la température des paliers dans les limites admissibles (70°c - 80°c).

En service normal l'huile est aspirée par la pompe principale à travers un réfrigérant d'huile (eau/huile) et alimente l'ensemble des paliers du GTA.

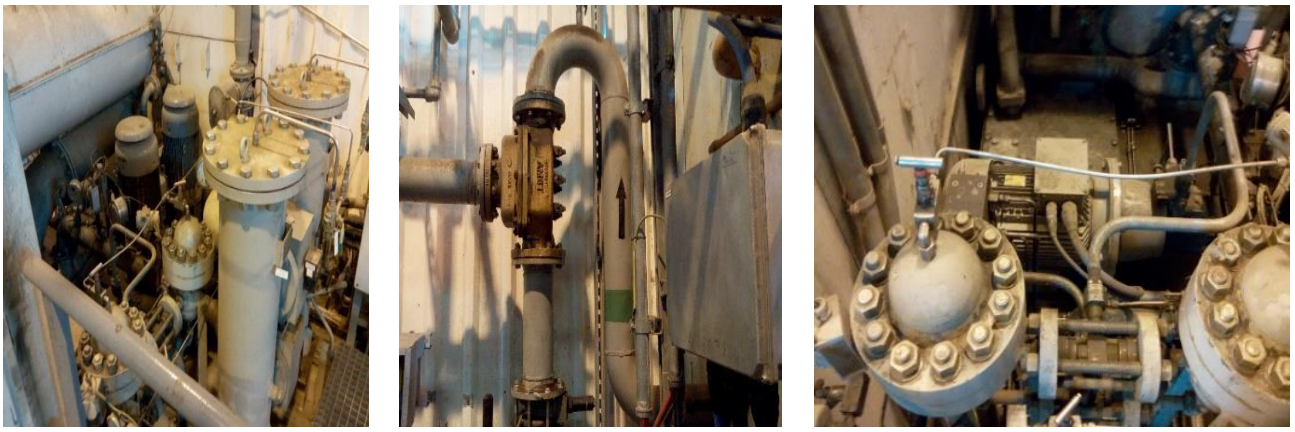


Figure I: 27 Circuits de graissage

Figure I: 28 Circuit de graissage

- **Circuit de l'huile hydraulique :**

Le système hydraulique à haute pression est utilisé pour la commande de et positionner les soupapes de la régulation de combustible (gaz ou fuel) et les soupapes de la régulation d'injection d'eau.

L'unité a la fonction de fournir l'huile hydraulique nécessaire pour faire fonctionner les actionneurs des soupapes à la pression requise, en quantité suffisante, à la température optimale et en condition pure.

L'unité centrale d'alimentation de l'huile hydraulique comprend tous les composants essentiels à l'alimentation d'huile hydraulique, tels que les pompes, les filtres, et les accumulateurs et tous les composants sont montés sur le réservoir de l'huile hydraulique est appelé skid d'huile hydraulique

Figure I: 29 Skid huile hydraulique

- **Skid final fuel :**

le skid est composé de :

- Une pompe d'injection fuel entrainée par un moteur électrique de 6 kV, pression d'aspiration:07 bar et refoulement max : 120 bar.
- Deux accumulateurs à chambre azote (N_2).
- Deux filtres gasoil.
- Deux réservoirs de drainage $1m^3$.
- Une soupape d'arrêt d'urgence.
- Une soupape de contrôle retour fuel.
- Une soupape d'arrêt retour fuel.
- Un compteur de débit fuel (l'un pour l'alimentation, l'autre pour le retour fuel).
- Système fuel : qui alimente les brûleurs en fuel liquide et contrôle la quantité requise pour le démarrage, le fonctionnement et l'arrêt, qui doit être injectée dans les chambres de combustion.
- Les composants les plus importants du système de fioul sont décrits :
- Le système d'alimentation en fuel comprend une pompe d'injection (centrifuge) pour les élévations de pression du fuel dépassant les valeurs requises pour la pulvérisation dans les brûleurs

- Vanne d'arrêt d'urgence de la ligne d'alimentation : autorise ou interdit le fuel de se répandre dans les chambres de combustion au démarrage, à l'arrêt ou bien au passage du fonctionnement en mode fuel au fonctionnement en mode gaz naturel et inversement.
- Vanne d'arrêt d'urgence de la ligne de retour : durant l'arrêt de la turbine à gaz, la vanne d'arrêt d'urgence de la ligne de retour empêche le fuel d'envahir la chambre de combustion à travers la ligne de retour si la pression monte.
- Vanne de contrôle de la ligne de retour **:** rôle de la vanne de contrôle de la ligne de retour de réguler l'écoulement du fioul dans la ligne de retour, en déterminant le volume de combustible injecté.

Figure I: 30 Skid final fuel

- **Système d'injection D'eau :**

Rôle de système d'injection de l'eau à réduire l'émission de NO_x et refroidissement la flamme et les parois de la chambre de combustion pendant la marche à fuel.

De la demi-eau est nébulisée dans les brûleurs dans la zone des flammes, pour en réduire la température locale des flammes c'est en marche en fuel pour coté protection sur la $1^{ér}$ et $2^{é}$ directrice de la turbine.

Le système est constitué de pompes, un système de filtrage, soupapes de régulatrice et d'arrêt, drainage, débitmètre.

Le débit d'eau qui injectée est varia selon la charge instantanée de la turbine à gaz.

La pompe centrifuge pour l'injection de l'eau amène l'eau déminée aux brûleurs à la pression nécessaire.

La soupape d'arrêt d'injection de l'eau, pilotée hydrauliquement pour assurer la fermeture rapide lorsqu'il faut déclencher le système d'injection de l'eau.

La soupape régulatrice, placée en aval de la soupape d'arrêt, est pilotée hydrauliquement, elle règle l'eau à injecter selon la charge instantanée de la Turbine à Gaz.

Figure I: 31 Skid d'injection d'eau

- **Système des auxiliaires du chaque groupe :**

La Salle MESSA (Salle électrique et électronique):

- **Salle électrique:**

Le tableau haute tension (HTA) 6.3 kV :chaque groupe est alimenté principalement par le transformateur de soutirage 15.5 kV/6.3 kV, il est au même temps secours par deux groupes électrogènes raccordés au tableau commun haute tension.

Figure I: 32 Salle électrique

- **Salle électronique :**

Système contrôle commande :

Le système contrôle commande installé (GTCMPS) est basse sur le contrôle harmonie symphonie d'ABB, il est conçu pour exécuter les fonctions de contrôle, d'analyse, de protection et de supervision de l'ensemble turbine-générateur.

Les 04 groupes et la partie commune échangent les données nécessaires pour le contrôle et la surveillance à travers une boucle C-Net type redondant.

L'exploitation est prévue soit au niveau de la salle de commande de centrale.

Figure I: 33 Salle éléctronique

- **Transformateur principal :**

Le rôle du transformateur est d'élever la tension électrique à 225 kV à la sortie de la centrale pour alimenter le post d'évacuation d'énergie électrique.

.

Figure I: 34 Transformation principal

- **Transformateur de soutirage :**

Chaque transformateur de soutirage doit assurer les conditions normales habituelles de services, c'est-à-dire :

Le démarrage d'une tranche, son fonctionnement sur réseau à toutes charges partielles comme à plein charge, sa mise et tenue en îlotage, son arrêt ; ceci compte tenu des auxiliaires communs aux deux tranches.

Il alimente la barre 6.3 kV à partir du 15.5 kV, muni de 17 niveaux de réglage automatique avec refroidissement ONAN.

Figure I: 35 Transformateur de soutirage

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une présentation générale de la centrale de Larbaa et ses différentes parties. Cette partie nous a permis de connaitre des données générales sur le secteur de l'électricité de la centrale et les principaux équipements de la centrale de TG Larbaa.

Chapitre II :

La turbine à gaz V 94.2

Introduction

Dans ce chapitre nous allons d'abords découvrir la turbine à gaz sous l'ensemble de ses généralités, à savoir une description, principe de fonctionnement, classification et caractéristiques théoriques de cet équipement appuyés par des schémas démonstratifs.

Ensuite nous enchaineront sur l'étude de la turbine à gaz V94.2 utilisée dans la centrale de Larbaa. Nous la présenteront sous tous ses aspects détaillés.

II . 1 Généralités sur les turbines à gaz

Dans ce début de chapitre, nous allons présenter et découvrir les turbines à gaz. C'est-à-dire, connaitre le fonctionnement, les organes, les caractéristiques ainsi que leur domaine d'application.

II.1.1 Définition de la turbine à gaz

La turbine à gaz est un moteur à combustion dans lequel un élément actif gazeux habituellement de l'air, se trouve comprimé, chauffé et détendu pour fournir une force utilisable.

C'est un moteur dans lequel l'énergie thermique est transformée en énergie mécanique de rotation. Le travail utile étant produit par la détente des gaz à travers des aubages.

II.1.2 Evolution de la turbine à gaz [2]

Dans son histoire, la turbine à gaz a connue plusieurs étapes d'amélioration jusqu'à la configuration d'aujourd'hui. Ses performances et constructions continuent d'évoluer sans cesse.

En 1791, l'Anglais John Barber brevetait un appareil hybride puisque cette turbine à gaz comportait un compresseur alternatif. Pour les turboréacteurs, c'est le Français Lorin qui,

En1911, en fait breveter le principe. Entre 1901 et 1906, les recherches des Français Armengaud et Le Male aboutissent au Premier turbomoteur autonome avec un rendement global à 3%.

En 1930 : Brevets par Frank Whittle de moteurs à réaction d'aviation qui sont des turbines à gaz. Les années 1950 : utilisation des turbines pour la production d'électricité avec un Rendement de 30%.

II.1.3 Classification des turbines à gaz [3]

On peut classer les turbines selon différents façons :

II.1.3.1 Par le mode de construction

- **Turbine mono-arbre (à un seul arbre)**

Le compresseur et les sections de la turbine sont montés sur un même arbre ce qui permet de tourner à la même vitesse.

Ce type est utilisé pour les applications qui n'ont pas besoin des variations de vitesse. Tel que l'entraînement des génératrices pour la production de l'électricité. [3]

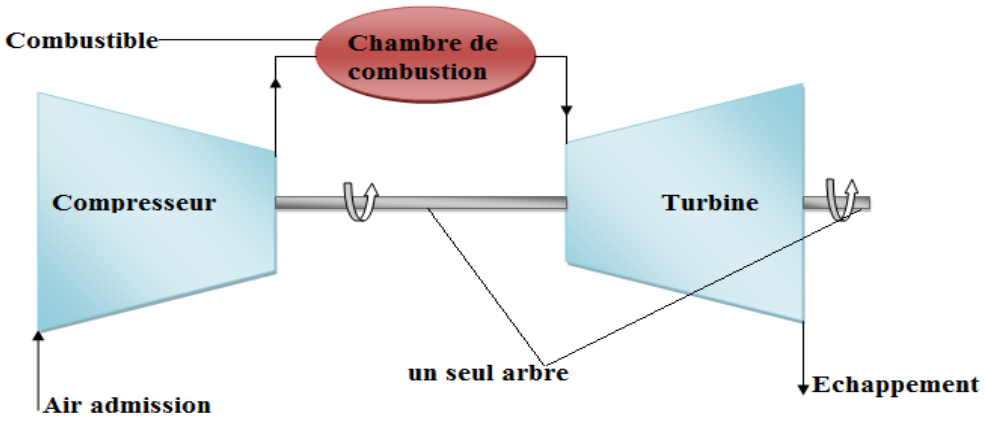


Figure II:1 Turbine a gaz a un seul arbre [4]

- **Turbine à gaz à deux arbres**

Contrairement à la turbine à gaz, à un seul arbre, les deux sections de turbine ne sont pas reliées mécaniquement ce qui leur permet de tourner à des vitesses différentes.

Ce type est utilisé dans les applications qui demandent une large variation de vitesse tel que l'entraînement des pompes et compresseurs transportant les hydrocarbures. [4]

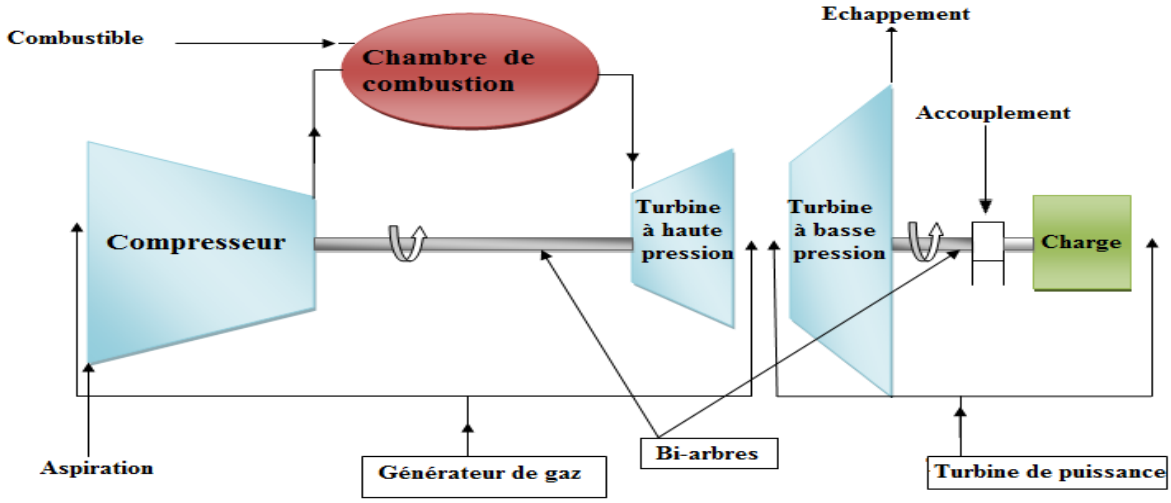


Figure II :2 Turbine à gaz à deux arbres [4]

II.1.3.2 Chambre à combustion

Il existe plusieurs types de chambre à combustion tels que :

Les chambres Annulaires**,** sphérique, conique, etc...

II.1.3.3 Type de combustible

On peut utiliser plusieurs combustibles dans les turbines à gaz :

Gaz, fuel ou charbon, etc…

II.1.3.4 Par le mode de travail

- **Turbine à action**

Dans les turbines à action, l'énergie de pression potentielle est entièrement convertie en énergie cinétique dans le distributeur. Le rotor est partiellement alimenté par un écoulement sans pression.

« Partiellement alimenté » signifie que seules quelques-unes des aubes mobiles sont alimentées en même temps par le jet. [5]

- **Turbine à réaction**

Dans les turbines à réaction, la pression à l'entrée du rotor est plus élevée qu'à sa sortie. La transformation de l'énergie de pression a lieu à la fois dans le distributeur et dans le rotor. L'énergie cinétique est ensuite convertie en travail mécanique dans le rotor. Le rotor est intégralement alimenté par l'écoulement. « Intégralement alimenté » signifie que le périmètre complet des rotors est traversé par le milieu de travail. [5]

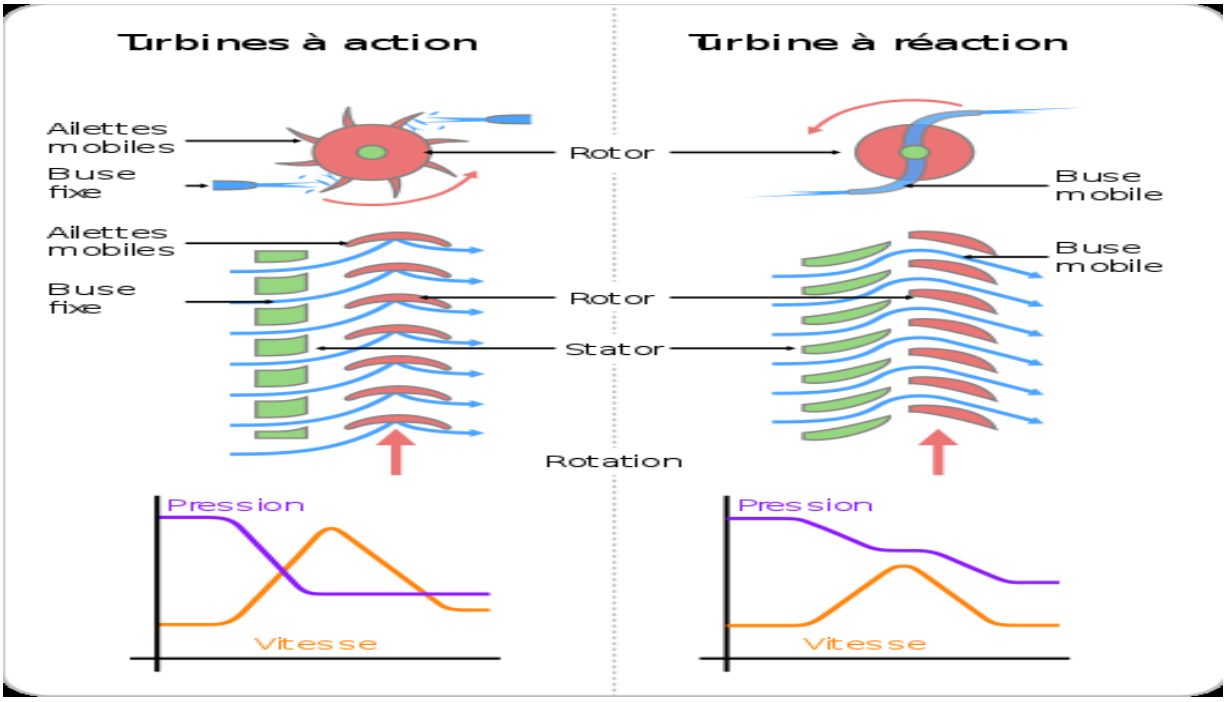


Figure II :3 Rotor et stator de la turbine à action et à réaction [6]

II.1.3.5 Par le mode de fonctionnement thermodynamique

- **Turbine à gaz à cycle ouvert**

C'est une turbine dont l'aspiration et l'échappement s'effectuent directement dans

L'atmosphère, ce type de turbines est le plus répandu, il se divise en deux classes :

- **Turbine à cycle simple**

C'est une turbine utilisant un seul fluide pour la production d'énergie mécanique, après la détente les gaz possédant encore un potentiel énergétique qui est perdu dans l'atmosphère à travers l'échappement.

- **Turbine à cycle régénéré**

C'est une turbine dont le cycle thermodynamique fait intervenir plusieurs fluides moteurs dans le but d'augmenter le rendement de l'installation.

II.1.4 Catégories des turbines à gaz

Les turbines à gaz sont classées en deux catégories selon la nature de la puissance récupérée du fluide en sortie de la turbine. On distingue : Les turbomoteurs et les turbopropulseurs.

Dans les turbomoteurs, la turbine à gaz génère de la puissance mécanique extrait d'un arbre Cet arbre peut entrainer un rotor d'hélicoptère, une hélice d'avion, un alternateur et autres.

Dans les turbopropulseurs, la turbine à gaz génère de l'énergie cinétique sous forme d'un jet à haute vitesse qui sert à propulser les avions par principe d'action, réaction d'où l'appellation réacteur d'avion. [7]

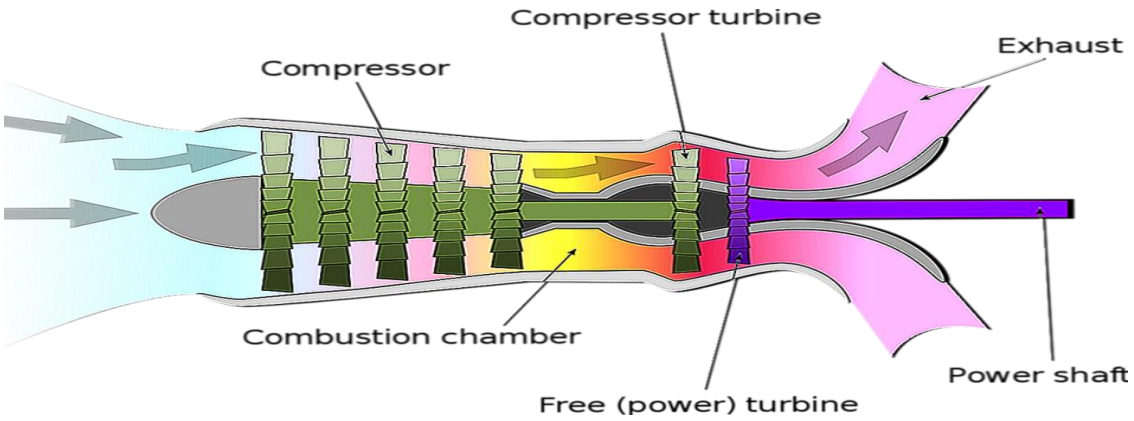


Figure II :4 Schéma d'un turbomoteur

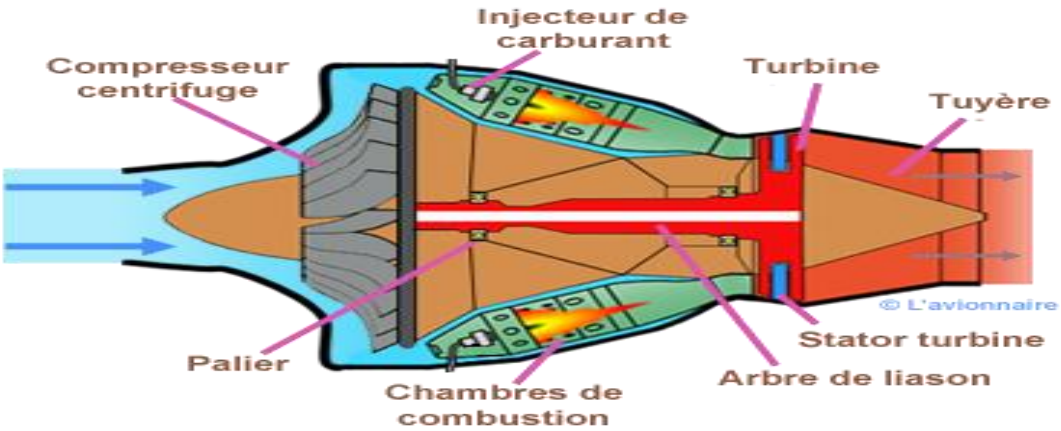


Figure II :5 Schéma d'un turboréacteur d'avion

II.1.5 Principe de fonctionnement de la turbine à gaz

Une turbine à gaz fonctionne en suivant ces étapes :

- **Admission :** Elle extrait de l'air du milieu environnant.
- **Compression** : Elle le comprime à une pression plus élevée.
- **Combustion :** Elle augmente le niveau d'énergie de l'air comprimé en ajoutant et en brûlant le combustible dans une chambre à combustion.
- **Détente :** Elle achemine les gaz brulés à pression et à température élevées à travers la section de la turbine de puissance.
- **Échappement** : Elle décharge à l'atmosphère les gaz brulés à basse pression et température.

L'air entre dans le compresseur au point (1) à des conditions atmosphériques (à une température et une pression atmosphérique ambiantes), les conditions de conception standard sont par convention classifiées comme des conditions ISO, avec les valeurs de référence suivantes:

- Température ambiante: 15 (ºC).
- Pression ambiante: 1013 (mbar).
- Humidité relative: 60 (%).

L'air est comprimé à l'intérieur du compresseur et sort au point (2s) pendant une transformation adiabatique de (1) à (2s) à une température et pression élevées en raison de la compression, l'air entre dans la section de combustion pratiquement dans les mêmes conditions de pression et de température qu'au point (2s). Le combustible est injecté dans la chambre de combustion par un bruleur et la combustion se produit pratiquement à une pression constante.

La transformation de (2s) à (3) est isobare avec une haute augmentation de température à l'effet de la combustion. La température finale à la sortie de la chambre de combustion, de la transformation du point (3) est inférieure, car c'est le résultat du mélange des gaz de combustion primaire avec l'air de refroidissement.

Les gaz sortant de la chambre de combustion traversent la section de la turbine convertissant l'énergie thermique et la pression, en énergie cinétique et, au moyen de la rotation de l'arbre, en travail utile externe, grâce à l'accouplement avec une machine conduite en aval de la section (4s), des gaz sont évacués dans l'atmosphère. [8]

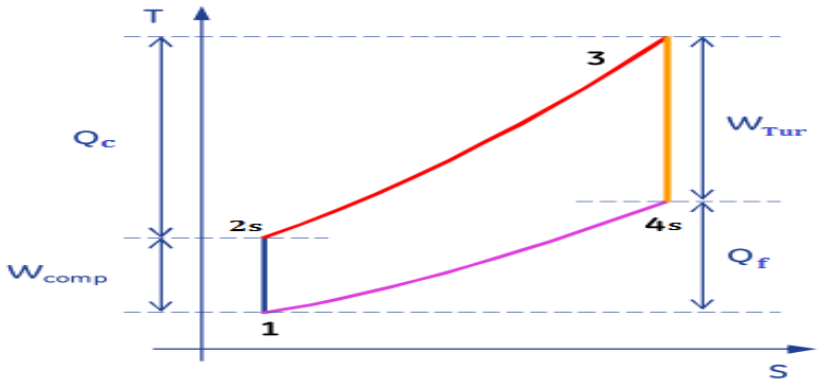


Figure II :6 Diagramme T-s d'une turbine à gaz à cycle simple [9]

II.1.6 Cycles des turbines à gaz

II.1.6.1 Cycle de base (Cycle de Joule ou de Brayton)

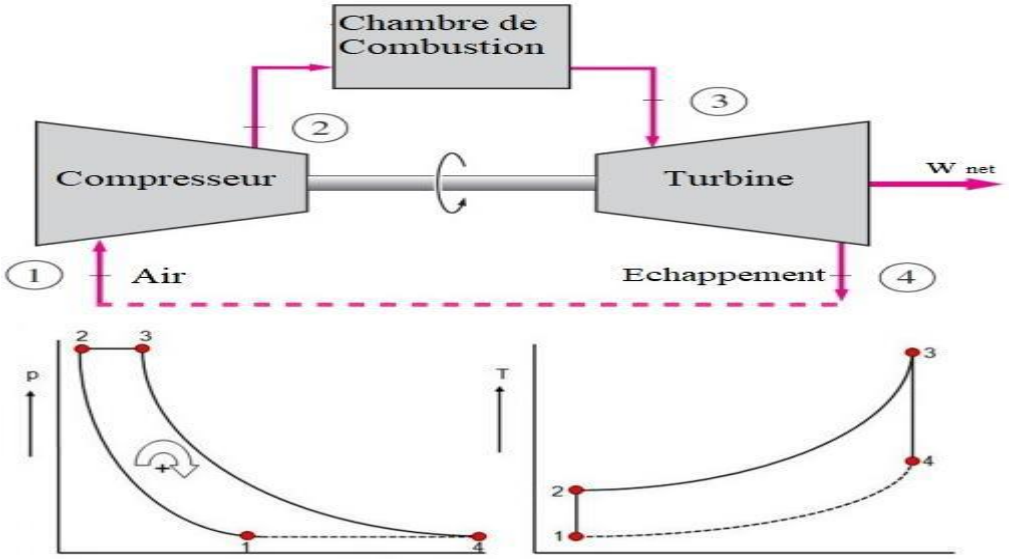


Figure II :7 Cycle de Joule (Brayton) [10]

Dans sa forme la plus simple, la turbine à gaz fonctionne selon le cycle dit de Joule (ou de Brayton) comprenant :

- une compression adiabatique qui consomme de l'énergie mécanique ;
- une combustion isobare ;
- une détente adiabatique jusqu'à la pression ambiante qui produit de l'énergie mécanique.
- Le cycle de Joule, comme il est représenté dans la figure-2.29, comporte deux processus isentropiques (adiabatiques et réversibles) et un processus isobare.

- ✓ Le processus 1-2 représente la compression isentropique.
- ✓ Le processus 2-3 représente la combustion isobare.
- ✓ Le processus 3-4 représente la détente isentropique.
- ✓ Le processus 4-1 représente l'échappement isobare

II.1.6.2 Cycle réel

L'étude de ce cycle devrait, en toute rigueur, tenir compte de toutes les imperfections des différentes parties de cette machine, en fait, nous ferons intervenir les rendements du compresseur et de la turbine, nous adapterons pour les fluides traversant la turbine et le compresseur, les hypothèses simplificatrices suivantes :

- ✓ Le fluide est un gaz parfait
- ✓ **γ** = cte

Le cycle réel d'une turbine à gaz est représenté dans la figure suivante :

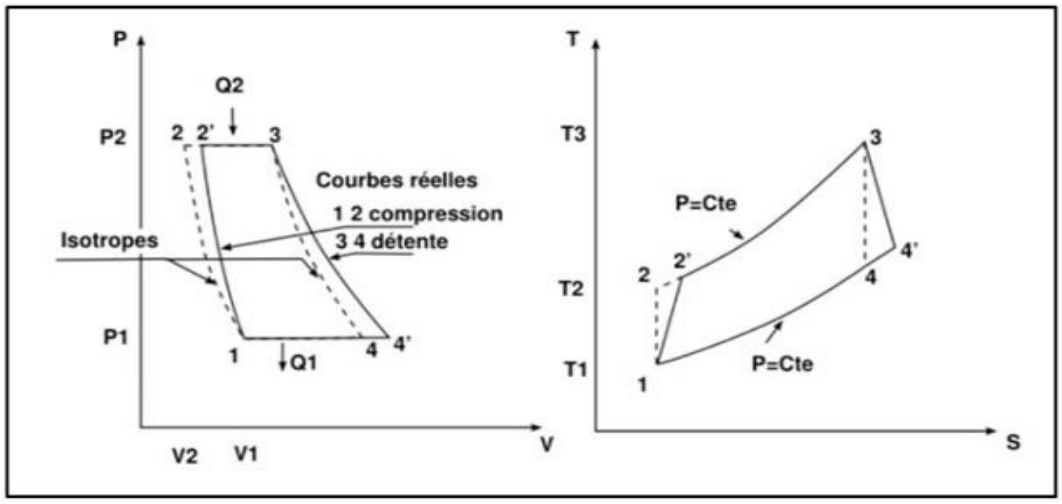


Figure II :8 Cycle simple réel [10]

Ce cycle comporte :

- ➢ Une compression adiabatique avec augmentation d'entropie de (1) à (2) ;
- ➢ Une combustion avec une chute de pression due aux pertes de charge de (2) à (3) ;
- ➢ Une détente adiabatique jusque à la pression atmosphérique avec augmentation d'entropie de (3) à(4).

II.1.7 Domaine d'applications de la turbine à gaz [11]

II.1.7.1 Production d'électricité

La turbine à gaz de grande puissance (> 1 MW) est surtout utilisée pour entraîner un alternateur et produire de l'électricité.

Les infrastructures et le génie civil nécessaires pour une centrale électrique équipée de turbines à gaz sont réduits, ce qui permet d'installer en quelques mois une centrale tout près du lieu d'utilisation de l'électricité (ville, usine) ou de la source de combustible (port, forage, raffinerie etc…).

La turbine et l'alternateur sont acheminés sous forme de modules compacts et complets qu'il suffit d'assembler et de raccorder aux réseaux dans des climats où la température extérieure peut aller de -40 à +50 °C.

Un des avantages des centrales à turbine à gaz est le temps réduit pour la mise en œuvre, le gestionnaire d'un réseau de distribution électrique peut ainsi moduler facilement la capacité de production pour s'adapter aux variations de la consommation.

II.1.7.2 Propulsion

C'est grâce à leur puissance massique et puissance volumique élevées que de petites turbines sont utilisées pour motoriser les hélicoptères et autres véhicules. Des trains (Turbotrains), mais aussi des chars d'assaut, des navires, sont propulsés par des turbines à gaz de puissance moyenne. Les turboréacteurs et les turbopropulseurs sont des turbines à gaz utilisées en aéronautique pour propulser des aéronefs modernes et rapides

II.1.7.3 Moteur

Les industries pétrolière et gazière utilisent des turbines à gaz pour entraîner des pompes pour les pipelines de pétrole et des compresseurs pour les gazoducs.

II.1.7.4 Production combinée chaleur-force

Ce type d'application permet d'économiser les dépenses d'énergies. Le couple de force peut servir à l'entraînement d'une machine réceptrice et la chaleur peut servir pour le chauffage, séchage, production de vapeur pour un processus industriel.

Le principe de cette application peut être encore poussé plus loin pour obtenir des installations industrielles dites à énergie totale où la turbine à gaz peut fournir simultanément trois formes d'énergie : électrique (alternateur), pneumatique (par prélèvement d'air sur le compresseur), calorifique (récupérateur de chaleur des gaz d'échappement).

Le rendement de telles installations est ainsi fortement revalorisé et peut atteindre 50 à 60%.

II.1.8 Les avantages et inconvénients des turbines à gaz [12]

II.1.8.1 Les avantages

Elle présente des avantages importants tels que :

- Faible encombrement
- Bon rendement
- Fiables
- Équipements auxiliaires « bon marché »
- Sauf au démarrage et arrêt, la puissance est produite d'une façon continue

- Possibilité de fonctionnement à faible charge

II.1.8.2 Inconvénients

- Combustibles propres donc coûteux (les gaz brûlés se détendent directement dans la turbine)
- Temps de lancement beaucoup plus long que celui d'un groupe diesel, à titre indicatif : 30 à 120s pour une turbine, 8 à 20 s pour un groupe diesel
- Rendement inférieur à celui d'un moteur diesel (cycle simple). A titre indicatif : 28 à 33 % pour une turbine de 3000 kW, 32 à 38 % pour un groupe diesel

II.2. Description de la turbine à gaz V94.2 de la centrale de production d'électricité

La turbine à gaz du type V94.2 de comme toutes les autres turbines à gaz a pour rôle de transformer l'énergie calorifique d'une combustion en énergie mécanique sous forme d'un mouvement de rotation, transmis à un alternateur et ainsi produire de l'électricité.

Cette turbine à gaz V94.2, est à un seul arbre. Elle se compose d'abord d'un compresseur axial de 16 étages, dont le rôle est de comprimer l'air extérieur pour suralimenter la chambre à combustion. Une chambre à combustion qui produit des gaz brulés de pression et température élevés destinés à entrainer le rotor de la turbine à 4 étages. Ce dernier entraine le compresseur axial ainsi que l'alternateur générateur de courant électrique.

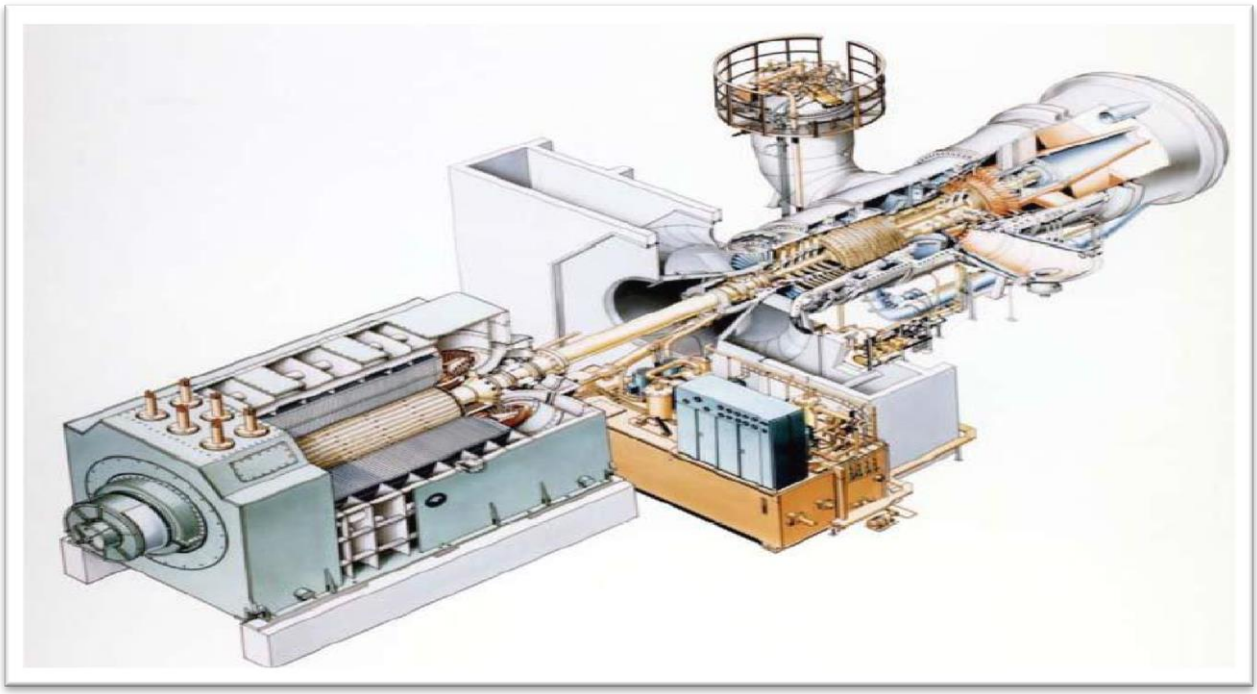


Figure II :9 une coupe de la turbine à gaz V94.2

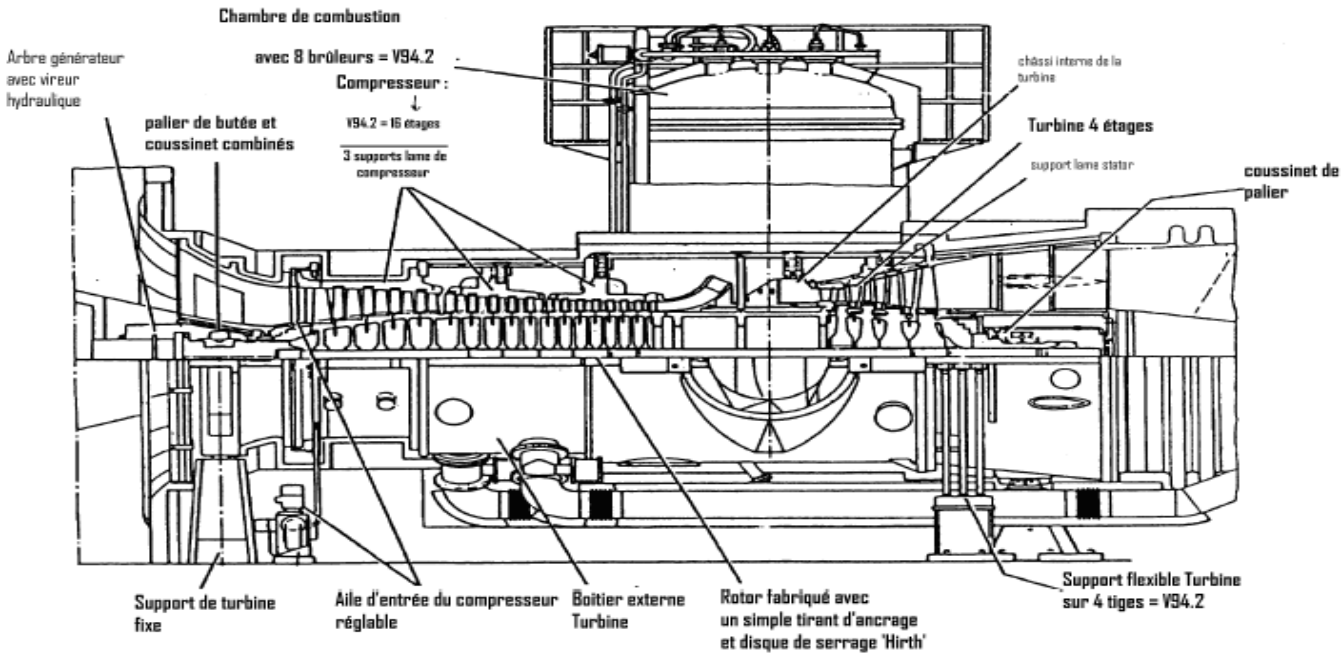


Figure II :10 Une coupe de la turbine V94.2

II.2.1 Caractéristiques générales de la turbine à gaz V94.2

Tableau II: 1 Caractéristiques de la turbine à gaz V94.2

Puissance nominale	140 MW	
Fréquence	50 Hz	
Organes	Les caractéristiques	
compresseur	nombre d'étages	16
	nombre d'étages d'aubes directrices à orientation variable (IGV)	1
	points de soutirage en aval étages d'aubes fixes	2 picages au niveau de $5^{ème}$ et un seul picage de$10^{ème}$
	taux de compression	12
Chambre à combustion	Type	chambre à corne
	nombre de chambre de combustion	2
	nombre de brûleurs	8
	Nombre de dispositifs d'allumage	1 par brûleur
	Type d'éléments contrôle flamme	Capteurs de flamme
	Type d'allumeurs	Bougies
	Protection tuyau flamme	Carreaux en céramique
	Nombre de tuyaux flamme	2
	Nombre d'éléments contrôle flamme	2 par chambre de combustion
turbine	nombre d'étages	4
	débit des gaz d'échappement	≈ 532 kg/s
	température des gaz d'échappement	≈ 570°C

II.2.2 Composants de la turbine à gaz V94.2

II.2.2.1 Turbo compresseur

II.2.2.1.1 Le rotor

Les sections compresseur et turbine forment un seul rotor supporte par deux paliers à chaque extrémité le rotor est constitué de disques chacun desquels portant une couronne d'aubes et de trois arbres creux : à l'avant, au milieu et à l'arrière.ils sont maintenus ensemble par un tirant central.

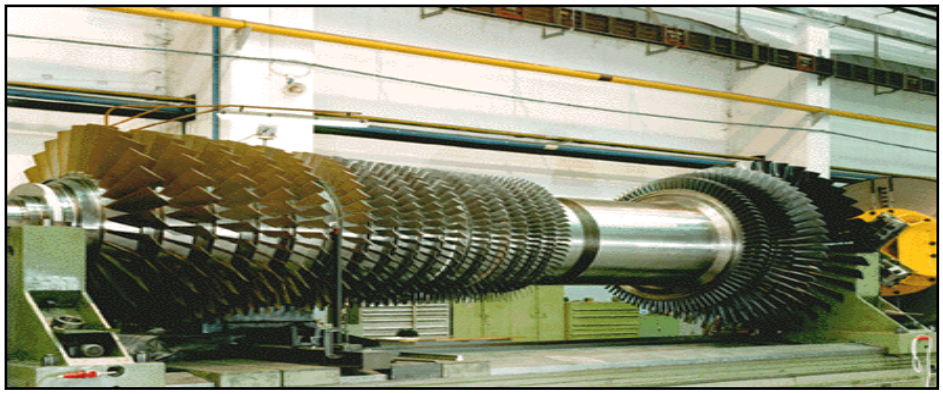


Figure II :11 Rotor du turbocompresseur de la turbine V94.2

II.2.2.1.2 Le stator

C'est la partie fixe. Il est doté à son entrée d'un seul étage d'aubes à orientation variable dites IGV, destinées d'une part à maintenir la température des gaz d'échappement constante pour éliminer les baisses de rendement, et d'autre part pour assurer la stabilité et éviter le phénomène d'anti-pompage.

Au démarrage les IGV sont réglées à la position fermée à 44 °, lorsque la turbine atteint 95 % de sa vitesse nominale elles s'ouvrent jusqu'à un angle de 87°, et à l'arrêt elles reprennent la position 44°.

Figure II :12 Stator du turbocompresseur de la turbine V94.2

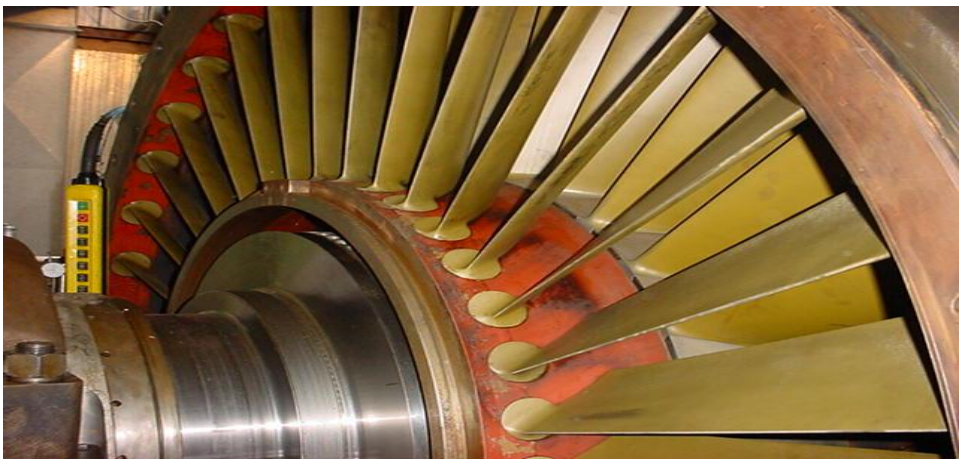


Figure II :13 Aube variable (IGV) du turbocompresseur de la turbine V94.2

II.2.2.1.3 La section compresseur axial

Le compresseur axial se compose de 16 étages, chaque étage consistant en une série d'ailettes rotor et stator.

Le compresseur et la turbine sont conçus avec un seul arbre et de ce fait, ils forment une unité unique.

L'air froid insufflé de l'extérieur en condition du site est comprimé et se chauffe en traversant la section du compresseur.

Les ailettes du stator et du rotor du compresseur transforment l'énergie mécanique (rotor en rotation) en un flux d'énergie de pression.

L'air défluant à travers le compresseur de la TG est accéléré alternativement par un étage d'ailettes du rotor transformant l'énergie mécanique en énergie cinétique de l'air puis renversé (retardé) par un étage d'ailettes du Stator qui transforme cette énergie cinétique en pression.

Sa pression et sa température augmentent progressivement tandis que son volume spécifique décroit, jusqu'à atteint la pression de décharge du compresseur PCD soit 10bar.

Les étanchéités sont fournies pour éviter que l'air, dont la pression augmente étage par étage, fuie.

Le compresseur est équipé par des ailettes stator réglables IGV à l'entrée du compresseur pour laisser passer un certain débit d'air nécessaire pour la combustion.

Le flux d'air à travers la turbine à gaz est contrôlé en réglant l'ouverture des IGV du compresseur, et le pourcentage de l'ouverture dépend de la charge de groupe et la boucle de régulation de température du groupe, cela permet de maintenir la bonne température d'échappement de la turbine sur une plage limitée de charge.

La fonction du support de palier du compresseur est de porter le rotor et supporter le compresseur sur les fondations.

Figure II :14 Rotor de compresseur

Le support de palier comprend une partie intérieure et une partie extérieure qui formeront la conduite d'admission du compresseur et qui sont raccordées moyennant les entretoises, avec la partie intérieure ou loge le coussinet et les équipements auxiliaires.

Le palier combiné et la butée avec l'anneau de réglage est logé dans le plan d'entretoise. L'arbre est étanche grâce à l'anneau d'étanchéité du coussinet sur la partie frontale et à une boîte à graisse sur la partie postérieure.

Le diffuseur à la sortie du compresseur convertit l'énergie cinétique du flux d'air comprimé en pression statique au rendement le plus haut possible.

Un déflecteur de guide à la sortie du diffuseur assure le flux de retour.

II.2.2.1.4 Le système anti-pompage du compresseur axial

Ce système travaille au démarrage et en phase d'arrêt pour éviter le pompage du compresseur axial pendant sa vitesse critique et la phase transitoire, il est muni des systèmes anti-pompage.

Donc ce compresseur est équipé de deux vannes anti-pompage qui sont situées au $5^{ém}$ étage et une vanne située au $10^{éme}$ afin de minimiser les vibrations pendant l'allumage et régime transitoire de la turbine à gaz.

Ces systèmes anti-pompage évitent aux ailettes une charge excessive durant ces conditions opérationnelles.On signale que le phénomène de pompage propre aux turbocompresseurs, est un phénomène vibratoire qui peut endommager sérieusement le compresseur.

Figure II :15 Station Anti-pompage

II.2.2.2 La chambre à combustion

La turbine à gaz V94.2 est équipée de deux chambres de combustion, montées verticalement sur les côtés de la turbine à gaz de type à cône et connectées aux brides latérales de l'enveloppe extérieure de la turbine à gaz.

Cette structure de la chambre de combustion offre une bonne accessibilité à toutes les composantes pour les inspections et si nécessaire, montage et démontage facile.

Chaque chambre à combustion contient huit bruleurs, autorés à l'interieur en brique réffractair et au niveau de la chambre à combustion on a 03 vannes : vanne diffusion, pré mélange et pilot

Tous les brûleurs sont égaux et la distribution du gaz naturel aux brûleurs individuels est donc uniforme.

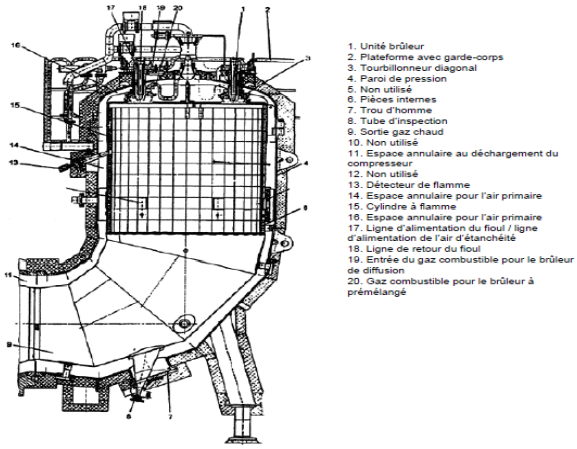


Figure II :16 Chambre à combustion à cône

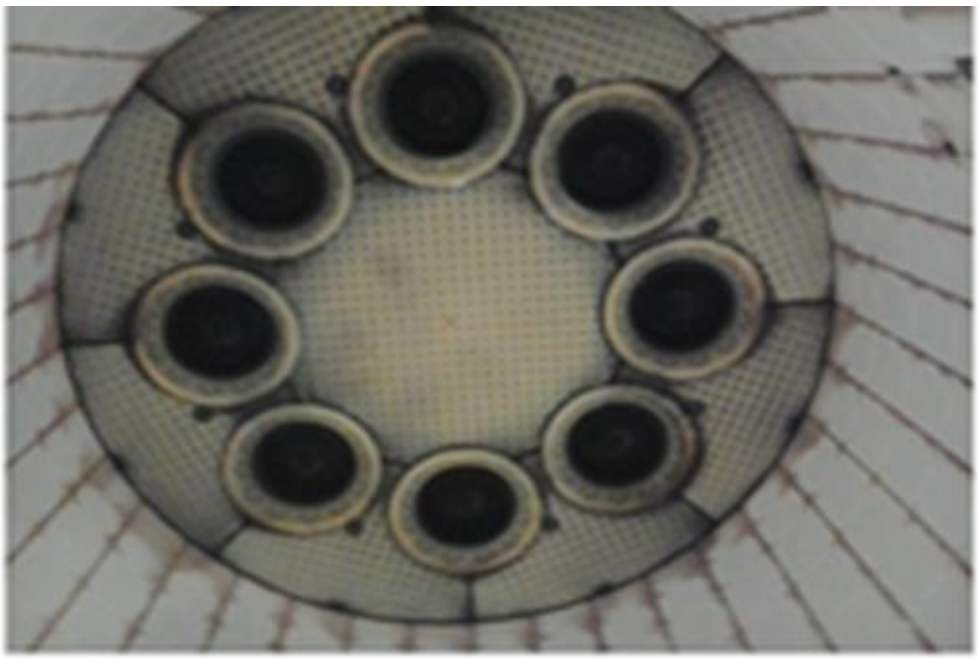


Figure II :17 Vue des bruleurs de la chambre combustion de la turbine à gaz V94.2

Le débit d'air principal passant du compresseur à la chambre à combustion se déverse dans les brûleurs en tant qu'air primaire de l'ordre de 20% et participe à la combustion et une partie secondaire pour être mélangé avec gaz brulés pour protéger la 1er roue directrice de la turbine.

Dans les chambres à combustion, la réaction chimique entre l'air et le combustible produit une augmentation importante de la température à une pression constante.

Pour faire la combustion au niveau des deux chambres à combustion il faut appliquer la loi de triangle de flamme dans le cas :

- Air comprimé.
- Combustible (gaz ou fuel).
- Etincelle, qui se fait par l'électrode d'allumage donc il faut système d'allumage.

Chaque chambre à combustion est fonctionner avec combustible principale le gaz naturel (gaz méthane) en mode diffusion et basculer au mode pré-mélange pour réduire l'effet de l'NOX.

Celle qui marche avec le combustible de secours (fuel) de 80MW de la charge du combustible, elle dispose d'un système l'injection d'eau pour refroidir la flamme, car la température de la flamme est très élevée donc l'effet de l'NOx augmente.

Le combustible principal de la turbine à gaz étant le gaz naturel et le fuel est réservé à l'allumé au démarrage de la turbine par les flammes d'allumage.

À cette fin, chaque brûleur est équipé d'un brûleur d'allumage et d'une bougie.

Le gaz d'allumage est utilisé au démarrage de la turbine à gaz pour produire des flammes d'allumage et donc allumer le combustible principal.

II.2.2.3 La section turbine

Figure II :18 Rotor de la turbine

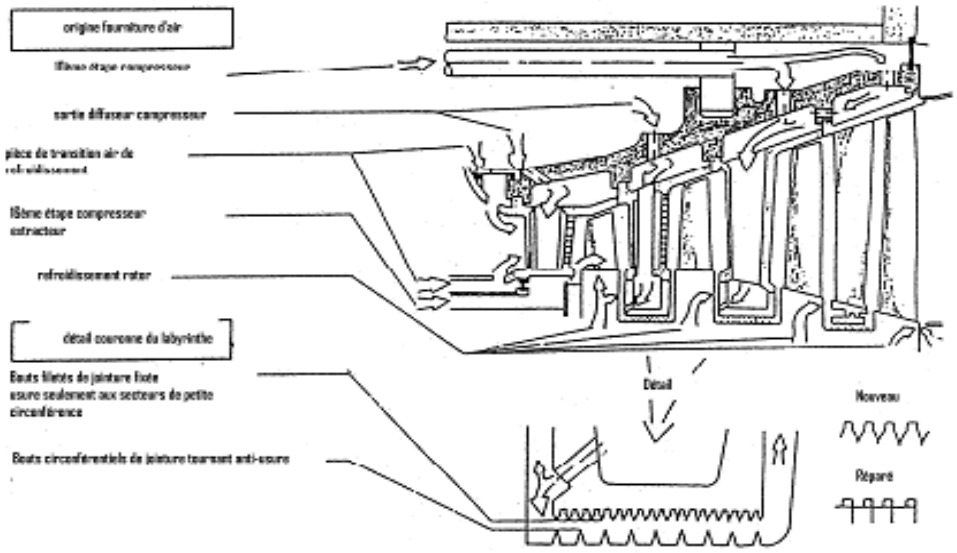


Figure II :19 schéma de stator de la turbine

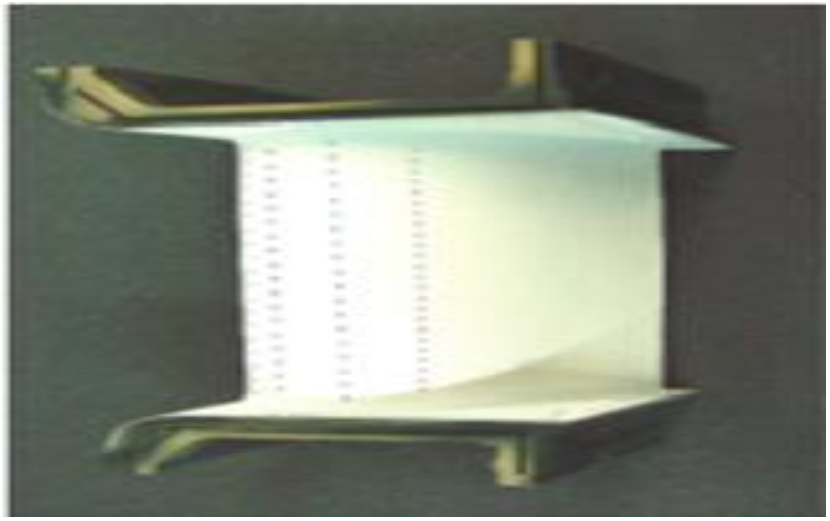


Figure II :20 1ér ailette statorique de la turbine

Dans la section turbine, l'énergie calorifique sortie de la turbine est calo-portée par les gaz de fumée sur les aubes de la turbine ou ils subissent une détente transformant cette énergie en une énergie mécanique de rotation de l'arbre partiellement demandé par le compresseur en grande partie 2/3 d'énergie et de 1/3 sur le générateur.

La turbine est constituée de quatre étages chaque étage se présente en une série d'ailettes statoriques et d'ailettes de rotoriques, les ailettes de la turbine sont des parties qui sont exposées à un stress mécanique et thermique intense.

Les ailettes doivent être fabriquées par un matériau très résistant à la chaleur approximativement à 1190°C et en raison des contraintes thermiques et mécaniques importantes auxquelles elles sont soumises, les aubes de la turbine sont réalisées à partir d'alliage résistant aux hautes températures.

Les aubes des trois premiers étages sont dotées d'un revêtement de protection contre la corrosion à haute température.

Les quatre étages d'aubes fixes et les trois premiers étages d'aubes mobiles sont refroidis à l'air, soutiré en aval du compresseur. L'air de refroidissement destiné à la turbine est prélevé aux étages appropriés du compresseur.

Des conduites dirigent l'air du compresseur à l'enveloppe de la turbine, il pénètre dans les aubes directrices par des orifices percés dans le port d'aubes.

Cet air pénètre dans les pieds des aubes par des orifices percé dans les disques du rotor et dans le tube répartiteur d'air puis ressort par le sommet des pales.

II.2.2.4 Le Vireur

Le vireur est destiné a entrainé l'arbre de la turbine à faible vitesse pendant les périodes de refroidissement en cours d'arrêt ou de réchauffage de la turbine en cours de son démarrage pour empêcher la déformation de l'arbre.

Lors de la montée en vitesse de la turbine le vireur étant encore enclenché, il s'arrête automatiquement lorsque la vitesse dépasse la valeur de 120tr/min.

A l'arrêt de la turbine d'une vitesse de virage de 120 tr/min démarrage de vireur et de la pompe auxiliaire de graissage.

La turbine reste en marche sur vireur jusqu'à atteindre une température de l'arbre 100°c pour arrêt complet de la turbine.

La turbine étant complètement à l'arrêt, le démarrage s'effectue comme suit:

Pour la 1^{ér} qui démarrée c'est la pompe de soulèvement, après le démarrage de la pompe principale et la pompe auxiliaire d'huile de graissage à courant alternatif à une pression de 2.6 bars, et à la fin pour démarrer du vireur (la vitesse est lancée à la vitesse de virage de 90 à 120 tr/min)

L'arrêt de la pompe auxiliaire d'huile de graissage ainsi que le vireur à la vitesse de 150 tr/min.

La fonction du support de palier est de supporter le rotor dans le corps d'échappement.

L'huile est envoyée aux coussinets à travers les tuyaux filetés qui sont vissés sur le palier et sort à travers un tuyau soudé et le couvercle du coussinet est muni d'isolants pour éviter l'entrée de chaleur.

Ces tuyaux sont acheminés vers l'extérieur à travers les entretoises tubulaires du corps d'échappement.

La fonction du corps d'échappement est de supporter le coussinet à l'extrémité de la turbine et de guider le flux de gaz chaud en provenance des deux chambres de combustion d'échappement verre le chemine et pour réduire les pertes d'échappement

Pour assurer un refroidissement uniforme par l'air comprimé, la partie antérieure du corps interne est munie d'une garniture de protection et la partie postérieure d'un déflecteur de flux d'air.

Figure II :21 Vireur

II.2.2.5 Les paliers de la turbine à gaz V94.2

Les paliers sont utilisés par la turbine à gaz V94.2, nous avons deux paliers portant l'arbre de la turbine ainsi que deux autres paliers portant le générateur.

II.2.2.5.1 Pour le compresseur axial et la turbine :

- La fonction du support de palier du compresseur est de porter le rotor et supporter du compresseur sur les fondations.
- Le support de palier comprend une partie intérieure et une partie extérieure qui formeront la conduite d'admission du compresseur et qui sont raccordées moyennant les entretoises, avec la partie intérieure loge le coussinet et les équipements auxiliaires.
- Le palier combiné et la butée avec l'anneau de réglage est logé dans le plan d'entretoise.
- L'arbre est étanche grâce à l'anneau d'étanchéité du coussinet sur la partie frontale et à une boîte à graisse sur la partie postérieure.
- Des thermocouples pour surveiller la température des paliers, des thermocouples sur le retour d'huile paliers et des capteurs de vibrations sont installés.

• Type/nombre	1 portant (coté turbine) 1 combiné portant et buté (coté compresseur)
• Type d'huile	ISO VG 46
• Température huile entrée	50-55 °C
• Seuil d'alarme	100 °C (métal palier)
• Seuil de déclenchement	120 °C (métal palier)

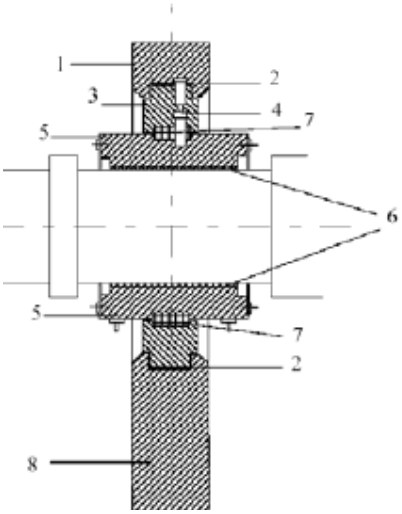
Figure II :22 Coussinets de turbine

Figure II :23 Coussinet du compresseur axial

II.2.2.5.2 Pour le générateur :

- Le rotor tourne sur deux paliers radiaux à frottement, situés à l'extérieur de la carcasse et indépendant à cela.
- Cette caractéristique simplifie remarquablement l'entretien. Le palier opposé à la turbine à une double isolation et, de plus, l'arbre est connecté à la terre pour protéger les paliers et leurs systèmes de support contre dommages provoqué par la circulation des courants d'arbre.
- Le système de lubrification est le même que la turbine.
- On a deux paliers de l'alternateur une coté turbine et une cotée excitatrice.
- Le rotor est supporté sur des coussinets du type de poche qui sont divisés horizontalement.

- Lorsque le rotor tourne, un film de lubrification supportant la charge est automatiquement formé dû à des forces hydrodynamiques; ceci protège le coussinet de l'usure.
- Les paliers sont en acier, recouverts à l'intérieur par un alliage de métal blanc
- La chambre des bagues est placée à l'extrémité côté opposé à la bride de couplage de la turbine.



1	Chapeau du coussinet
2	Isolation de l'anneau
3	Anneau du coussinet
4	Broches
5	Coussinet
6	Revêtement du coussinet
7	Plaque d'adaptation
8	Support

Figure II :24 Vue en coupe du palier lisse coté générateur

II.2.2.6 Le Système d'échappement

L'échappement de la turbine à gaz est envoyé à la cheminée à travers le diffuseur du gaz d'échappement. Cela développe une augmentation de la pression statique proportionnelle à la diminution de la vitesse.

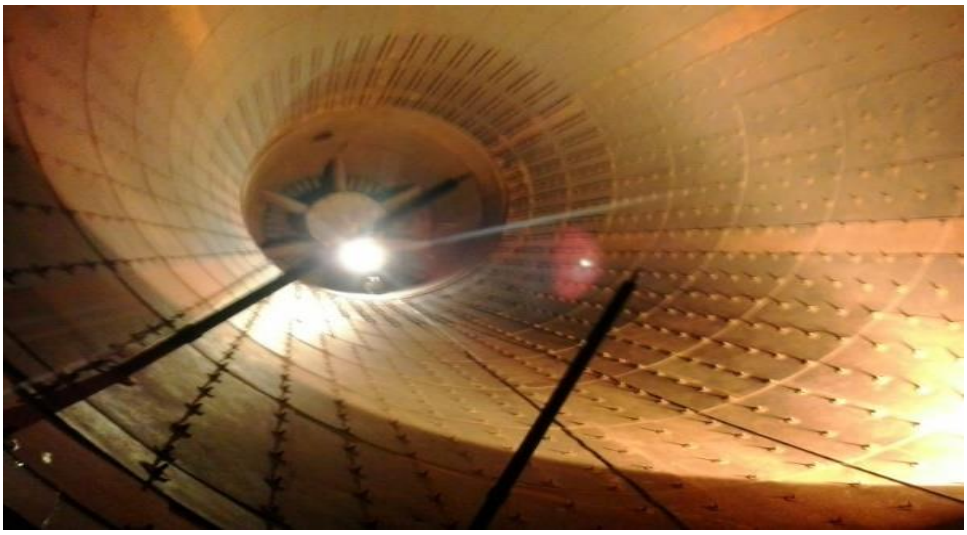


Figure II :25 Vue intérieure du système d'échappement

Figure II :26 Vue extérieure du système d'échappement

Le système des gaz d'échappement pour une turbine à gaz du type V94.2 est formé des éléments suivants:

- Buse d'entrée et diffuseur
- Elément rond carré de raccordement
- Joint de dilatation à l'entrée du déviateur
- Boîtier du déviateur
- Plaque de fermeture
- Joint de dilatation côté cheminée
- Elément carré-carré de raccordement
- Silencieux
- Elément rond-carré de raccordement
- Cheminée
- structure de support, échelles et passerelles
- L'amortisseur déviateur est une espèce de "soupape à trois voies" capable de décharger les gaz d'échappement dans l'atmosphère par une cheminée

II.2.3 Démarrage et mise à l'arrêt de la turbine à gaz

Si la turbine à gaz n'est pas en virage, 30 secondes s'écoulent après le signal de commande de démarrage, pendant lesquelles le système de lubrification est démarré et amené à pleine pression. Le convertisseur de fréquence de démarrage commence alors à accélérer l'arbre du groupe, les aubes d'entrée à orientation variable du compresseur étant fermées (débit minimal). Le système d'allumage à étincelle et à gaz est activé à 500 tr/min.

Un débit de combustible minimal (10 % env.) est admis à la turbine à gaz à 900 tr/min. env. lorsque la vanne d'arrêt du combustible est ouverte. A 1000 tr/min., le débit de combustible est augmenté graduellement pour accélérer le groupe rapidement jusqu'à 3000 tr/min. Le

convertisseur de fréquence de démarrage est coupé à 2200 tr/min. La turbine poursuit elle-même son accélération jusqu'à la vitesse de synchronisation. La synchronisation automatique avec un réseau électrique stable est possible en 20 secondes

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons constaté qu'il y a plusieurs types des turbines à gaz, et leur utilisation différents selon leur principe de fonctionnement, et leur classification. Elles sont utilisées intensivement pour la production d'énergie électrique.

On réalise après cette étude, que cette station de production de l'électricité est véritablement un complexe industriel comprenant un grand nombre d'équipements variés.

On rencontre les équipements purement mécaniques tels que la turbine à gaz et ses composants, puis une multitude d'équipements électriques et enfin tous les composants et instrumentation assurant le contrôle et l'exploitation de la turbine.

Chapitre III :

La Combustion dans la turbine à gaz V 94.2

Introduction

La combustion est la plus ancienne technologie humaine, elle a été utilisée durant plus d'un million d'années.

Actuellement, environ 90 % de l'énergie utilisée à l'échelle mondiale (trafic, production d'énergie électrique, chauffage, etc…) est produite par combustion.

Elle est utilisée dans de nombreux systèmes pratiques aussi bien pour produire de la chaleur (chaudières ou fours domestiques et industriels), de l'électricité (centrales thermiques), que pour le transport (moteurs automobiles et aéronautiques, moteurs fusée, etc…).

III.1. Définition

La combustion en tant que discipline, s'intéresse à l'étude des milieux réactifs, elle est donc à l'interface entre la chimie, la thermodynamique, la thermique et la mécanique des fluides. La combustion en tant que phénomène peut être définie comme une réaction chimiques irréversible fortement exothermiques, généralement rapide, entre un combustible et un comburant (ou oxydant), selon le schéma global suivant :

$$C_nH_m + (n + m / 4)(O_2 + 3.76N_2) \longrightarrow n\,CO_2 + (m / 2)\,H_2O + (n + m / 4)\,3.76\,N_2 + \text{Energie}$$

Avec la capacité de se propager à travers un milieu approprié. Cette propagation résulte du fort couplage de la réaction avec le processus de transport moléculaire.

Les éléments au côté gauche de l'équation de cette réaction chimique, qui sont présents avant la réaction sont appelés réactifs, tandis que les composants sur le côté droit de l'équation, qui sont présents après la réaction, sont appelés produits. [13]

III.2. Le triangle de feu

Une combustion ne peut se produire que si l'on réunit trois éléments :

- Le combustible : la matière susceptible de brûler (gaz naturel, essence, gasoil, butane, charbon, etc…).

- Le comburant : en se combinant avec le combustible, permet à la combustion de se tenir. (Oxygène, peroxydes, chlorates, etc…)

- L'énergie d'activation : l'énergie minimum nécessaire au démarrage de la réaction de combustion, elle est apportée par une source de chaleur, une étincelle, etc…

Ces trois éléments constituent ce qui est communément appelé le triangle du feu. Cependant depuis les années 1980, on à découvert qu'une des étapes indispensable de la réaction chimique est la production de radicaux libres, cette étape est nécessaire pour que la combustion s'entretienne. C'est la raison pour laquelle on parle depuis, de « tétraèdre du feu ». [13]

Figure III : 1 Le triangle du feu montrant l'association des trois éléments indispensables. [14]

III.2.1 Les combustibles

Un combustible peut être considéré comme une ressource finie d'énergie potentielle chimique. L'énergie stockée dans la structure moléculaire de ces composés particuliers est libérée par le biais de réactions chimiques complexes. Signalons sur le plan de la terminologie une ancienne distinction entre carburants et combustibles. En effet, les combustibles se distinguaient des carburants qui sont destinés à la production d'énergie mécanique dans les moteurs. Actuellement, la tendance est de parler de manière générale de combustibles.[13]

III.2.1.1 Types de combustibles

Les combustibles chimiques peuvent être classés de diverses manières, notamment par phase comme indiqué dans le tableau 1. Tout système de combustion peut fonctionner avec un carburant dans l'un des trois états : gazeux, liquide ou solide.

Tableau III: 1 Exemples de combustibles classés suivants leur phase

Solide	Liquide	Gaz
Charbon	Pétrole brut	Gaz naturel
Bois	Huiles biologiques	Méthane
Végétation	Gasoil	Hydrogène
Déchets organiques solides	Essence	Biogaz
	Kérosène	Propane

L'air a une répartition de façon homogène pour les différents cylindres dans un moteur multicylindre, ou les brûleurs dans une turbine à gaz, four ou réacteur. Dans de bonnes conditions de combustion, ils laissent des dépôts de combustion relativement bas par rapport aux

autres combustibles. Toutefois, les combustibles gazeux pour véhicules nécessitent l'utilisation de grands réservoirs et limitent le champ d'application.

Les combustibles liquides sont utilisés d'une façon plus importante dans la plupart des systèmes de combustion que les combustibles gazeux ou solides.

Ils offrent quelques avantages tels que, les quantités d'énergie importantes par unité de volume, la facilité et la sécurité de manipulation, le stockage et le transport.

Cependant, les combustibles liquides doivent être vaporisés ou atomisés ou au moins partiellement vaporisés, au cours du processus de mélange avec l'air.

Il y a quelques difficultés qui surviennent dans la distribution et la vaporisation des particules de combustible dans l'air afin d'obtenir une combustion complète dans les systèmes de combustion.

III.2.1.2 Les carburants hydrocarbonés [13]

Il existe plusieurs milliers de différents carburants hydrocarbonés, qui se composent principalement d'hydrogène et de carbone, mais qui peuvent aussi contenir de l'oxygène (alcools), de l'azote, et/ou du soufre, etc...

Les hydrocarbures purs sont composés de deux éléments seulement, le carbone (C) et d'hydrogène (H). `

Ceux qui ont jusqu'à quatre atomes de carbone sont gazeux aux conditions atmosphériques, ceux qui ont vingt ou plus sont solides, et entre les deux, ils sont liquides.

Les combustibles usuels sont obtenus en soumettant le pétrole brut à une distillation destinée à séparer diverses fractions.

Chaque tranche de produits ainsi séparée est en outre susceptible de subir divers traitements complémentaires (cracking, isomérisation, etc…).

Le pétrole brut est connu pour se trouver à différentes profondeurs sous terre et mer, dans la plupart des régions du monde.

Les pétroles bruts sont des mélanges extrêmement complexes de gaz, liquides et solides dissous.

Ils se composent principalement d'hydrocarbures, avec de petites quantités de substances azotées et de composés soufrés organiques.

Le pétrole brut est séparé par un procédé de distillation qui exploite le fait que ses différents composants ont des points d'ébullition différents.

Quand un pétrole brut est chauffé, les premiers gaz libérés sont principalement le méthane, l'éthane, le propane et le butane.

A des températures plus élevées, des vapeurs sont libérées puis condensées pour former des distillats légers du type utilisé dans la production de l'essence.

En continuant l'ébullition, on obtient le kérosène, suivi des distillats moyens utilisés pour le gasoil. Enfin, demeure un résidu utilisé dans la fabrication de l'huile de graissage, de la cire et du bitume.

III.2.1.3 Les propriétés physiques et chimiques des combustibles [13]

Certaines exigences de base d'un combustible consistent en : une densité d'énergie élevée (le contenu énergétique), une forte chaleur de combustion (dégagement), une bonne stabilité thermique (stockage), une faible pression de vapeur (volatilité) et la non-toxicité (impact environnemental). Pour certains usages spécifiques, certaines propriétés physiques et chimiques du combustible sont particulièrement importantes et doivent être dans des limites acceptables. On peut citer : la masse volumique, la viscosité, la volatilité, l'indice d'octane, de cétane etc...

- **Le pouvoir calorifique :** Le pouvoir calorifique massique ou volumique représente la quantité de chaleur dégagée, par unité de masse ou de volume du carburant lors de la réaction chimique de combustion complète conduisant à la formation de CO_2 et H_2O.

- **La volatilité :** La volatilité s'exprime en général par la courbe de distillation et la pression de vapeur Reid (PVR). La pression de vapeur est la pression pour laquelle s'établit l'équilibre liquide-vapeur. Plus le liquide est volatil, plus sa pression de vapeur est importante. la pression de vapeur Reid (PVR) est la pression de vapeur mesuré à 37,8°C. La pression de vapeur a un effet direct sur l'allumage, l'atomisation et la combustion.

- **Le point d'éclair ou point d'inflammabilité :** (en anglais : flash point) correspond à la température la plus basse à laquelle un corps combustible émet suffisamment de vapeurs pour former, avec l'air ambiant, un mélange gazeux qui s'enflamme sous l'effet d'une source d'énergie calorifique telle qu'une flamme pilote, mais pas suffisamment pour que la combustion s'entretienne d'elle-même (pour ceci, il faut atteindre le point d'inflammation).

Si le point d'inflammation (en anglais : fire point) est atteint, la combustion une fois débutée s'entretient d'elle-même après retrait de la source d'allumage. il est supérieur au point d'éclair de quelques degrés. si l'inflammation ne nécessite pas de flamme pilote, on parle alors d'auto-inflammation (en anglais : auto-ignition point).

- **Le point d'écoulement :** (en anglais : Pour point) d'un produit est la température minimale à laquelle ce produit s'écoule encore. Et le point de trouble (en anglais : Cloud point) d'un produit est la température à laquelle il présente des particules solides. Le point de trouble est essentiel pour caractériser la température en dessous de laquelle les cristaux qui se forment vont commencer à s'accumuler dans les pores du filtre à carburant et à boucher celui-ci.

- **Indice d'octane :** C'est une caractéristique essentielle des essences ou carburants utilisés dans les moteurs à allumage commandé. Il sert à apprécier la qualité de résistance à l'auto-allumage (allumage sans intervention de la bougie), et donc au cliquetis d'un carburant. Le cliquetis étant une combustion anormale qui peut se produire dans les moteurs et qui est dû à l'auto-inflammation du carburant.

- **Indice de cétane :** L'indice de cétane évalue la capacité d'un carburant à s'auto enflammer sur une échelle de 0 à 100. Il est particulièrement important pour les moteurs Diesel où le carburant doit s'auto-enflammer sous l'effet de la compression. Un carburant à haut indice de cétane est caractérisé par sa facilité à s'auto-allumer, et donc un délai d'allumage plus court. Ce dernier étant le temps écoulé entre le moment où l'injecteur s'ouvre et fait pénétrer le combustible dans la chambre et celui où se produit le début de la combustion. On dit qu'un carburant a un indice de cétane de x, lorsque celui-ci a le même pouvoir d'auto inflammation qu'un mélange constitué de x % en volume de n-cétane, très favorable à l'auto inflammation (d'indice 100 par définition) et (100-x) % d'alpha-méthyl naphtalène très résistant à l'auto inflammation (d'indice 0 par définition).

III.2.2 Le comburant [13]

Le comburant est le plus souvent l'oxygène de l'air, plus exceptionnellement de l'oxygène pur (moteur-fusée, certains fours industriels) qui permet d'atteindre des températures plus élevées mais pose des problèmes de sécurité. Plus rarement, d'autres comburants sont utilisés (moteurs fusée pyrotechniques).

L'air atmosphérique est constitué d'environ :

78% Nitrogène par mole
21% Oxygène
1% Argon
Des traces de CO_2, Ne, CH_4, He, H_2O, etc...
.

L'azote et l'argon sont essentiellement chimiquement neutres et ne réagissent pas au cours du processus de combustion. Leur présence, cependant, influe sur la température et la pression dans la chambre de combustion. Pour simplifier les calculs sans engendrer une erreur importante, l'argon, neutre, dans l'air, est supposé être combiné avec l'azote neutre, et l'air atmosphérique, peut alors être modélisé comme étant composé de 21% d'oxygène et de 79% d'azote. Pour chaque mole d'oxygène nécessaire à la combustion, 4,76 moles de l'air doit être fourni : une mole d'oxygène plus 3,76 moles d'azote.

III.3. Les Différents types de combustion

III.3.1 La combustion rapide (vive)

La combustion rapide est une forme de combustion au cours de laquelle de grandes quantités de chaleur et d'énergie sous forme de lumière sont relâchées, donnant naissance au feu. Elle est utilisée dans certaines machines telles que les moteurs à combustion interne ou les armes thermo barriques. [14]

III.3.2 La combustion complète

Lors d'une combustion complète, le réactif réagira avec le comburant jusqu'à former des produits qui ne pourront plus être oxydés avec le comburant, les produits ont atteint un degré de stabilité qu'une réaction de combustion ne peut modifier. [15]

Dans le cas d'un hydrocarbure réagissant avec le dioxygène, les produits de combustion sont le dioxyde de carbone un produit de combustion stable, ainsi une combustion complète fournit les mêmes produits de réactions quelque soient les réactifs. Une combustion complète permet d'obtenir la quantité maximale d'énergie disponible étant le pouvoir calorifique.

III.3.3 La combustion incomplète (en défaut d'air)

La combustion incomplète aura lieu quand il n'y aura pas assez de comburant pour permettre la réaction complète du combustible ou lorsque le temps de contact à une température rendant la combustion possible est trop faible. Elle produit donc des résidus de combustion, sous forme de cendres qui génèrent des fumées, dont certains composés sont très toxiques pour l'homme et pour l'environnement tel que le monoxyde de carbone (gaz mortel), des particules de carbone pur (suie, goudron, cendres), des oxydes d'azote, des hydrocarbures (cancérigènes tel le benzène, ou fortement toxiques telles les HAP), des composés organiques volatiles. [16]

III.3.4 La combustion stœchiométrique

La combustion stœchiométrique aura lieu lorsque la quantité d'oxygène introduite dans le réacteur est exactement égale a la quantité nécessaire à une combustion totale du méthane (CH_4) dans ces conditions, les produits de la combustion complète sont essentiellement le dioxyde de carbone, l'azote et la vapeur d'eau.

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2\,H_2O + \text{Energie}$$

III.3.5 La combustion sans flamme

III.3.5.1 La combustion lente

La combustion lente est une réaction qui entraîne un faible dégagement de calories avec peu d'élévation de température, des phénomènes lumineux presque nuls et une absence totale de flamme. [17]

III.3.5.2 Combustion spontanée

Une **combustion spontanée** est une combustion vive qui atteint sa température d'ignition sans agent extérieur.

III.4. Les flammes de combustions

III.4.1 Définition d'une flamme

Une flamme est un milieu réactionnel dans lequel se déroule une réaction de combustion. Elle est généralement associée à une zone réactive, lumineuse appelée front de flamme, onde de combustion ou encore zone de combustion. Les propriétés de propagation spatiale de la flamme résultent de l'action conjuguée de processus chimiques (production rapide de chaleur et d'espèces chimiques réactives), physiques (transport, diffusion), ainsi que de déplacement de matière (diffusion moléculaire) et de chaleur (convection). Donc, la flamme (zone de réaction) est le résultat du transport des espèces, du transport de la chaleur et de la réaction chimique. [17]

Figure III : 2 : image de la flamme [18]

III.4.2 Les types de flammes

La flamme observée est l'endroit d'une réaction de combustion qui se propage ou bien se développe dans un milieu gazeux, elle est généralement associée à une zone réactive, lumineuse et étroite appelée **front de flamme.** Elle peut être désignée selon trois critères : la nature et le nombre de réactifs, la méthode d'introduction des réactifs (**pré mélanges ou diffusion)**, le type de l'écoulement des gaz le long de la zone réactionnelle (laminaire ou turbulent).

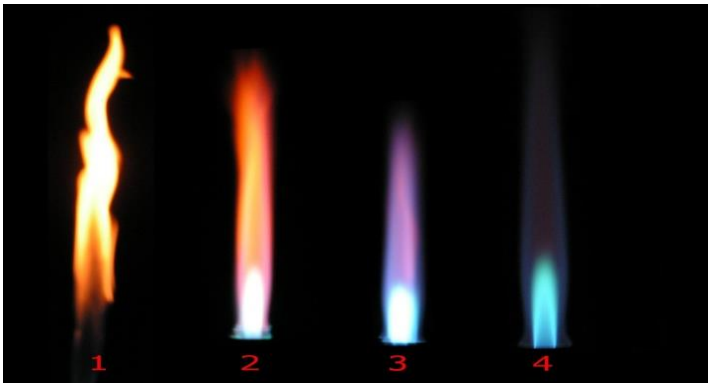


Figure III : 3 les différents types de flammes. [18]

III.4.2.1 La flamme de diffusion (non pré-mélangée)

La **flamme de diffusion** est appelée non pré mélangée, les réactants étant séparés, ils doivent venir au contact l'un de l'autre, par le phénomène de diffusion.

La flamme de diffusion peut être obtenue de différentes façons, la méthode la plus simple mais rarement utilisée, consiste à opposer les arrivées de combustible et d'oxydant. Le combustible diffuse dans l'oxydant et le front de flamme se forme à la limite des deux écoulements. Cette flamme est difficile à modéliser.

Figure III : 4 la flamme de diffusion. [18]

La flamme de diffusion se compose de deux parties :

- une partie bleue : c'est là que se déroule principalement la combustion, on a le combustible d'un côté, le comburant et les produits de réaction de l'autre ; la température est d'environ 1200 °C ;
- une partie allant du blanc au jaune ou à l'orange : les produits de combustion de la zone bleue chassent l'air, la zone est donc plus pauvre en dioxygène, on atteint une température de 1 500 °C et il y a production de suie. À 1 500 °C, les particules de suie émettent une lumière blanche (rayonnement du corps noir). Puis, en s'élevant, leur température s'abaisse, et elles émettent une lumière jaune. La forme de cette flamme est en grande partie due à la gravité et au phénomène de Convection qui en découle : les gaz chauds montent du fait de la poussée d'Archimède. L'alimentation en comburant ne peut donc se faire que par les côtés.

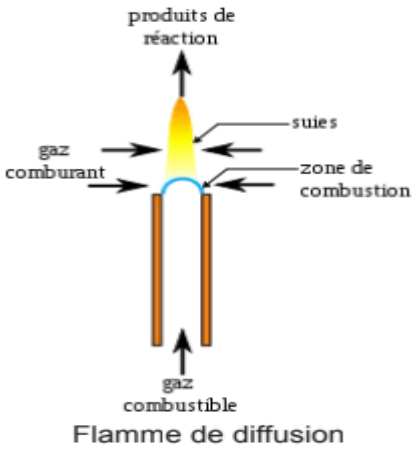


Figure III : 5 les parties de la flamme de diffusion. [18]

Les cas typiques de cette flamme sont :

- la combustion des solides (bois, bougie, papier, etc…) ;
- la combustion des liquides (essence, gazole, pétrole, etc...), sous forme « massive » (flaque, réservoir) ou de brouillard (moteur Diesel) ;
- le moteur-fusée utilise des flammes de diffusion, typiquement hydrogène/oxygène ou kérosène/oxygène ;
- la combustion des gaz non mélangés à l'air, par exemple un gaz sortant directement d'une bouteille ne contenant pas d'air, une fuite sur une canalisation qui s'enflamme tout de suite.

Dans le cas d'un feu de solides ou de liquides, la combustion produit de la chaleur ; cette chaleur provoque un phénomène de distillation, de pyrolyse ou simplement de fusion puis de vaporisation qui produit un gaz inflammable, qui vient alimenter la flamme. Que ce soit donc un feu de solide, de liquide ou de gaz, on a :

- au centre de la flamme : un gaz combustible ;

- la flamme elle-même est une mince couche de gaz au sein de laquelle se déroule la réaction de combustion ;
- à l'extérieur de la flamme : le gaz comburant, en général le dioxygène de l'air, et les produits de réaction (gaz et particules).

Cette réaction est souvent incomplète, puisque sur le lieu de la réaction, la mince couche de la flamme, le rapport entre combustible et comburant n'est pas idéal (non-stœchiométrique).

On a donc des gaz très divers, dioxyde de carbone (CO_2) et vapeur d'eau (H_2O), souvent monoxyde de carbone (CO), autres gaz de réaction et gaz imbrûlés ainsi que des particules de suie qui brûlent à leur tour. De plus, la haute température atteinte grâce à la combustion provoque la formation d'oxydes d'azote.

Dans de nombreuses procédures de combustion, le combustible et l'oxydant sont isolés l'un de l'autre avant d'entrer dans la zone de réaction où ils sont mélangés et enflammés (mélangés durant le processus de combustion). Les réactions de combustion dans tels cas sont appelées flammes non pré mélangées ou plus communément flammes de diffusion, étant donné que le transport du combustible et de l'oxydant jusqu'au point de rencontre a lieu principalement par diffusion.

III.4.2.1.1 Flamme de diffusion laminaire (non-prémélangée)

Sa caractéristique principale dite de diffusion consiste à présenter une zone de réaction séparant les réactifs, combustible et oxydant.

Les flammes de diffusion se développent grâce au concours des phénomènes de réaction ainsi que des phénomènes de diffusion de chaleur et de masse qui se produisent de part et d'autre de la zone réactive.

Les phénomènes de convection jouent cependant un rôle plus important en amenant les réactifs et en emportant les produits de façon plus efficace que la seule diffusion.

Pour que la flamme reste laminaire, il faut que les vitesses d'écoulement ne soient pas trop grandes.

Le taux de réaction chimique de ce type de flamme est principalement contrôlé par la diffusion moléculaire qui gouverne l'apport des réactifs vers les flammes.

La flamme de diffusion offre deux avantages indéniables : la simplicité et la sécurité, le risque d'explosion est supprimé. C'est le mode de combustion le plus fréquent en pratique dans la bougie, le moteur Diesel, la lampe à huile, la chaudière à combustible liquide, les feux naturels etc...

III.4.2.1.2 Flamme de diffusion turbulente (non-prémélangée)

La turbulence accélère la diffusion des espèces chimiques et de la chaleur, elle favorise donc la chimie de la combustion. Si la chaleur diffuse mieux, la température sera plus élevée dans la zone réactive et la réaction chimique sera d'autant plus rapide. Mais elle a comme autre effet celui de déformer la surface des flammes par plissement et étirement. Les nombreux

mouvements tourbillonnaires présents, jusqu'à l'échelle des plus petits tourbillons, augmentent l'aire de contact entre comburant et combustible. Cela contribue efficacement à accroître la vitesse de combustion globale. [19]

III.4.2.2 Les flammes pré mélangées

Dans le cas des flammes de pré-mélange, le comburant et le combustible arrivent mélangés puis sont allumés.

Les applications les plus connues de ce type de flamme sont le bec bunsen et le moteur à allumage commandé (ou moteur essence, dans lequel l'allumage se fait au moyen de bougies). Ce type de flammes est le siège de nombreux phénomènes physiques en perpétuelle interaction.

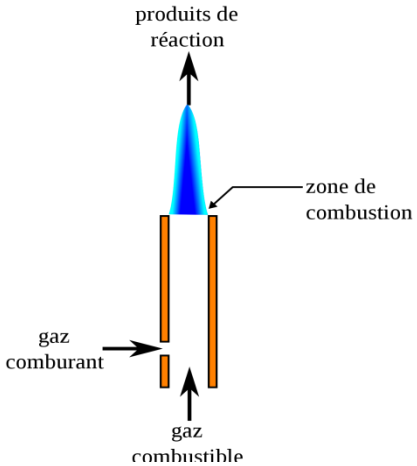


Figure III : 6 la flamme pré-mélangée. [18]

III.4.2.2.1 Les flammes pré-mélangées laminaires

Dans ce type, le combustible et le comburant sont préalablement mélangés dans le bruleur avant la combustion avec un écoulement laminaire. Ce brûleur est composé de centaines de petits orifices d'un millimètre de diamètre, ce qui permet de faire varier la forme de la flamme selon la pression.

- À haute pression, la flamme correspond à plusieurs becs bunsen assemblés.
- A basse pression, la flamme devient plate car la vitesse de la propagation de la flamme est égale à celle de l'écoulement des gaz frais.

Exemples : les flammes plates laminaires, le bec Bunsen, la cuisinière domestique à gaz, le moteur à essence.

Une flamme pré-mélangée laminaire peut se diviser en trois zones distinctes:

- La première zone où on trouve un pré-mélangé frais de carburant et de comburant. C'est la zone de préchauffage, elle peut être caractérisée par une élévation

progressive de la température, alors que les termes de production et de disparition chimique restent nuls, en raison de l'existence de forts gradients favorisant la diffusion thermique et moléculaire, les gaz frais voient leur température s'élever jusqu'à atteindre la température d'inflammation du mélange.

- L'oxydant et le carburant réagissent ensuite au sein de la seconde zone : c'est la zone de réaction. Celle-ci est peu épaisse et se caractérise par une élévation brutale de la température et de fortes variations des termes sources chimiques des espèces. C'est dans cette région que le carburant est consommé et que les produits majoritaires de combustion sont formés.
- Dans la troisième zone, les réactions principales sont à l'état d'équilibre partiel, et la température n'augmente que très progressivement. Les produits de combustion sont lentement oxydés, et les réactions élémentaires mises en jeu évoluent avec des temps caractéristiques relativement grands. Cette zone est appelée zone d'oxydation.

III.4.2.2.2 Les flammes pré-mélangées turbulentes

La flamme de pré mélange se propage dans un milieu très turbulent, et comme en général la taille des remous est plus grande que l'épaisseur de la zone de flamme bleue.

Notons que la turbulence déforme le front de flamme mais ne le disloque pas : il est instable mais continu.

Donc le débit doit être bien ajusté pour bien accrocher la flamme sur le brûleur. C'est le phénomène de couplage de la flamme et de la turbulence, qui produit ce qu'on appelle une «flamme turbulente de pré mélange».

Le régime turbulent peut être obtenu dans une flamme de pré mélange par l'ajout d'une grille au-dessus de la flamme, il en résulte une flamme diffuse (ou flamme turbulente de grande importance pratique) dont la vitesse de consommation en combustible est fortement augmentée.

III.5. La chambre à combustion de la turbine à gaz V94.2

La partie combustion de la turbine à gaz V94.2 possède deux chambres de combustion de forme conique, montées verticalement sur les côtés de la turbine à gaz et connectées aux brides latérales de l'enveloppe extérieure de la turbine à gaz.

A la sortie du compresseur, l'air comprimé circule dans la chambre de combustion où il est mélangé au carburant, une étincelle enflamme le mélange, puis la combustion est maintenue.

III.5.1 Composition de la chambre à combustion de la turbine à gaz V94.2

- **Le Cône :**

Figure III : 7 Le Cône

- **Le dôme :** c'est les couvercles supérieurs des chambres à combustion

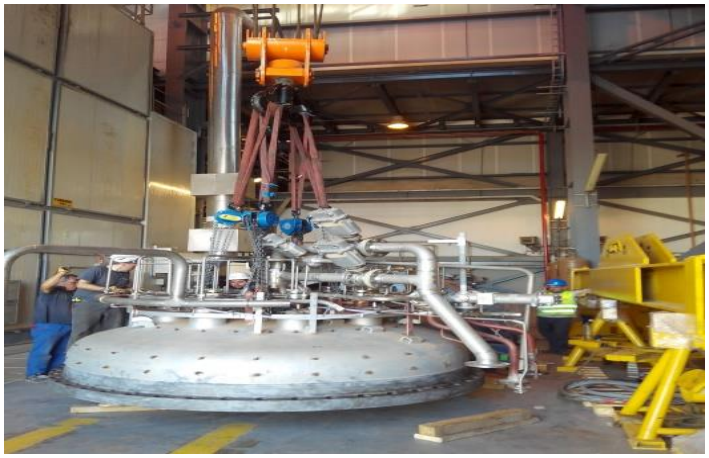


Figure III : 8 Dôme de la chambre de combustion

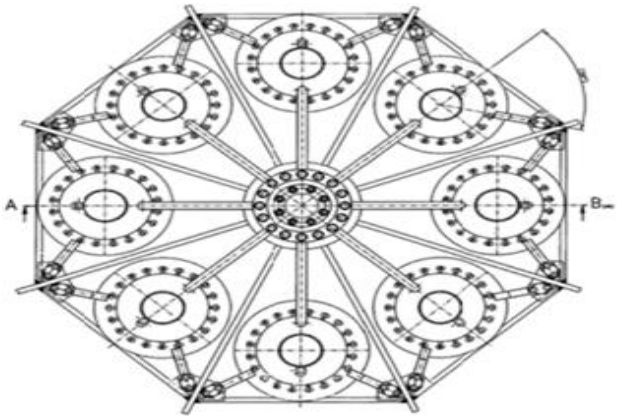


Figure III : 9 vue à l'intérieure du dôme

- **Les briques réfractaire :** ils maintiennent la chaleur a intérieure (isolant)

Figure III : 10 brique réfractaire à l'intérieur de la chambre de combustion

- **la chambre mélange :** mélange des gaz brulés des deux chambres de combustion

Figure III : 11 chambre mélange de la chambre de combustion

- **Bruleurs** : chaque chambre se compose de 8 bruleurs

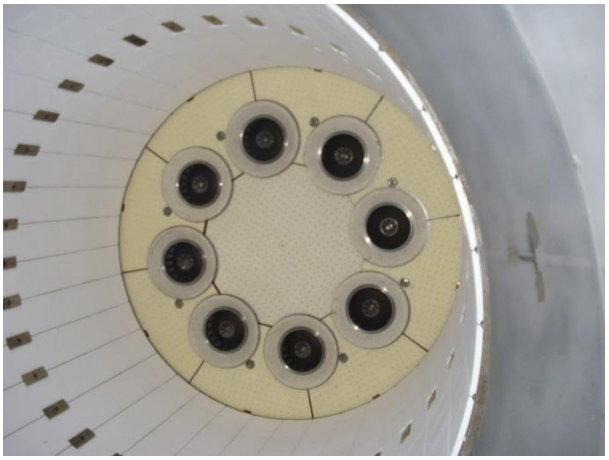


Figure III : 12 les bruleurs à l'intérieur de chambre de combustion

- **Caisse interne** : se trouve entre les deux chambres de combustion, elle est faite en céramique

Figure III : 13 Caisse interne

III.5.2 Les brûleurs de la turbine à gaz V94.2

La chambre de combustion comporte des brûleurs hybrides pour un fonctionnement double combustible.

Tous les brûleurs sont des ensembles identiques constitués de plusieurs injecteurs.ces brûleurs hybrides (brevet SIEMENS obtenu en 1986) permettent de réduire les NO par un procédé sec tout en maintenant les émissions de CO à un niveau minimal.

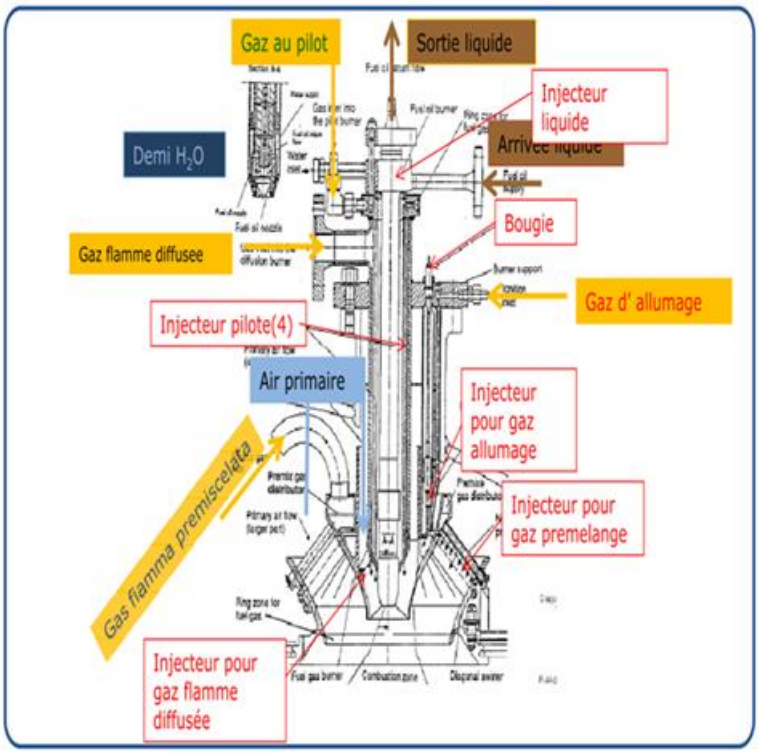


Figure III : 14 Bruleurs utilisés par la turbine à gaz V94.2

Chaque chambre de combustion (**1** et **2**) est pourvue de huit brûleurs séparés. le brûleur est capable de fonctionner aussi bien avec le combustible gaz naturel en mode de diffusion ou mode premix (Brûleur Bas-NO_X), qu'avec le combustible fuel en mode de diffusion (Brûleur Bas-NO_X avecinjection d'eau).

Le rôle de bruleur est de mettre en présence le combustible et le comburant et cela dans des proportions permettant une combustion qui convient pour l'opération à réaliser. Un brûleur doit :

- Permettre le réglage des débits d'air et de gaz
- Réaliser le mélange de l'air et du gaz
- Assurer le maintien du rapport air/gaz à la valeur voulue, dans les limites de débits Imposées par l'opération à effectuer,
- Maintenir la stabilité de la flamme aux différentes allures,
- Donner à la flamme des dimensions appropriées à celle de l'enceinte où doit s'effectuer la combustion
- Eventuellement donner à la flamme un pouvoir émissif suffisant

Le comburant est le plus souvent de l'air, dans certaines installations c'est de l' air préchauffé. Dans certains cas, c'est de l'air suroxygéné ou même de l'oxygène pur.

Les brûleurs qui fonctionnent avec plusieurs types de gaz sont dits **"multi gaz"** ou éventuellement **"tous gaz" (omni gaz)**. Ceux qui peuvent fonctionner avec plusieurs combustibles sont dits **"hybrides"**, **"mixtes"** ou **"Multi combustibles"**. Le plus souvent, le second combustible est liquide, il s'agit généralement du fuel-oil.

Si le gaz et l'autre combustible peuvent brûler en même temps, le brûleur est à marche simultanée aux deux combustibles, sinon il est à marche alternée.

Plus simplement, il est d'usage de parler de brûleurs mixtes simultanés et de brûleurs mixtes alternés.

Certains brûleurs sont alimentés séparément en comburant et en gaz jusqu' à 1a flamme, d'autres sont alimentés par un mélange préalable d'air et de gaz.

Dans ce second cas, le mélange est réalisé dans un organe appelé **"mélangeur"**. Il est souvent incorporé au brûleur.

Ce n'est toutefois pas toujours le cas et un mélangeur peut même être commun à un groupe de brûleurs.

III.5.3 Les modes de combustion de la turbine à gaz V94.2

Les brûleurs de la turbine à gaz V94.2 fonctionnant avec ces deux combustibles gaz naturel comme combustible principale et le fioul comme combustible de secours

La combustion au gaz naturel, la centrale possède deux modes :

III.5.3.1 Mode diffusion (*Non pré-mélange)*

Appelé en flamme pré-mélangée, la Turbine à gaz démarre par mode diffussion jusqu'à températeur d'échapement T = 510°C et puissance actif P = 80 MW

III.5.3.2 Mode Premix « LP» (pré-mélange)

Appelé en flamme non pré-mélangée (ou mélange pauvre).

Le mode premix est maintenu par la vanne pilote.et il assure le mélange du comburant et carburant avant l'entrée dans la chambre de combustion

La combustion au fuel, la centrale possède un seul mode :

III.5.3.3 Mode diffusion (fuel) :

Les brûleurs du combustible fuel sont des brûleurs à diffusion, on utilise l'injection d'eau sur l'ensemble de la charge comme diluant, essentiellement pour réduire la température de la flamme et par conséquent les émissions de NO_X.

III.5.4 Les modes d'injection de gaz

III.5.4.1 Marche au combustible gazeux

- Mode diffusion pour fonctionnement jusqu'à la pleine charge.
- Mode pré mélange pour fonctionnement entre environ la demi-charge et la pleine charge

Tableau III: 2 Composition chimique du Gaz Naturel utilisé au niveau de la centrale de Larbaa (il s'agit des % en volume)

	Fraction moyen Volume %	Masse molaire
Méthane C H_4	86,017	16.043
Ethane C_2 H_6	9,319	30.07
Propane C_3 H_8	1,352	44.097
Normal butane (n-C_4H_{10})	0,124	58.123
Iso-butane (i-C_4H_{10})	0,095	58.123
Normal-pentane (n-C5H12)	0,013	72.16
Iso-pentane (i-C_5H_{12})	0,020	72.15
total des hydrocarbures	0,010	/
Azote N_2	0.3	28.0135
dioxyde de carbone CO_2	1,978	44.01

III.5.4.2 Marche au combustible liquide

Les brûleurs de fioul en mode diffusion vaporisent le fioul de façon à ce qu'il puisse s'enflammer complètement dans la chambre de combustion

Tableau III: 3 composition du combustible liquide fioul de la centrale de larbaa

C %	S %	H %
84.3	0,2	13,

Conclusion

La technologie a développé des brûleurs de turbine à gaz dans lesquels le combustible et l'air sont « pré mélangés » en un mélange très pauvre en amont de la zone de combustion ou de la zone de flamme. Cette méthode de combustion permet des taux pauvres de combustible/air et des températures de flamme basses sans l'aide de vapeur d'eau ou d'injection d'eau.

Les turbines à gaz de Larbaa utilisent le brûleur Bas-NO_X (LP), Cette méthode favorise des températures de flamme plus basses mais aussi des temps de séjour plus courts. Cette technologie est indispensable pour limiter les émissions polluantes, en particulier les oxydes d'azote.

Chapitre IV :

Impact du mode de combustion sur les performances énergétiques et écologiques de la turbine V94.2

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons d'abord, en un premier temps, calculer les paramètres thermodynamique de la turbine à gaz V94.2, en utilisant les données au niveau de la centrale de larbaa.

Ensuite, nous allons nous intéresser a l'impact sur l'environnement et évaluer les risques d'incidences environnementales découlant du fonctionnement de cette turbine, en établissant les mesures qui peuvent être adoptées pour contrer ou réduire les effets environnementaux négatifs.

On s'intéressera particulièrement aux effets des rejets tels que NO_X, CO, CO_2 et SO_2 sur l'environnement.

IV.1. Analyse thermodynamique de la turbine à gaz V94.2

IV.1.1 Cycle idéal de Brayton

Le cycle de Baryton pour la turbine à gaz est un cycle à pression constante, c'est –à dire que la combustion et l'échappement se font sous pression constante, pour un cycle simple de turbine à gaz, la puissance est disponible de façon continue.

Les différentes étapes du cycle de Brayton sont indiquées sur la figure (IV.1) :

Au point (1), l'air entre dans le compresseur, pour sortir à haute pression au point (2), il est ensuite mélangé au combustible dans la chambre de combustion, les gaz chauds continuent à s'écouler vers le point (3) et dans la turbine ces gaz sont détendus jusqu'à la pression atmosphérique au point (4).1a turbine produit la puissance mécanique pour entrainer le compresseur axial et la charge.

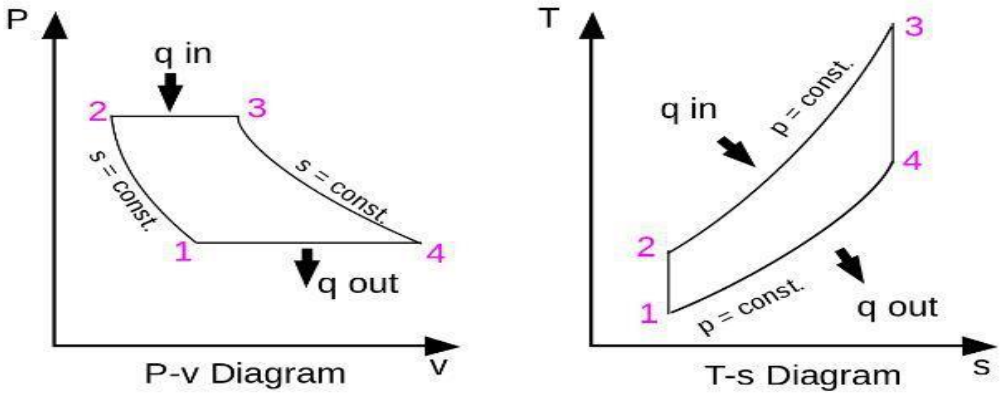


Figure IV: 1 Cycle théorique de la turbine à gaz [20]

IV.1.2 Cycle thermodynamique réel de la turbine à gaz

La turbine à gaz V94.2 fonctionne selon le cycle thermodynamique de Joule Comme il est représenté par le diagramme (T-S) de la (figure IV.2) :

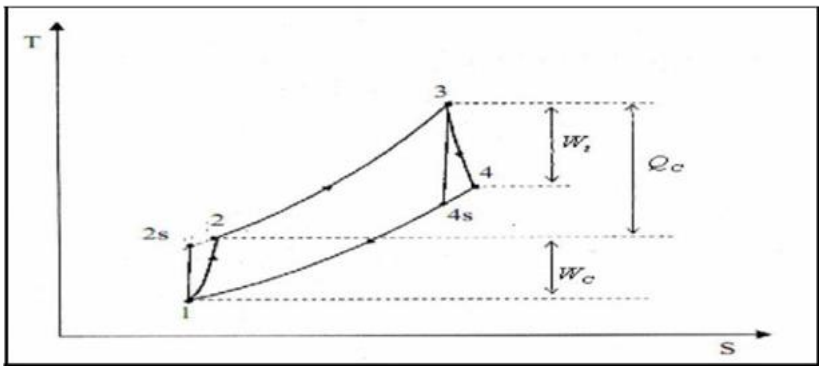


Figure IV: 2 le cycle thermodynamique de Joule de la turbine à gaz V94.2

IV.1.3 Equations énergétiques

Pour le calcul du travail, puissance et le rendement on va utiliser quelques équations et quelques hypothèses :

D'après le premier principe de la thermodynamique on a :

$$Q + W = \Delta H + \Delta Ep + \Delta EC \qquad (IV.1)$$

W : Le travail de compresseur [kJ/kg]

Q : La quantité de chaleur [kJ/kg]

ΔH: L'enthalpie [kJ/kg]

ΔEp: Energie potentille [J]

ΔEC: Energie cinétique [J]

En négligeant les variations d'énergie cinétique et potentielle, et en Considérant que la transformation dans le compresseur et la turbine est adiabatique => Q=0.

IV.1.3.1 Pour de la compression :

- Taux de compression ($\boldsymbol{\tau}$) :

$$\boldsymbol{\tau} = \frac{P2}{P1} \qquad (IV.2)$$

- Détermination de la température isentropique :

$$\eta_{sc} = \frac{(T2s - T1)}{(T2 - T1)} \qquad (IV.3)$$

$$T2s = \eta_{sc}\,(T_2 - T_1) + T_1 \qquad (IV.4)$$

- Transformation isentropique :

$$\frac{T2S}{T1} = \left(\frac{P2S}{P1}^{\frac{\gamma air-1}{\gamma air}}\right) = (\tau)^{\frac{\gamma air-1}{\gamma}} \quad (IV.5)$$

- Détermination du coefficient poly tropique :

$\gamma_{air} = \gamma_{12} = Cp_{(T1, T2)} / Cp_{(T1, T2)} - R$ (IV.6)

- Détermination de la chaleur spécifique

Cp_{air} : $Cp_{(2-1)}$: chaleur spécifique de l'air à pression constante [kJ/kg.k]

La relation de Mayer donne le coefficient isentropique moyen de l'air comme suit :

$$\gamma_{air} = \gamma_{12} = Cp_{(T1, T2)} / Cp_{(T1, T2)} - R \quad (IV.7)$$

Donc $Cp_{(2-1)} = \left(\frac{\gamma 12}{\gamma 12-1}\right)$. R (IV.8)

R : constante caractéristique de l'air (R = 0.287 $KJ/(Kg.K)$)

- Détermination des enthalpies

$H = Cp_{(2-1)} T$ (IV.9)

H1 : enthalpie à l'entrée de compresseur [kJ/kg]

H2 : enthalpie à la sortie de compresseur [kJ/kg]

H2s : enthalpie isentropique de compresseur [kJ/kg]

- Le travail isentropique fourni au gaz par le compresseur (wsc) :

$W = H_{2s} - H_1 = Cp_{air} (T_{2s} - T_1)$ (IV.10)

- Le travail réel fourni par le compresseur (Wc) :

$W_c = H_2 - H_1 = Cp_{air} (T_2 - T_1)$ (IV.11)

- Rendement de compresseur :

$$\eta sc = \frac{Wsc}{Wc} \quad (IV.12)$$

IV.1.3.2 Pour de la combustion :

La Quantité de chaleur de la combustion (Q_{c-c}):

$$\eta_{th} = \frac{WUT}{Qc-c} \quad (IV.13)$$

$$Q_{c-c} = \frac{WUT}{\eta th} \quad \text{(IV.14)}$$

- Détermination de la chaleur spécifique

$$Q_{c-c} = H_3 - H_2 = cp_{cc}(T_3 - T_2) \quad \text{(IV.15)}$$

$$cp_{cc} = \frac{Q_{c_c}}{(T_3 - T_2)} \quad \text{(IV.16)}$$

$C_{p_{cc}}$: $Cp_{(2\text{-}3)}$: Chaleur spécifique du mélange

IV.1.3.3 Pour de la détente :

- Débit des gaz d'échappement :

$$\dot{m}_g = \dot{m}_c + \dot{m}_{air} \quad \text{(IV.17)}$$

- Rapport de détente (ε) :

$$\varepsilon = \frac{P3}{P4} \quad \text{(IV.18)}$$

- Détermination de la température isentropique :

$$\eta_{sT} = \frac{(T3 - T4)}{(T3 - T_{4s})} \quad \text{(IV.19)}$$

$$T_{4s} = \frac{(T4 - T3)}{\eta_{sT}} - T_3 \quad \text{(IV.20)}$$

- Transformation isentropique

$$\frac{T3}{T4s} = \left(\frac{P4}{P3}\right)^{\frac{\gamma t - 1}{\gamma}} = \frac{1}{\tau}^{\frac{\gamma t - 1}{\gamma}} \quad \text{(IV.21)}$$

- Détermination du coefficient poly tropique des gaz brulés :

γ_g : γ_{34} : Coefficient poly tropique des gaz brulés

Cp_g : $Cp_{(T3.T4)}$: la chaleur spécifique de gaz a pression constante.

La relation de Mayer donne le coefficient isentropique moyen des gaz brulés comme suit :

$$\gamma_g = \gamma_{34} = Cp_{(T3,T4)} / Cp_{(T3,T4)} - R \quad \text{(IV.22)}$$

Donc $Cp_{(3-4)} = \left(\frac{\gamma 34}{\gamma 34-1}\right). R$ (IV.23)

La constante spécifique des gaz brulé est égale à celle de l'air (Rg =Ra 0.287 $KJ/(Kg.K)$)

- Détermination des enthalpies

$H=Cp_{(3-4)} T$ (IV.24)

H_3 : enthalpie à l'entrée de la turbine [kJ/kg]

H_4 : enthalpie à la sortie de la turbine [kJ/kg]

H_{4s} : enthalpie isentropique de la turbine [kJ/kg]

- Le travail isentropique fourni par le gaz à la turbine (WsT):

$W_{sT}=H_3-H_{4s}= Cp_g (T_3-T_{4s})$ (IV.25)

- Le travail réel fourni par le gaz à la turbine WT :

$W_T = H_3-H_4=Cp_g (T_3-T_4)$ (IV.26)

- Rendement de la turbine :

$\eta sT = \frac{WT}{WsT}$ (IV.27)

IV.1.4 Bilan de cycle :

- Le travail utile (W_{UT}) :

$W_{UT}= |W_T| - |W_C|$ (IV.28)

- La puissance de compresseur (Pc):

$P_C = \dot{m}_{air}. W_C$ (IV.29)

- La puissance de la turbine (Pt):

$P_T= \dot{m}_g. W_T$ (IV.30)

- Puissance calorifique (Pcal) :

$P_{cal} = \dot{m}_c. PCI$ (IV.31)

- La puissance utile (P_{UT}) :

$$P_{UT} = |P_T| - |P_C| \quad \text{(IV.32)}$$

- Rendement Thermique (η_{th}) :

$$\eta_{th} = \frac{WUT}{Qc-c} \quad \text{(IV.33)}$$

- Rendement global (η_g) :

$$\eta_g = \frac{PUT}{\dot{m}c.Pci} \quad \text{(IV.34)}$$

- Rendement Mécanique (η_m):

$$\eta_m = \frac{\eta g}{\eta Th} \quad \text{(IV.35)}$$

IV.1.5 Calcul de la turbine à gaz V94.2

IV.1.5.1 Paramètres de la TG N°1 (marche en mode diffusion le 15-05-2022)

Tableau IV: 1 Paramètres de la TG N°1 (marche en mode diffusion)

Paramètres	Données
La pression atmospherique de l'air	P_0= 1.013 bar
Le taux de compression	ɽ = 8.82
La température à l'entrée de compresseur	T_1= 298.25 K
La température à la sortie de compresseur	T_2= 601.85 K
La pression à l'entrée de compresseur	P_1= 1.002 bar
La pression à la sortie de compresseur	P_2= 8.838 bar
Densité de combustible	d = 0.720
Rendement isentropique du compresseur	η_{sc}= 82.77 %
Rendement isentropique de la turbine	η st= 89.18 %
Pouvoir calorifique du combustible : gaz naturel	PCI= 12801 (kcal/m^3)
Débit massique de combustible : gaz naturel	$\dot{m}_c$ = 9.94 (kg/s)
Débit massique d'air	$\dot{m}\,a$ = 522 (kg/s)
La temperature a l'entrée de la turbine	T_3=1306.85 K
La pression a l'entrée de la turbine	P_3=8.706 bar

La temperature a l'echappement	T_4= 834.64 K
Rendement thérmique	η_{Th} = 30.35 %

IV.1.5.2 Paramètres de la TG N°3 (marche en mode premix le 15-05-2022)

Tableau IV: 2 Paramètres de la TG N°3 (marche en mode premix)

Paramètres	Données
La pression atmosphérique de l'air	P_0= 1.010 bar
Le taux de compression	ţ = 8.88
La température à l'entrée de compresseur	T_1= 300 K
La température à la sortie de compresseur	T_2= 604.95 K
La pression à l'entrée de compresseur	P_1= 1.000 bar
La pression à la sortie de compresseur	P_2= 8.891 bar
Densité de combustible : gaz naturel	d = 0.720
Rendement isentropique du compresseur	η_{sc}= 83.32 %
Rendement isentropique de la turbine	η st= 88.75 %
Pouvoir calorifique du combustible : gaz naturel	PCI= 12805 (kcal/m^3)
Débit massique de combustible : gaz naturel	ṁ $_c$ = 9.92 (kg/s)
Débit massique d'air	ṁ a = 522 (kg/s)
La temperature a l'entrée de la turbine	T_3=1306.55 K
La pression a l'entrée de la turbine	P_3=8.748 bar
La temperature a l'echappement	T_4=835.15 K
Rendement thérmique	η_{Th} = 30.21 %

IV.1.5.3 Tableau de résultat de calcul (mode diffusion et mode premix)

Tableau IV: 3 Les résultats de Calculs de la TG N°1 (marche en mode diffusion) et la TG N°3 (marche en mode premix)

Paramètres	Résultats (mode diffusion)	Résultats (Mode premix)
Chaleur spécifique de l'air	cp_{air} = 1.022 (kJ/kg.k)	cp_{air} = 1.022 (kJ/kg.k)
Coefficient poly tropique de l'air	γ_{air}= 1.39	γ_{air}= 1.39
Enthalpie d'entrée du compresseur	H_1 = 304.81 (kJ/kg)	H_1= 306.6 (kJ/kg)
Enthalpie de sortie du compresseur	H_2 = 615.09 (kJ/kg)	H_2= 618.258 (kJ/kg)
Enthalpie isentropique du compresseur	H_{2s}= 561.61 (kJ/kg)	$H_{2s=}$ 566.269 (kJ/kg)
La temperature isentropique du compresseur	T_{2s}= 549.53 k	T_{2s}= 554.08 k
Le travail isentropique fourni au gaz par le compresseur	w_{sc} = 256.80 (kJ/kg)	w_{sc} = 259.669 (kJ/kg)
Le travail réel fourni par le compresseur	W_c = 310.27 (kJ/kg)	w_c= 311.658 (kJ/kg)
Chaleur spécifique du melange	Cp_{CC} = 1.160 (kJ/kg.k)	cp_{cc} = 1.160 (kJ/kg.k)
Quantité de chaleur de la combustion	Q_{c-c} = 818.260 (kJ/kg)	Q_{c-c}=814.326 (kJ/kg)
Chaleur spécifique des gaz brulés	Cp_g= 1.183 (kJ/kg.k)	cp_g= 1.183 (kJ/kg.k)
Coefficient poly tropique des gaz brulés	γ_g= 1.32	γ_g= 1.32
Enthalpie d'entrée de la turbine	H_3 =1546.00 (kJ/kg)	H_3= 1545.648 (kJ/kg)
Enthalpie de sortie de la turbine	H_4 = 987.39 (kJ/kg)	H_4= 987.982 (kJ/kg)
Enthalpie isentropique de la turbine	H_{4s} = 919.60 (kJ/kg)	H_{4S}=917.286 (kJ/kg)
Rapport de la détente	ε = 8.51	ε = 8.60
Le travail isentropique fourni par le gaz à la turbine	w_{sT}=626.39 (kJ/kg)	w_{sT}= 628.362 (kJ/kg)
Le travail réel fourni par le gaz à la turbine	w_T=558.61 (kJ/kg)	w_T= 557.666 (kJ/kg)
Débit massique des gaz brulés	$\dot{m}_g$ = 531.94 (kg/s)	$\dot{m}_g$ = 531.92 (kg/s)

Tableau IV: 4 Les résultats de Calculs de la TG N°1 (marche en mode diffusion) et la TG N°3 (marche en mode premix)

Paramètres	Résultats (mode diffusion)	Résultats (Mode premix)
Travail utile	W_u=248.34 (kJ/kg)	W_u= 246.008 (kJ/kg)
La puissance de compresseur	P_C = 161 960.94 (kW)	P_C =162 685.47 (kW)
La puissance calorifique de la chamber a combustion	P_{cal} = 531 871.30 (kW)	P_{cal} = 530 967.00 (kW)
La puissance de la turbine	P_T= 297 147.00 (kW)	P_T=296 633.69 (kW)
La puissance utile	P_{UT}= 135 186.06 (kW)	P_{UT} = 133 948.22 (kW)
Rendement global	η_g= 25.41 %	η_g=25.22 %
Rendement Mécanique	η_m= 83.72 %	η_m= 83.48 %

IV.2. Impact environnemental de la central de Larbaa

Introduction

L'étude d'impact sur l'environnement est un processus qui, au tout début de la planification, cerne et évalue les risques d'incidences environnementales découlant d'un projet prévu. On établit les mesures qui peuvent être adoptées pour contrer les effets environnementaux négatifs ou pour les réduire à des niveaux acceptables au préalable. Cette étude représente donc une contribution ou une approche proactive préventive en matière de gestion et de protection environnementales.

Le sujet de l'environnement reste si important et très vaste pour être traité dans un chapitre. Cependant nous allons tous d'abord donner un aperçu sur les aspects liés à l'environnement. Ensuite traiter particulièrement les problèmes importants, liés aux rejets de CO_2 et NO_x dans l'atmosphère ainsi que la protection de la couche d'ozone au sein la centrale thermique de LARBAA.

IV.2.1 Définition de l'environnement

L'environnement regroupe les milieux naturels tels que l'eau, l'air, les végétaux (la flore), les animaux (la faune), etc… Ainsi que les activités humaines qui les impactent comme les risques naturels et technologiques, les différentes énergies, etc…

Selon les différents rapports des organisations de défense de l'environnement, d'ici 2050, la population devrait atteindre 9,6 milliards de personnes pour actuellement à 7,3 milliards. Si les modes de consommation et de production actuels restent inchangés, nous aurons besoin de deux planètes pour maintenir nos modes de vie en 2050. Le développement démographique et industriel entraîne par ailleurs un réchauffement de l'atmosphère de la planète, qui déséquilibre et met en péril ses habitants. La protection de l'environnement et de ses ressources est donc devenue un enjeu prioritaire.

IV.2.2 Les émissions atmosphériques d'une centrale thermique de production d'électricité

Les rejets atmosphériques d'une centrale électrique dépendent essentiellement de la qualité de la combustion. Le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO_2), les oxydes d'azote (NO_X), les oxydes de soufre (SO_X), Composés organiques volatils (COV) et les particules sont les principaux polluants engendrés par le fonctionnement d'une chambre de combustion. [21]

IV.2.2.1 Le monoxyde de carbone (CO)

Les sources anthropiques sont essentiellement les combustions de produits organiques en présence de quantité d'oxygène insuffisante. Il est fortement toxique et très dangereux car il est sans couleur et inodore. Dans l'atmosphère, le CO accélère l'oxydation de NO en NO_2 en présence d'oxygène, donnant naissance à un brouillard photochimique oxydant.

IV.2.2.2 Le dioxyde de carbone (CO_2)

La combustion des combustibles fossiles donne une production de CO_2.Le dioxyde de carbone ou gaz carbonique est aussi un gaz sans couleur et inodore. On le considère actuellement comme le plus important gaz à effet de serre. La concentration de CO_2 dans l'air, non pollué est d'environ 380ppm (v) [22].

IV.2.2.3 Les oxydes d'azote (NO_X)

Les oxydes d'azote (NO_X) sont définis comme l'ensemble des deux gaz (NO et NO_2). Ils proviennent essentiellement de la combustion des combustibles fossiles et de quelques procédés industriels. Les NO_X dans l'atmosphère sont émis principalement sous forme de NO. Une fraction (environ10%) est transformée en NO_2 dans le foyer de combustion [23].

IV.2.2.4 Les oxydes de soufre (SO_X)

Les oxydes de soufre émis dans l'atmosphère proviennent principalement de la combustion de combustibles fossiles dont la teneur massique en soufre varie de 0,5 à 5 % pour le charbon et de 0,5 à 3 % pour le fuel. Les rejets de soufre se font principalement sous la forme de SO_2 (95 %) et de SO_3 (1 à 2 %) [24].

IV.2.2.5 Les COV

Une petite quantité de composés organiques est émise par la combustion du fioul, ces quantités dépendent de l'efficacité de combustion et du type des centrales. Les émissions de COV sont principalement les critères polluants d'hydrocarbures en phase vapeur non brûlés. La formation de COV dépend de rapports air-combustible, des températures de chambre de combustion, longtemps de rétention de gaz. [25]

IV.2.2.6 Les poussières

Elles sont constituées d'un mélange complexe de substances organiques, et minérales. Leurs tailles varient entre 1 µm et 1 mm environ. Les particules de petites tailles représentent à peu près 99 % des poussières rencontrées dans l'atmosphère car leur vitesse de sédimentation est pratiquement nulle ($< 10^{-3}$ $m.s^{-1}$). Les sources de poussières peuvent être naturelles ou anthropiques, parmi lesquelles on peut citer les centrales électriques à combustion avec fuel, gaz ou charbon.[25]

IV.2.3 Le processus de formation de l'ozone

L'ozone est produit à partir du dioxygène, composé de deux atomes d'oxygène O_2. Aux altitudes supérieures à 30 km, le rayonnement solaire possède encore une énergie suffisante pour casser une partie des molécules de dioxygène et libérer les atomes. Un atome d'oxygène tendant à ne pas rester seul pour des raisons de stabilité, doit se recombiner à un autre élément ; il interagit donc avec une autre molécule de dioxygène O_2 présente pour former une nouvelle molécule, composée de trois atomes d'oxygène : l'ozone O_3.

$$O_2 + \text{ rayonnement solaire} \rightarrow O + O \quad \text{et} \quad O + O_2 \rightarrow O_3 \qquad \text{(IV.36)}$$

Cette réaction chimique est la seule qui, dans la stratosphère, produit de l'ozone. Mais puisque tout l'oxygène n'est pas transformé en ozone dans ce processus, il existe donc un facteur limitant sa concentration. Primitivement, une certaine quantité d'ozone est apparue, il y a plus de deux milliards d'années, lorsque l'oxygène est devenu permanent avec une concentration de l'ordre du pour cent. La concentration observée aujourd'hui résulte d'un équilibre entre la production d'ozone par le rayonnement solaire, et certains processus de destruction : en temps normal, tout l'ozone produit en trop plein du réservoir, est détruit. C'est ce que l'on appelle un équilibre dynamique.

IV.2.4 L'équilibre dynamique de l'ozone

Le jour, à haute altitude, le rayonnement solaire peut dissocier la molécule d'ozone en une molécule de dioxygène et un atome d'oxygène :

$$O_3 + \text{rayonnement} \rightarrow O_2 + O \qquad \text{(IV.37)}$$

Durant la nuit et en particulier la nuit polaire, cette réaction n'existe pas puisqu'il n'y a plus de rayonnement solaire. Une autre réaction devient alors prépondérante : la recombinaison d'un atome d'oxygène et d'une molécule d'ozone pour donner deux molécules de dioxygène :

$$O_3 + O \rightarrow 2\ O_2 \qquad \text{(IV.38)}$$

C'est ce que l'on appelle la décomposition spontanée de l'ozone. Mais l'ensemble de ces deux réactions ne peut rendre compte que de 20 % de la destruction naturelle de l'ozone, alors que pour parvenir à un équilibre il faut que la perte soit égale à la production. Ce problème met en évidence la fragilité de l'équilibre de l'ozone. En effet, si les deux réactions ci-dessus avaient pu suffire à compenser la surproduction d'ozone, l'équilibre de ce dernier ne dépendrait que de la quantité de dioxygène présent dans la haute atmosphère, et cet équilibre aurait été difficilement perturbable, mais les composés chlorés perturbent cet équilibre. Les composés bromés, et les oxydes d'azote NOx contribuent également à cette destruction.

IV.2.5 Les réactions chimiques dans l'atmosphère

Conséquence des réactions de transformation des polluants ou de celles de leur dégradation, notre atmosphère (la troposphère) est assimilée à un réacteur chimique en pleine effervescence. Ainsi, divers types de réactions se déroulent simultanément à chaque instant.

On peut citer :

- **Les réactions photochimiques**

en particulier celles dites de photolyse à savoir la photolyse de l'ozone, du dioxyde d'azote, du formaldéhyde et de l'acide nitreux (espèces photolysables).

- **Les réactions radicalaires**

faisant intervenir les deux principaux radicaux, le radical hydroxyle OH (le jour) et le radical nitrate NO_3 (la nuit), sont des réactions de dégradation d'une grande variété de polluants (en particulier les COV.

- **La formation de l'ozone** :

ce polluant photo-oxydant, très nocif et très destructif qui est au centre de préoccupations de nombreuses études. En effet, la présence de l'ozone dans la troposphère est régit par un équilibre photo stationnaire naturel NO_2 /NO/O_3 comme suit :

$$NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O\bullet\ (3P); \qquad (IV.39)$$

$$O\bullet\ (3P) + O_2 + M \rightarrow O_3 + M; \qquad (IV.40)$$

$$O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2 \qquad (IV.41)$$

Or, seul, ce mécanisme ne peut expliquer l'accumulation de l'ozone dans la troposphère principalement en zone urbaine, en effet, NO et O_3 sont produits en quantités égales. Il faut un processus reconvertissant NO en NO_2 sans consommer O_3. C'est le rôle tenu par les COV dans les cycles de pollution photo-oxydante. Cette production de NO_2 à partir de NO par l'intermédiaire d'une chaîne complexe de réactions photochimiques n'est possible que si des réactifs radicalaires provenant de la dégradation des COV sont présents.

Pour exemple, nous détaillerons ici le cas général de la photo-oxydation de COV par le radical OH• qui produit des espèces intermédiaires très réactives de type RO_2 • (radicaux peroxyles) qui court-circuitent l'oxydation de NO par O_3 et permet l'accumulation de O_3. La complexité de ce mécanisme évolue rapidement avec la taille du composé de départ mais également de par le fait que des centaines d'espèces hydrocarbonées peuvent être détectées dans l'atmosphère.

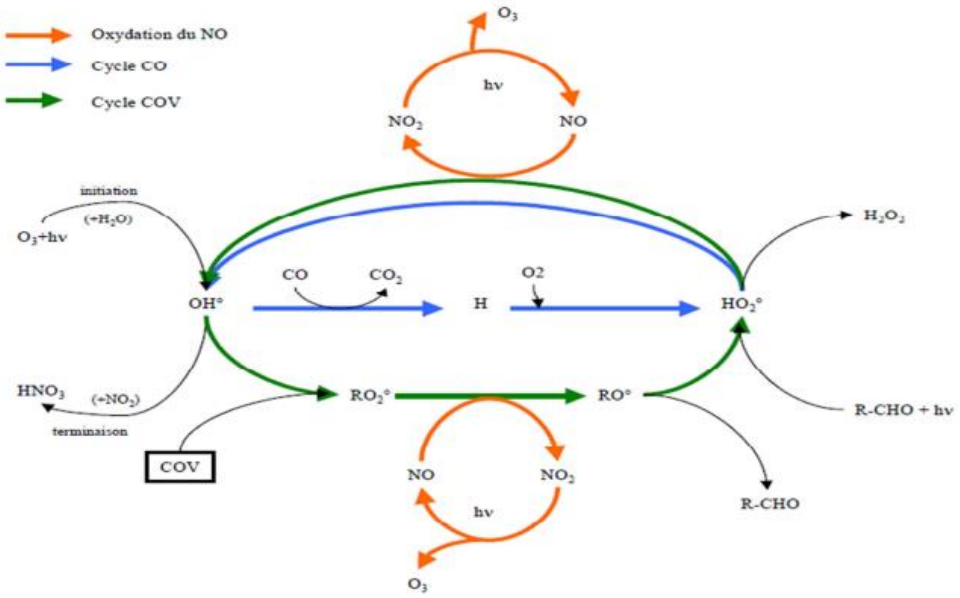


Figure IV: 3 Schéma simplifié d'oxydation des COV induit par le radical OH• et impact sur la formation d'ozone troposphérique

IV.2.6 L'impact des polluants sur l'environnement : [26]

IV.2.6.1 Le réchauffement climatique

L'extraction, la transformation, le transport et la combustion des énergies fossiles sont tous d'importants émetteurs de CO_2 et autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Cela crée un gros déséquilibre et est à l'origine du réchauffement climatique, c'est-à-dire une augmentation de la température moyenne de la surface terrestre, qui aurait des conséquences très graves dans le futur : augmentation du volume des océans, inondations, conflits économiques et sociaux, etc…

IV.2.6.2 La pollution atmosphérique

Ceci est causé principalement par le pétrole et le charbon, dont la combustion dégage des oxydes d'azote, de soufre et de carbone, mais aussi du plomb, des suies et des minéraux lourds. Cela provoque une pollution qui touche plus essentiellement les grandes villes, où des personnes se voient affectées de maladies respiratoires.

IV.2.6.3 Les pluies acides

Les pluies acides proviennent de la combinaison entre les oxydes de soufre et d'azote avec l'eau atmosphérique. Elles sont responsables de la destruction de millions d'hectares de forêts allemandes, scandinaves et polonaises, et de l'acidification de nombreux lacs.

IV.2.6.4 Les marées noires

Elles sont provoquées par les échouages d'immenses pétroliers et sont responsables de pollution importante dans les océans.

Tableau IV: 5 Echelle d'espace et de temps des phénomènes de pollution Atmosphérique [27].

Phénomènes de pollution atmosphérique				
Problème de pollution atmosphérique	**Principaux polluants concernés**	**Principaux risques**	**Echelle d'espaces**	**Echelle de temps**
Pollutions urbaines et industrielles	SO_2, NO_X, COV, Particules….	Santé atteintes sur lesmatériaux	Locale	Heures
Pluies acides et pollution photochimique	SO_2, NO_X	Dommages sur les écosystèmes	Régionale (> 100km)	Jours
Amincissement de la couche d'ozone, effet de serre	CFC, NO_X, CO_2, CH_4,N_2O,O_3	Modification du climat, santé	Planétaire	Années

IV.2.7 Evolution des émissions des gaz d'échappement de la Centrale de Larbaa (rapport d'analyse effectué le 20 et 21 Avril 2021)

IV.2.7.1 Les émissions des gaz d'échappement (mode premix)

A des charges réduites**,** au démarrage [0-80 MW] et à l'arrêt [70-0 MW]. La chambre de combustion fonctionne avec une injection directe de combustible brûlant en régime de diffusion, les concentrations en NO_X sont élevées de 182 mg/Nm^3 au démarrage et 111 mg/Nm^3 à l'arrêt, tout en restant inférieures aux normes Algériennes de rejets dans l'atmosphère. Le mélange du combustible et du comburant se fait dans des conditions proches de la stœchiométrie, la température est alors très élevée environ 1600 °C, ce qui explique cette production d'oxydes d'azote.

A pleine charge, c'est-à-dire à partir de 80 MW, (50% de la puissance du groupe), le passage automatisé du mode diffusion au mode PREMIX (mélange pauvre), engendre une réduction notable des concentrations en NO_X jusqu'à 58 mg/Nm^3. Le mode PREMIX assure le mélange du comburant et carburant avant l'entrée dans la chambre de combustion. Le passage à la combustion du pré-mélangé pauvre permet d'assurer une température suffisamment basse dans la zone primaire, afin de limiter la production des NO_X.

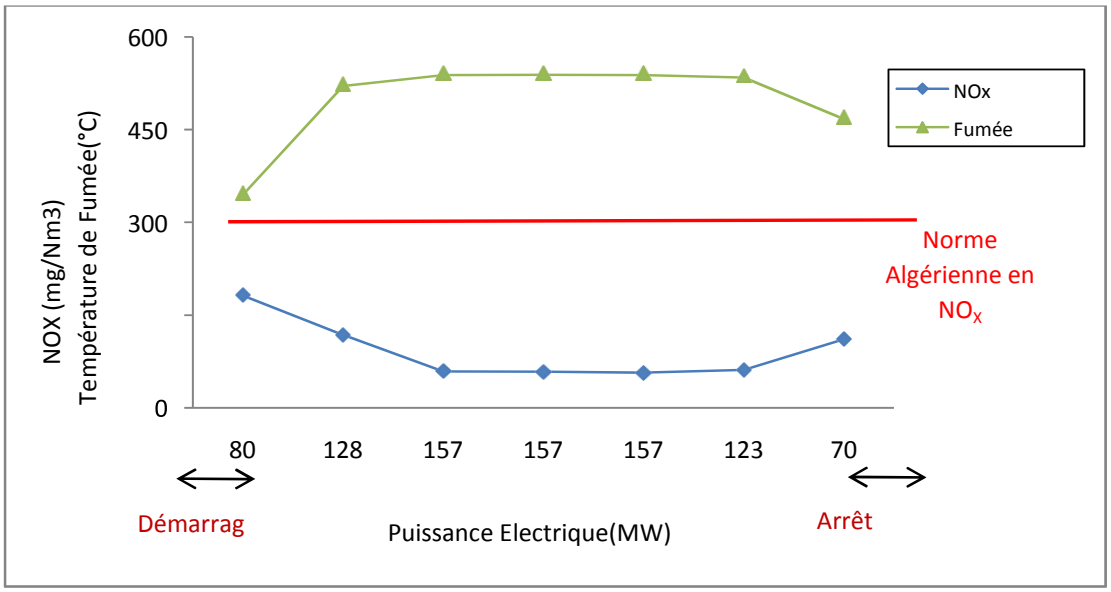
Pour minimiser les émissions de CO et NO_X, on doit maintenir la température de la zone primaire dans un intervalle de$1973°C \leq T \leq 2173°C$. [28]

Tableau IV: 6 Evolution des paramètres et les émissions des gaz d'échappement lors du fonctionnement mode premix

Temps (heures)	**Puissance Electrique (MW)**	**NO_X (mg/Nm^3)**	**CO (mg/Nm^3)**	**CO_2 (mg/Nm^3)**	**SO_2 (mg/Nm^3)**	**Temp. Fumée (C°)**	**Débit. Fumée (KNm^3/h)**
1	80	182	190	3,12	1,23	347,7	139,9
2	128	118	25,41	3,66	1,15	524,0	296,5
3	157	58,85	24,13	3,85	1,25	541,4	393,2
4	157	58,62	23,03	3,08	1,21	541,7	409,7
5	157	57,07	24,08	3,49	1,00	541,3	422,7
6	123	61,45	25,05	3,82	1,13	537,5	279,2
7	70	111	94,85	3,21	1,18	470,1	177,8

IV.2.7.1.1 Les oxydes d'azote (NO_X)

La température élevée de la flamme implique une augmentation importante des NO_X. Après une durée de 2 secondes de la combustion, la température est de 1900 °C, d'où les concentrations de NO_X émises peuvent dépasser les 300 ppm. [29]



Figeur IV: 4 Evolution de la température des fumées et de NOX en Fonction de la puissance électrique

IV.2.7.1.2 Le monoxyde de carbone (CO)

Les émissions de CO sont spécifiques à une combustion incomplète souvent due à un mauvais mélange du carburant avec l'air. La figure représente l'évolution des émissions de CO en fonction de la puissance électrique.

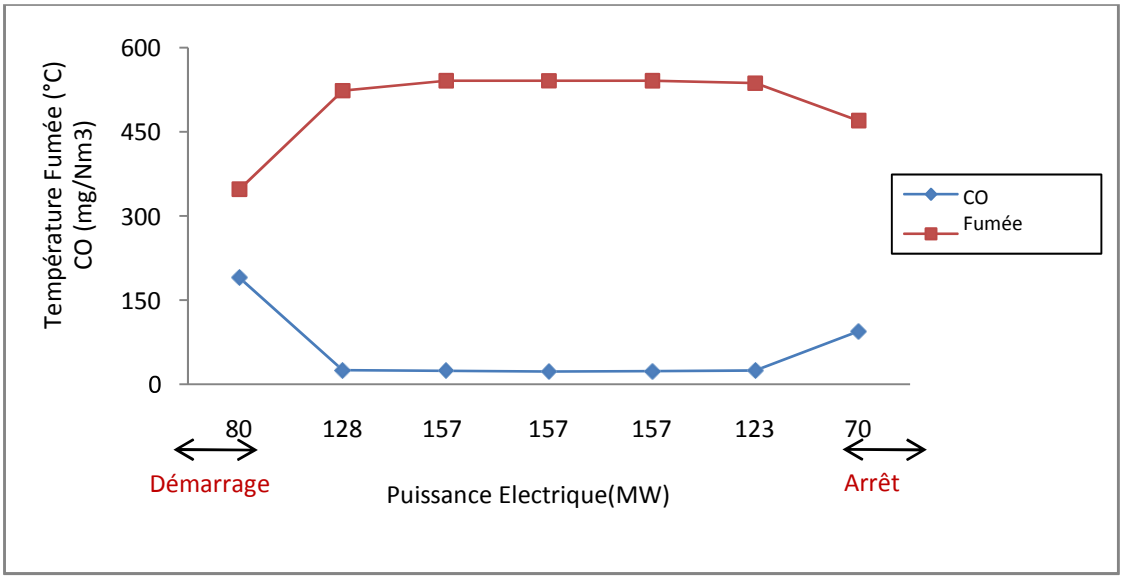


Figure IV: 5 Evolution de la température des fumées et des concentrations de CO en fonction de la puissance électrique.

.

A des charges réduites (démarrage et à l'arrêt), la concentration de CO est élevée atteignant une valeur maximale de190 et 94 mg/Nm^3 respectivement (Combustion incomplète). En augmentant la charge**,** à partir de 50% de la charge soit environ de 70 à 80 MW, les émissions de CO diminuent pour se stabiliser à une valeur de 25mg/Nm^3 (Combustion complète).

Le monoxyde de carbone (CO) résulte de l'oxydation partielle des combustibles composés de chaînes carbonées (hydrocarbures C_nH_m). Le CO est formée lors de la phase secondaire de la

combustion (aval du front de flamme). Lorsque les constituants intermédiaires (H_2, O, H et OH) sont créés par des réactions en chaîne, les émissions de CO en aval du front de flammes ont le résultat d'un temps de résidence insuffisant à des températures élevées.

La formation du CO est l'une des principales étapes de réaction du mécanisme de combustion des hydrocarbures:

$$RH \Rightarrow RO \Rightarrow RCHO \Rightarrow RCO \Rightarrow CO \qquad (IV.42)$$

Ou R est un radical.

IV.2.7.1.3 Le dioxyde de carbone(CO_2)

Les concentrations de CO_2 émises sont négligeables et varient de 4 à5 mg/Nm^3.

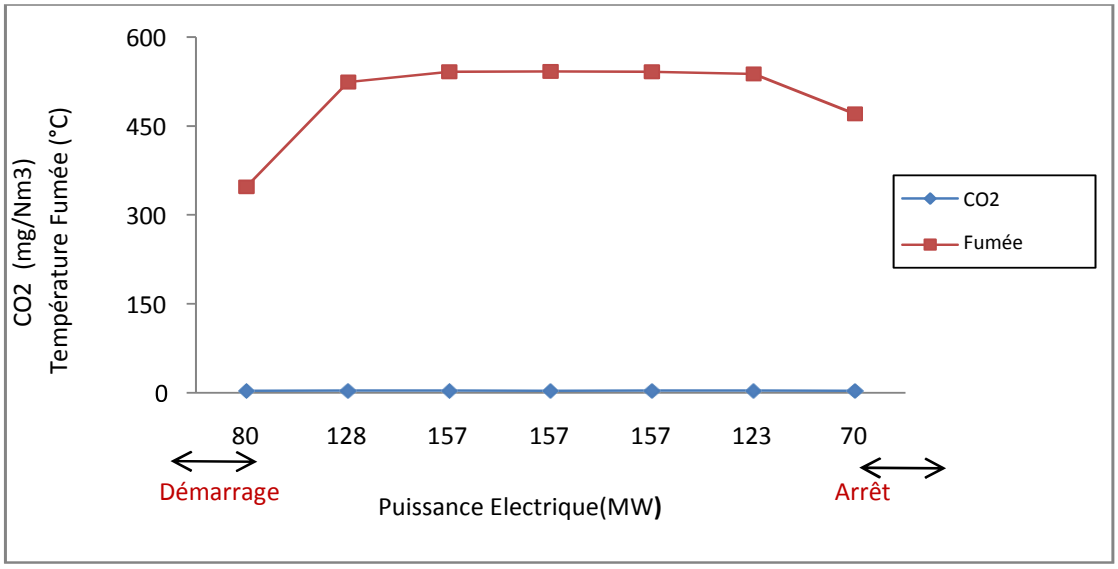


Figure IV: 6 Evolution de la température des fumées et des concentrations de CO2 en fonction de la puissance électrique.

Apres la formation du monoxyde de carbone (CO), son oxydation donne du CO_2. Cette oxydation a une vitesse lente, est impossible en absence d'espèces hydrogénées (notamment OH). Elle fait principalement intervenir les réactions suivantes :

$$CO + OH \rightleftharpoons CO + H \qquad (IV.43)$$

$$CO + O \rightleftharpoons CO + O \qquad (IV.44)$$

$$H + HO \rightleftharpoons OH + OH \qquad (IV.45)$$

$$H + O \rightleftharpoons OH + O \qquad (IV.46)$$

$$CO + HO \rightleftharpoons CO + H \qquad (IV.47)$$

La première réaction est très exothermique et produit l'essentiel de la chaleur dans la zone où abondent OH et O. Toutefois, sa lenteur ne la rend pas compétitive avec les réactions utilisant OH pour oxyder le méthane:

$$CH_4 + OH \rightleftharpoons CH_3 + H_2O \qquad (IV.48)$$

La réaction de terminaison de ce système d'oxydation du CO est une réaction tri moléculaire (lente) qui s'écrit :

$$CO + O + M = CO + M \qquad (IV.49)$$

M étant OH, O_2 ou H_2O. Il est à noter que le CO est le seul précurseur du CO_2 (produit final de la combustion d'un hydrocarbure).

IV.2.7.2 Evolution des émissions des gaz d'échappement (mode diffusion)

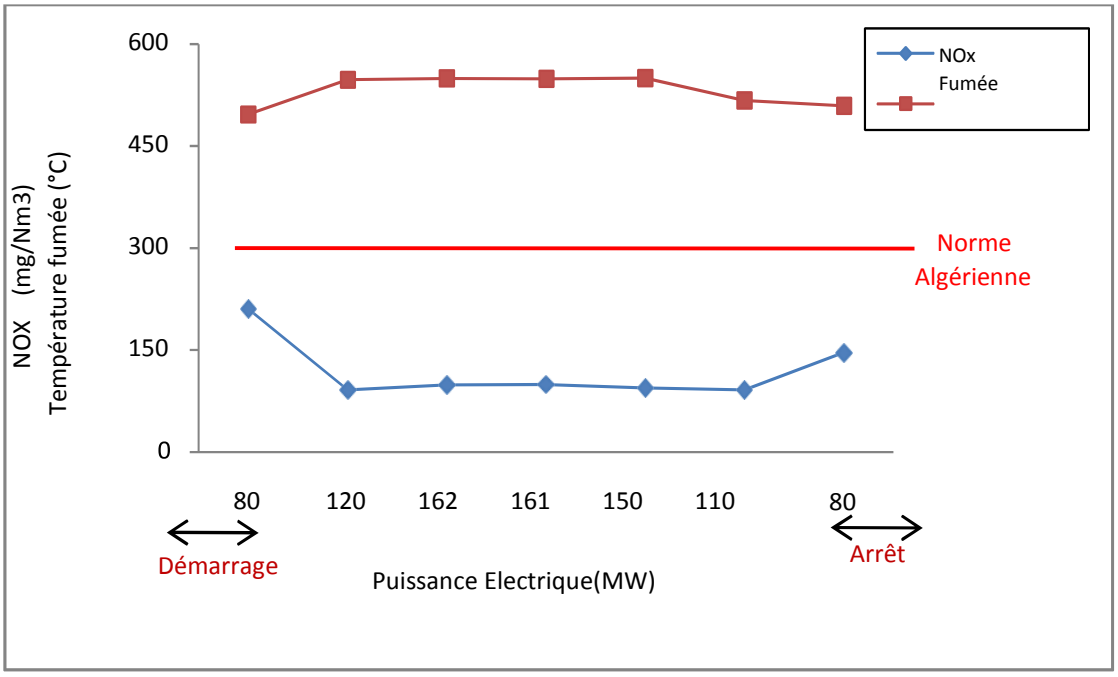
Tableau IV: 7 Evolution des paramètres et les émissions des gaz d'échappement lors du fonctionnement mode diffusion

Temps (heures)	Puissance Electrique MW	NO_X (mg/Nm³)	CO (mg/Nm³)	CO_2 (mg/Nm³)	SO_2 (mg/Nm³)	Temp. Fumée (C°)	Débit. Fumée (kNm³/h)
1	80	166,12	89,09	4,15	60,45	496,73	356,81
2	120	91,06	26,20	4,60	16,87	547,70	419,30
3	162	98,52	25,27	4,61	16,82	549,00	438,10
4	161	98,92	25,22	4,59	16,93	548,70	431,10
5	150	94,06	25,09	3,56	17,10	549,90	397,45
6	110	90,98	24,11	4,52	17,29	516,90	368,48
7	80	145,82	45,07	4,39	44,83	508,96	354,76

IV.2.7.2.1 Les oxydes d'azote (NO_X)

Quelle que soit la charge, le groupe fonctionne en mode diffusion, au démarrage les concentrations des NO_X sont élevées de l'ordre de166 mg/Nm^3. Cette technique de combustion demande un rapport de mélange air/combustible important et produit des températures de flammes extrêmement élevées, par conséquent, les effets de la dissociation thermique sont amplifiés durant l'opération de combustion, il en résulte une émission plus importante des NO_X.

En augmentant la charge**,** le système d'injection d'eau déminéralisée dans la chambre de combustion démarre, l'eau injectée refroidit la température de la flamme en réduisant ainsi les effets de la dissociation thermique, ce qui engendre une réduction des NO_X (94 mg/Nm^3).



Figeur IV: 7 Evolution de la température des fumées et des concentrations des NOX en fonction de la puissance électrique.

La formation de NO_X est influencée principalement par la température de flamme et le temps de séjour .Le rapport d'équivalence est lié directement au débit d'air introduit dans la chambre de combustion qui influence la formation des NO_X thermique. Le mélange air/combustible dans les zones riches en combustible donne une température de flamme importante et une production de NO_X thermique, à la stœchiométrie (rapport équivalent égal à 1), la concentration de NO_X peut aller jusqu'à une valeur maximale de 350ppm.Bien que les concentrations émises en NO_X soient importantes au démarrage et à l'arrêt sur le site de la centrale de Larbaa, néanmoins elles restent inférieures aux normes de rejets dans l'atmosphère [30].

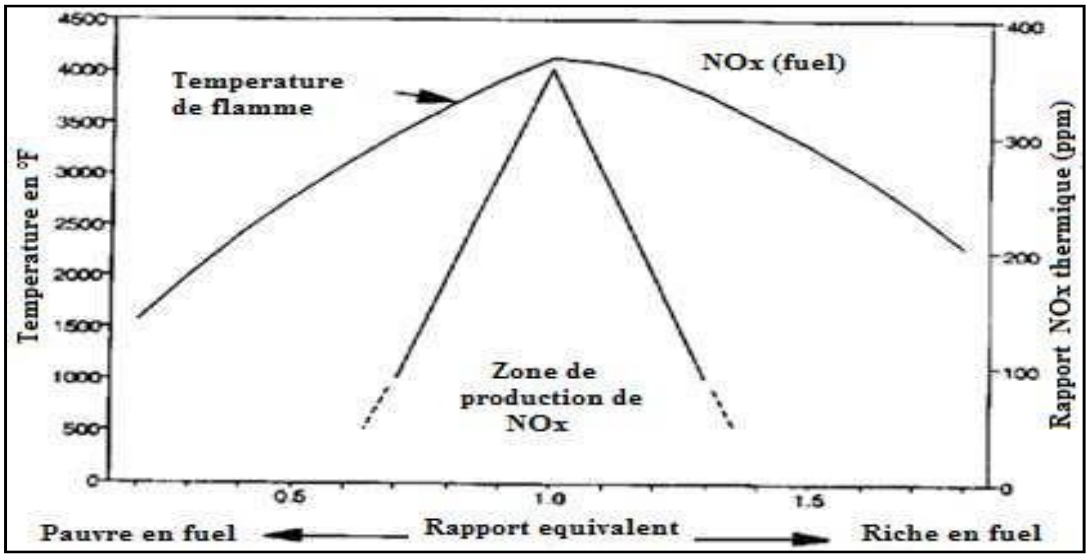


Figure IV: 8 Production de NOX thermique en fonction de la température de flamme et du rapport d'équivalence [30]

IV.2.7.2.2 Le monoxyde de carbone (CO)

Le CO est émise lors d'une combustion avec une insuffisance d'oxygène. Les émissions de CO sont formées dans les zones riches ou pauvres en combustible (hors stœchiométrie).

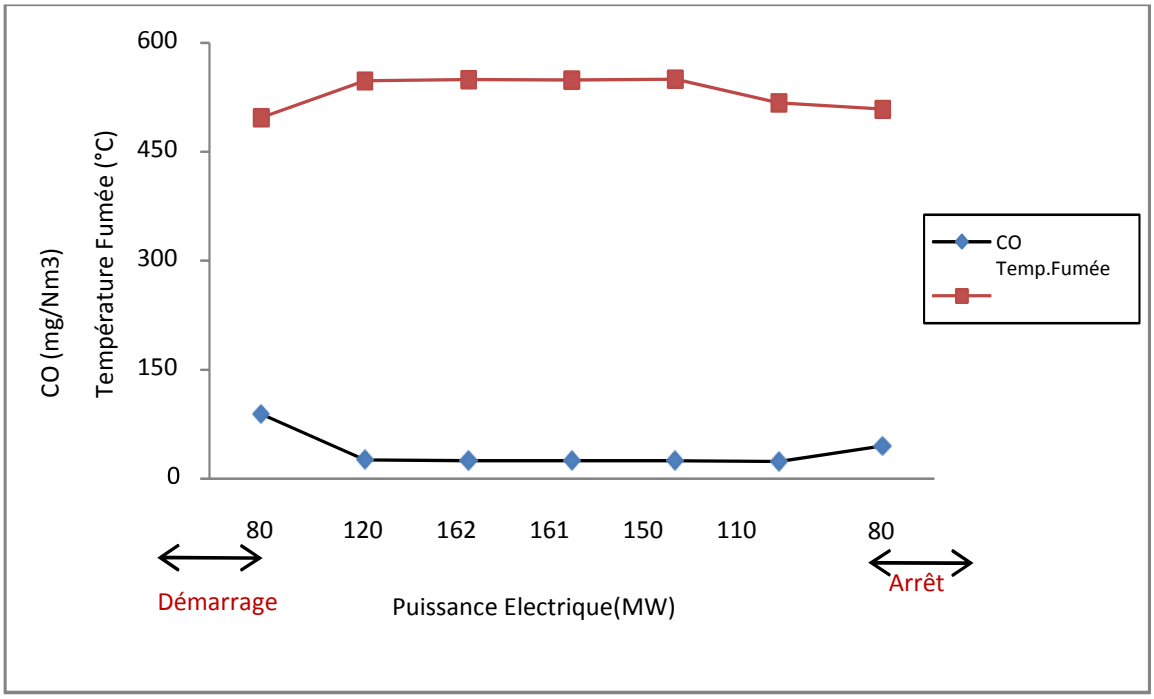


Figure IV: 9 Evolution de la température des fumées et des concentrations de CO en fonction de la puissance électrique.

A des charges réduites**,** démarrage [0-80 MW] et à l'arrêt [80-0 MW], les concentrations de CO sont élevées de 89 et 45 mg/Nm^3, les hydrocarbures imbrûlés (HC) proviennent aussi de cette combustion incomplète. A pleine charge [80-162MW], le CO diminue et se stabilise vers 25mg/Nm^3 (combustion complète).

IV.2.7.2.3 Le dioxyde de carbone (CO_2)

La figure illustre l'évolution de CO_2 en fonction de la puissance électrique émis lors de la combustion au fuel, pendant le fonctionnement et quelle que soit la puissance, le CO_2 émis par le combustible fuel est très faible de 4mg/Nm^3

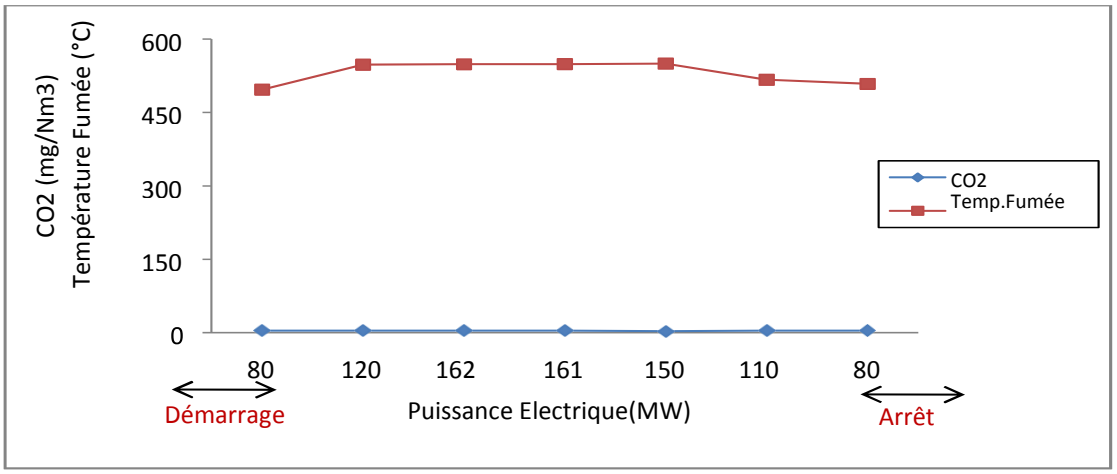


Figure IV: 10 Evolution de la température des fumées et des concentrations de CO2 en fonction de la puissance électrique.

Conclusion

Nous avons donc effectué un calcul thermodynamique détaillé d'après les données réelles. On a déterminé tous les paramètres et performances de la turbine à gaz V 94.2 dans les deux modes de combustion (premix, diffusion).

Ensuite, nous avons évalué par une simple étude de l'impact de l'énergie fossile sur l'environnement. On a aussi évalué la pollution atmosphérique de la centrale thermique de Larbaa, ce qui nous a amené à essayer de comprendre les mécanismes chimiques impliqués dans les processus de formation des polluants générés lors de la combustion, pour trouver les moyens de leur réduction ou élimination.

On note que les émissions du CO , CO_2 et NO_X dans les deux modes de combustion (premix et diffusion) sont en dessous des valeurs limite des normes Algériennes définit par le décret n° 06/138 du 15 Avril 2006 relatif à la règlementation des émissions dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce le contrôle.

Les performances énergétiques, présenté dans les tableaux IV.3 et IV.4, dans les deux modes premix et diffusion sont presque identiques. Pour ce qui est des rejets, on remarque que les rejets NO_X , CO et CO_2 sont beaucoup plus élevée dans le mode diffusion comparé au mode premix.On conclue donc que la différence des rejets n'influe pas sur les performances énergétiques qui restent pratiquement identiques.

Conclusion générale

Conclusion générale

Nous avons d'abord pris une connaissance réelle, concrète et effective de ce qu'est une centrale thermique, sa taille, ses équipements imposants, son organisation humaine, sa technologie et ses problèmes quotidiens. Nous nous sommes bien imprégné de cette structure industrielle et acquis notre première expérience professionnelle.

S'agissant de la turbine à gaz V94.2, sa simplicité réside dans le fait qu'elle est à simple arbre ce qui a réduit son encombrement comparé à d'autres turbines, son compresseur axial bien équilibré, un système anti pompage prévient l'apparence de ce dernier. La turbine de puissance à quatre étages entraine le compresseur axiale et le générateur d'électricité, tout un système de capteurs et contrôles assurent le bon fonctionnement de cette dernière.

La combustion qui est au cœur étude nous a montré que nous sommes en présence de deux types de combustion, la combustion pré mélangé (premix) et la combustion de diffusion. La combustion se tient dans deux chambre à combustion coniques verticales.

0n note que les deux modes de combustion, premix et diffusion n'influent pas sur les performances énergétiques de la turbine qui restent pratiquement identiques dans les deux cas. L'influence des deux modes de combustion apparait dans les différences des quantités de gaz rejetées dans l'atmosphère. C'est le mode premix qui engendre le moins de rejets.

On utilise obligatoirement le mode combustion par diffusion, seulement au démarrage de la turbine à gaz, ceci dans le but de stabiliser la flamme. Puis, environ une heure plus tard, on passe au mode premix. Une autre raison nous oblige à démarrer en mode diffusion car un démarrage en mode premix entraine aussitôt l'extinction de la flamme.

Pour les études futures, nous proposons de réaliser une investigation sur l'utilisation de l'hydrogène liquide comme combustible de la station. Il semblerait que la diminution des rejets de gaz nocif est vraiment considérable dans cette perspective

[1]: document de la societé SPE

[2] : A. GIAMPAOLO, Gas Turbine Handbook (Principles and Practices), Third Edition, 2006

[3] : BELKHAMSA S. ABD ESSELAM S., « Contribution à l'étude au calcul des cycles Thermodynamiques des turbines à gaz » mémoire d'ingénieur, université Ouargla, 2008

[4] : ENSPM Formation Industrie - IFP Training. Machines Tournantes : turbines à gaz technologie et fonctionnement. 2005.

[5] : Gunt, Connaissances de base Turbines [en ligne] (page consultée le05/07/2019). https://www.gunt.de/images/download/turbinesfrench.pdf

[6] : Wikipedia. Turbines impulse v reaction.svg [en ligne] (page consultée le 05/07/2019). https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Turbines_impulse_v_reaction.svg.

[7] : Eric GONGALVES et jean-paul THIBAULT « Cycles thermodynamiques des machines Thermiques », octobre 2006, Institut National Polytechnique de Grenoble

[8] : GE oil & gas - Nuovo Pignone. Manuel de formation pour la conduite et l'entretien d'une turbine a gaz MS 5002 C.

[9] : GE oil & gas - Nuovo Pignone. Heavy Duty Gas Turbine Operating Principles

[10] :W.BELHADJ, «Etude de l'Influence de L'injection de la Vapeur D'eau et du Refroidissement de l'Air D'admission dans une Turbine à Gaz», PFE Master, Universite M'hamed Bougara Boumerdes-Année Universitaire : 2016-2017

[11] : Y. LORANCHET, Directeur de la société tume Systems de la série Techniques de l'ingénieur, Document B4 425,Mise en oeuvre des turbines à gaz dans l'industrie

[12] : BENDJEDIDI S., « Pompe centrifuge », Rapport de stage, Université de Batna, 2012

[13] Chapitre 1 : Notions fondamentales de Combustion : M.S. LOUNICI

[14] : généralités : combustion et incendie. BSP 731 : prévention – prévision_

[15] : josianne roy les type de combustion chimiste M.Sc 2006.

[16] : MEMOIRE DE FIN D'ETUDES par Merabet mourad, Haraoubia mohamed amine « Simulation numérique de la combustion en utilisant les modèles EDM /LFM »

[17] : Thèse doctorat présente par YATHIS GIOVANNI DELICAT « étude de la réactivité De l'iode transporte dans un mélange H2/H2O en conditions de combustion dans des flammes Basse pression pré mélangées »

[18] : Techno-Science.net : Flamme (combustion) ; 11/04/2022 09:39

[19] : Roger Prud'Homme. Notions de base sur la combustion. Thermodynamique des interfaces et mé-canique des fluides, ISTE OpenScience, 2019. ffhal-02126043ff

[20] : https://www.google.com/search cycle idéal de joule brayton

[21] : Charles. E., Baukal Jr., (2003). Industrial burners Handbook industrial combustion basics.CRC press. U.S.A.

[22] : Charles. E., Baukal Jr., (2004). Industria1 combustion pollution and control. ISBN: 0-8247- 4694-5. New York. U.S.A.

[23] : Cooper C. D., Alley F. C., (2002). Air pollution control a design approach 33rd Ed. Waveland press, Inc., Illinois.USA

[24] : Le Cloirec. P., (2008). Introduction aux traitements de l'air. Technique de l'ingénieur. Traité enenvironnement. G 1700.

[25] : USEPA (United states environmental protection agency), (2005). Sources of indoor air pollution organic gases (volatile organic compound VOCs).

[26] : Les énergies fossiles et l'environnement (Université De Boumerdès /Faculté de Technologie)

[27] : Elichegaray. C., (2008). Pollution atmosphérique. Introduction. Technique de l'ingénieur, traité en environnement. G 1 500V2.

[28] : Lefebvre A. H., (1998). Gas turbine combustion, 2ed. Taylor et Francis.

:

[29] : Jacubowiez. I., (2008). Dénitrification des gaz de combustion. Technique de l'ingénieur, traitégénie des procédés. J 3 922.

[30] : Schorr. M., (1991). Control for Gas turbines: regulations and technology. General electric company. Schenectady, NY. For presentation at the council of industrial boiler owners NO control IV conference 3- 5.