

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE EPOPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des sciences appliquées  
Département de Génie des procédés

Mémoire

**MASTER ACADEMIQUE**  
Domaine : Sciences et Techniques  
Filière : Génie des procédés  
Spécialité : Génie pétrochimique

Présenté Par :

**Bergoug Baha Eddine**

**Thème:**

# Etude descriptive de la turbine à gaz MS 5002C

Soutenu publiquement le :

Devant le jury composé de :

M<sup>r</sup> Bacha Oussama

MCA (UKM Ouargla)

Président

M<sup>ell</sup> Bouzian Khadidja

MAA (UKM Ouargla)

Examineur

M<sup>ell</sup> Zighmi Souad

MCB (UKM Ouargla)

Encadreur

Année Universitaire : 2020/2021

# *remerciement*

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance premièrement à notre Dieu tout-puissant, qui m'a donné le courage, la volonté et la force pour accomplir ce modeste travail, merci d'avoir éclairé mon chemin.*

*Je veux remercier aussi mon directeur de mémoire Dr.Zighmi souad, de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.*

*J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.*

*Je remercie mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mes frères et sœurs, pour leurs encouragements.*

*Enfin, je remercie mes amis, qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide. À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.*



# dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à mes parents en signe de reconnaissances pour tout ce qu'ils ont consenti comme efforts, rien que pour me voir réussir, et voilà, l'occasion s'est présentée.*

*A mes frères Nour EL islam, Ahmed Yassine, Mohammed Morsi et ma sœur khadidja et à toute la famille.*

*A tous mes amis sans exception.....*

*a toutes les personnes importantes dans ma vie.....*



**Résumé :** Dans ces dernières années, les turbines à gaz industrielles jouent un rôle important dans les systèmes de production de puissance, telles que les centrales nucléaires de puissance (NPP) et les centrales de production du gaz. Bien que de nombreux avantages de ces équipements, leur haute sensibilité à l'influence de variation de la température de l'air ambiant, qui change considérablement entre le jour et la nuit, l'été et l'hiver, fait que le rendement thermique d'exploitation de ces machines se trouve affecté. L'objectif principal de ce travail, consiste à une étude de la turbine à gaz MS5002C

**الملخص:** في السنوات الأخيرة، لعبت توربينات الغاز الصناعية دورًا مهمًا في أنظمة توليد الطاقة، مثل محطات الطاقة النووية (NPP) ومحطات إنتاج الغاز. على الرغم من العديد من مزايا هذه المعدات، إلا أن حساسيتها العالية لتأثير تغير درجة حرارة الهواء المحيط، والتي تتغير بشكل كبير بين النهار والليل، الصيف والشتاء، تجعل تشغيل الكفاءة الحرارية لهذه الآلات يتأثر. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة التوربينات الغازية MS5002C.

**Abstract:** In recent years, industrial gas turbines play an important role in power generation systems, such as nuclear power plants (NPP) and gas production plants. Although many advantages of these equipments, their high sensitivity to the influence of variation of the ambient air temperature, which changes considerably between day and night, summer and winter, makes the thermal efficiency operation of these machines is affected. The main objective of this work is to study the MS5002C gas turbine.

# Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapiter I : la détente dans les turbines:</b>	
I.1. Introduction .....	3
I.2. Definition : .....	3
I.3. Principe : .....	4
I.4. Modelisation mathematique .....	4
I.5. Les détentes en thermodynamique .....	5
I.5.1. Détente de joule-gay lussac : .....	5
I.5.1.1.bilan énergétique de la détente de joule- gay lussac : .....	5
I.5.1.2. Bilan entropique de la détente de joule – gay lussac.....	7
I.5.2. Détente de joule thomson .....	7
I.6.turbine de detente: .....	8
I.6.1.turbine centripète (radiale): .....	8
I.6.2.turbine axiale : .....	8
I.7. Principe de fonctionnement : .....	8
I.8.conclusion : .....	8
<b>chapiter II : Généralités sur les turbines à gaz</b>	
II.1 introduction .....	9
II.1. Definition .....	9
II.2. Historique de la turbine a gaz: .....	9
II.3. Description des composants d'une turbine a gaz : .....	10
II.3.1 système de l'admission « entrée d'air » : .....	11
II .3.2. Compresseur : .....	11
II .3 .3. La chambre de combustion : .....	11
II.3.4. La turbine : .....	12
II .3.5. Echappement: .....	12
II .4. Classification des turbines a gaz .....	12
II.4.1. Par le mode de construction.....	12
II.4.2. Par le mode de travail.....	13
II.4.2.1 turbine à action .....	13
II.4.2.2.turbine à réaction.....	13
II.4.3. Par le mode de fonctionnement thermodynamique.....	13
II.4.3.1. Turbine à gaz à cycle fermé.....	13
II.4.3.2. Turbine à gaz à cycle ouvert.....	13
II.5.principales applications : .....	14
II.5.1. Utilisation des turbines à gaz pour la propulsion : .....	14
II.5.2. Production combinée chaleur-force : .....	14
II.5.3. Production d'électricité : .....	14
II.5.4. Pompage et compression : .....	14
II.6. Principe de fonctionnement de la turbine a gaz .....	15
II.7.avantages et inconvenients des turbines a gaz : .....	16
II.7.1. Avantages : .....	16
II.7.2. Inconvénient : .....	16
II.8.conclusion : .....	16
<b>chapiter III : Description de la turbine à gaz MS5002C</b>	
III.1. Introduction : .....	17

III.2.presentation de la turbine a gaz ms 5002c : .....	17
III.2.1.définition : .....	17
III.2.2. Caractéristiques de la turbine à gaz ms 5002c : .....	18
III.3.sections principales de la turbine a gaz : .....	20
III.3.1 section compresseur : .....	20
III.3.1.1 le rotor du compresseur .....	20
III.3.1.2 le stator du compresseur .....	20
III.3.1.3.le rôle du compresseur axial .....	22
III.3.2.section combustion : .....	22
III.3.2.1.enveloppe de combustion .....	23
III.3.2.2.corps de combustion .....	23
III.3.2.3. Pièces de transition .....	23
III.3.2.4.bougie d'allumage .....	24
III.3.2.5.détecteur de flamme ultraviolette : .....	24
III.3.3.section turbine : .....	25
III.3.3.1.directrices premier étage .....	25
III.3.3.2.directrices deuxième étage .....	26
III.3.3.3.roues de turbine .....	26
III.4. Socle des auxiliaires: .....	27
III.5. Le compartiment des auxiliaires: .....	27
III.5.1. Tableau des manomètres: .....	27
III.5.2. Moteur de lancement:.....	27
III.5.3. Convertisseur de couple: .....	27
III.5.4. Embrayage de lancement: .....	28
III.5.5. Réducteur: .....	28
III.5.6.accouplement:.....	29
III.5.7. Vireur hydraulique: .....	29
III.6.systemes alimentations de turbine : .....	30
III.6.1.système d'admission : .....	30
III.6.2.système d'alimentation en gaz combustible : .....	30
III.7. Systemes de commande : .....	31
III.7.1.système de commande de gaz combustible : .....	31
III.7.1.1 la vanne srv .....	33
III.7.1.2 la vanne gcv .....	33
III.7.2.système de commande d'huile hydraulique : .....	33
III.7.3. Intel guide vane (igv).....	34
III.8. Systeme de lubrification : .....	35
III.9. Systeme d'echappement : .....	36
III.10. Systemes de protection : .....	36
III.11. Sequence de demarrage et d'arret : .....	39
III.11.1. Séquence de démarrage .....	39
III.11.2. Séquence d'arrêt.....	40
III.12.conclusion : .....	40
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>42</b>

# Liste des figures

Figure (I.1) : schéma présente diagramme de PV.....	03
Figure (I.2) : Dispositif de Gay-Lussac pour l'étude des détente.....	05
Figure (I.3) : Détente de Joule Thomson.....	07
Figure (II.1) : Composants d'une TAG simple.....	10
Figure (II.2-a): Rotor du compresseur axial.....	11
Figure (II.2-b): Stator du compresseur axial.....	11
Figure (II.3) : Turbines à gaz à un arbre et à deux arbres.....	12
Figure (II.4) : Schéma de turbine à action et turbine à réaction.....	13
Figure (II.5): Les variations de P et T dans les différentes sections de turbine.....	15
Figure (III.1): turbine à gaz MS 5002S.....	17
Figure (III.2) : compresseur axial.....	20
Figure (III.3): la commande des IGV.....	21
Figure (III.4): Compresseur axial.....	22
Figure (III.5) : Chambres de combustion turbine à gaz.....	23
Figure (III.6) : l'écoulement dans la chambre de combustion.....	23
Figure (III.7): Pièces de transition.....	24
Figure (III.8) : Bougie d'allumage.....	24
Figure (III.9) : Bougie à flamme et Détecteur à flamme.....	25
Figure (III.10) : Le distributeur et la roue de turbine.....	25
Figure (III.11) : Tuyère 2eme étage (Nozzel).....	26
Figure (III.12): roue de turbine HP.....	26
Figure (III -13): roue de turbine BP.....	26
Figure (IV.14) : Embrayage de lancement.....	28
Figure (III.15) : schéma de réducteur auxiliaire.....	29
Figure (III.16) Système d'admission.....	30
Figure (IV.17) : Système d'alimentation en fuel.....	31
Figure (III.18) : Système de commande de gaz.....	32
Figure (III.19) : système d'huile hydraulique.....	34
Figure (III.20) : Variable Inlet Guide Vane System.....	35
Figure (III.21) : Système de lubrification des paliers de compresseur centrifuge.....	36
Figure (III.22) : Echappement de gaz combustible.....	36
Figure (III.23) : Système lutte anti-incendie.....	38
Figure (III.25) : Schéma des séquences d'arrêt.....	40

# Introduction générale

Toutes les entreprises du pétrole se sont intéressées pour l'obtention de l'énergie pour assurer l'échange et la continuité normales de leurs activités , par exemple le transport des gaz par un compresseur centrifuge nécessite une énergie mécanique pour l'entraîner, cette énergie mécanique vient de la turbine à gaz qui utilise l'énergie thermique de combustion du fluide utilisé qui est l'un des produits de ces industries ; alors la turbine à gaz joue un rôle très important pour l'échange de travail.

Les turbomachines qui peuvent être des pompes, ventilateurs, compresseurs ou des turbines et qui manipulent des débits de fluide plus grands que les machines volumétriques, elles jouent, dans ces processus de conversions d'énergie, un rôle important d'échangeur de travail entre le fluide et les organes mécaniques dont la partie en mouvement est constituée d'un rotor muni d'ailettes.

Aujourd'hui, avec l'évolution technologique, la turbine occupe une grande partie dans le secteur de production de l'énergie.

Dans notre pays, l'industrie du pétrole utilise essentiellement les turbines à gaz pour assurer l'acheminement des hydrocarbures, ainsi qu'elles sont utilisées pour produire l'énergie électrique dans les centrales, ce qui donne à la turbine une importance dans l'économie nationale.

Notre objectif dans ce travail est de faire une description plus au moins détaillé d'une turbine à gaz et plus précisément de type MS5002C, utilisée dans l'unité de recompression de gaz sec afin de connaître l'aspect industriel et les composant de cette machine.



Le présent travail est divisé en trois chapitres :

- ✓ Le premier chapitre comporte une description de la détente et son fonctionnement dans les turbines en général et le turbine MS5002C en particulier, et explique son importance dans l'industrie pétrochimique.
- ✓ Le deuxième chapitre est une description générale de la turbine à gaz en terme constituant et domaines d'application et ses différentes installations et l'influence des agents externes sur son fonctionnement ainsi que les différentes techniques d'amélioration de ses performances.
- ✓ Le troisième chapitre comporte Une description détaillée de la turbine à gaz a été abordée . où l'on a passé en revue tous les organes constitutifs de la turbine tout en détaillant leur technologie, leur fonctionnalité, les mécanismes de fonctionnement.

# **la détente dans les turbines**

---

## I.1. Introduction

La détente thermique est l'expansion à pression constante du volume d'un corps occasionné par son réchauffement, généralement imperceptible. Dans le cas d'un gaz, il y a détente à pression constante ou maintien du volume et augmentation de la pression lorsque la température augmente. À l'opposé de la détente, un refroidissement provoque une contraction thermique.

Dans le turbine de détente, est une turbine centrifuge ou à écoulement axial, à travers laquelle un gaz à haute pression est détendu pour produire un travail qui est souvent utilisé pour entraîner un compresseur ou un générateur; les turbo détenteurs sont aussi l'étage essentiel du procédé Claude de liquéfaction de gaz tels que l'oxygène, l'azote, l'hélium, l'argon et le krypton. Les turbines d'expansion sont largement utilisées comme sources de réfrigération dans des processus industriels tels que l'extraction d'éthane et d'autres hydrocarbures du gaz naturel.

La détente d'un gaz dans une turbine à expansion peut être considérée en première approximation comme un processus isentropique, c'est-à-dire un processus à entropie constante. En sortie de turbine, le gaz possède une pression inférieure à la pression d'entrée et il subit par ailleurs un refroidissement. La température de sortie dépend de la température d'entrée, de la différence de pression ainsi que des propriétés physiques du gaz. Du fait de la chute de température, une liquéfaction partielle du gaz détendu est possible.

## I.2. Définition

La détente c'est une transformation thermodynamique est la diminution brusque de pression, à température constante. De nos jours, la quasi-totalité des machines de détente sont des turbines. La théorie des turbines est très proche de celle des turbocompresseurs, la thermodynamique de la détente se distinguant de celle de la compression essentiellement par quelques changements de définitions. (Voir la figure I.1).

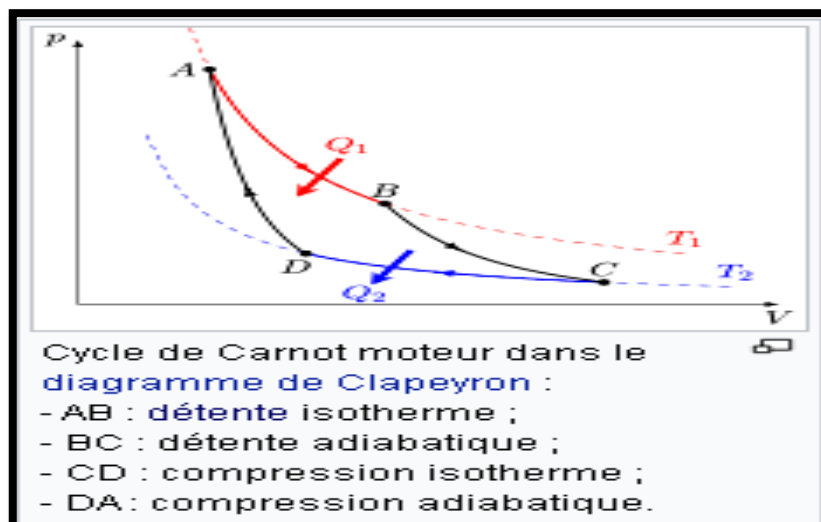


Fig (I.1) : schéma présente diagramme de PV [01]

### I.3. Principe

Premier principe de la thermodynamique, si le système échange du travail avec le milieu extérieur par l'intermédiaire des forces de pression, son énergie interne varie et particulièrement les énergies cinétiques microscopiques constituant l'agitation thermique des particules du système, définissant la température à l'échelle macroscopique. Cela se traduit donc par une variation de la température. Lors d'une détente, la température diminue car c'est le système qui fournit du travail au milieu extérieur. Dans un processus adiabatique, si la température du système augmente ou diminue, celui-ci ne peut pas se mettre en équilibre thermique avec le milieu extérieur. Cette condition se réalise si : le système est isolé du milieu extérieur, par une enceinte adiabatique (par exemple un calorimètre) ; la transformation est rapide alors que les échanges de chaleur sont très lents.

### I.4. Modélisation mathématique

Les processus adiabatiques sont en général modélisés mathématiquement par des gaz parfaits avec lesquels les opérations sont réversibles et dites "isentropiques" (l'entropie du système est constante). À basse pression cette approximation est acceptable, mais dans la réalité, l'entropie du système augmente toujours au moins un petit peu. Le système est alors dit isenthalpique car même si l'entropie augmente, l'énergie totale du système (enthalpie) est, elle, préservée. [02]

Pour expliquer ce phénomène, prenons un cylindre rempli d'un gaz que l'on va comprimer avec un piston. Dans un système réversible (théorique, donc) si on comprime le gaz avec le piston et qu'on le relâche, le piston va revenir exactement dans sa position d'origine et le gaz après l'échauffement de sa compression puis sa détente, va revenir exactement dans le même état thermodynamique (même température, même pression) qu'à l'origine. Dans la réalité, par contre, la compression va nécessiter un effort supplémentaire qui sera perdu en chaleur à cause de la viscosité du gaz. Et lors de la détente, le travail rendu sera un peu diminué par cette même viscosité.

À la fin du cycle, le gaz sera un petit peu plus chaud et occupera un volume légèrement plus grand qu'au début; cependant, comme les forces fournies par la détente auront été plus petites que celles nécessitées par la compression, le travail total rendu sera inférieur au travail fourni initialement et la différence correspondra à l'énergie absorbée par le gaz pour élever sa température.

### I.5. Les détentes en thermodynamique

Il y a Deux détentes historiques ont joué un rôle important dans la détermination des propriétés des fluides et dans les machines produisant du froid : détente de joule-Gay Lussac et la détente de Joule-Kelvin appelé aussi détente de Joule-Thomson. [03]

**I.5.1. détente de joule-Gay Lussac**

***I.5.1.1. Bilan énergétique de la détente de Joule- Gay Lussac***

Cette expérience a été réalisée en 1806 par Louis Gay Lussac, est reprise en 1845 par James Joule. La détente de Joule-Gay Lussac est souvent appelée détente dans le vide car la détente se fait dans un compartiment où règne le vide. L'enceinte est calorifugée et il n'y a pas d'échange de chaleur avec le milieu extérieur on a donc des transformations adiabatiques (voir la figure I.2).



Fig (I.2) : Dispositif de Gay-Lussac pour l'étude des détentes [03]

La température finale d'un gaz ayant subi une détente de Joule – Gay Lussac est égale à sa température initiale, ceci n'implique pas forcément qu'il s'agit d'un gaz parfait. Les gaz de Joule d'équation d'état :

$$P (V - nb) = RT \dots\dots\dots (\text{Éq I.1})$$

Ne sont pas des gaz parfait mais leur énergie interne ne dépend que de la température

$$(U = U(T)) \dots\dots\dots (\text{éq I.2})$$

En résumé, l'énergie interne d'un gaz parfait ou d'un gaz de Joule d'équations respectives :

$$PV = RT \text{ et } P (V - nb) = RT \dots\dots\dots (\text{éq I.3})$$

Les mesures expérimentales montrent une légère diminution de la température pour la plupart des gaz : dans le cas de l'hélium on observe une légère augmentation de température lorsque la température est supérieure à 200 K.

✓ Dans le cas d'un gaz parfait :

$$dU = C_v dT \dots\dots\dots (\text{éq I.4})$$

l'énergie d'un gaz parfait ne dépend que de la température. Si l'énergie interne ne varie pas  $dU = 0$  alors la température ne varie pas  $dT = 0$ .

✓ Dans le cas d'un gaz de Van Der Waals, il faut exprimer l'énergie interne  $dU$  en écrivant l'équation d'état d'un gaz de Van Der Waals,

$$\left( P + \frac{n^2 a}{V^2} \right) (V - nb) = nRT \dots\dots\dots(\text{éq I.5})$$

Le terme  $\ll \frac{n^2 a}{V^2} \gg$  tient compte des interactions conservatives entre les molécules du gaz, les forces dérivant de cette énergie potentielle d'interaction, pour une certaine distance, sont attractives. Ce terme a les dimensions d'une pression, or une pression multipliée par un volume est homogène à une énergie, on peut donc alors écrire que l'énergie potentielle d'interaction entre les molécules est donnée par :

$$E_{p,i} = - \frac{n^2 a}{V^2} V = - \frac{n^2 a}{V} \dots\dots\dots(\text{éq I.6})$$

Cette énergie potentielle d'interaction est négative car les forces qui en dérivent sont attractives. et sous forme différentielle :

$$dE_{p,i} = - \frac{n^2 a}{V^2} dV \dots\dots\dots(\text{éq I.7})$$

L'énergie cinétique microscopique  $E_c$  d'un gaz de Van Der Waals correspond à l'énergie interne du gaz parfait, car l'énergie interne d'un gaz parfait ne comporte que l'énergie cinétique:

$$E_c = U_{GP} = nC_V \dots\dots\dots(\text{éq I.8})$$

ou sous forme différentielle

$$dU_{GP} = nC_V dT \dots\dots\dots(\text{éq I.9})$$

On en déduit que la différentielle de l'énergie interne d'un gaz de Van Der Waals est donnée par:

$$dU_{Vdw} = dU_{GP} + dE_{p,i} = nC_V dT + \frac{n^2 a}{V^2} dV \dots\dots\dots(\text{éq I.10})$$

Ou encore :

$$U_{vdw} = U_{GP} + E_{p,i} = nC_V T - \frac{n^2 a}{V} \dots\dots\dots(\text{éq I.11})$$

Si on considère une transformation thermodynamique entre deux états initial et final caractérisé par  $(V_i ; T_i)$  et  $(V_f ; T_f)$  ; on peut alors déterminer la variation de l'énergie interne d'un gaz de Van Der Waals entre ces deux états :

$$\Delta U_{Vdw} = \int_i^f dU_{Vdw} = \int_i^f dU_{GP} + \int_i^f dE_{p,i} = \int_i^f nC_V dT + \int_i^f \frac{n^2 a}{V^2} dV \dots\dots\dots(\text{éq I.12})$$

Pour un gaz parfait on a :

$$\Delta U_{GP} = nC_V (T_f - T_i) \dots\dots\dots(\text{éq I.13})$$

Lors d'une détente de joule de Joule-Gay Lussac l'énergie interne est conservée, on a donc :

$$\Delta U_{GP} = 0 \text{ pour un gaz parfait et donc } T_f - T_i = 0$$

$$\Delta U_{Vdw} = 0 \text{ pour un gaz de Van Der Waals :}$$

$$nV_f(T_f - T_i) - n^2 a \left( \frac{1}{V_f} - \frac{1}{V_i} \right) = 0 \dots\dots\dots(\text{éq I.14})$$

**I.5.1.2. Bilan entropique de la détente de Joule – Gay Lussac**

La détente de Joule / Gay-Lussac est une transformation adiabatique irréversible, adiabatique car il n'y a pas d'échange de chaleur avec l'extérieur et irréversible car la transformation se fait «brutalement » c'est-à-dire assez rapidement, elle se fait dans le vide, il y a donc création d'entropie au sein du système lors de la transformation. L'entropie échangée avec l'extérieur est nulle car la transformation est adiabatique.

Pour un gaz parfait, l'élément d'entropie totale est donnée par :

$$dS = \frac{C_v dT + PdV}{T} \dots\dots\dots(\text{éq I.15})$$

L'intégration entre les états initial et final donne :

$$\Delta S = C_v \ln \left( \frac{T_f}{T_i} \right) + R \ln \left( \frac{V_f}{V_i} \right) \dots\dots\dots(\text{éq I.16})$$

**I.5.2. détente de Joule Thomson**

Il s'agit de la détente d'un gaz travers une restriction (vanne, milieu poreux, ...). Cette expérience est parfois appelé détente de Joule-Kelvin car William Thomson a été élevé au rang de Baron Kelvin de Largs en 1896. Le gaz circule lentement (Énergie cinétique négligeable) dans des conduites rigides et adiabatiques. La transformation s'opère enthalpie constante (on dit parfois isenthalpique). Dans la mesure où elle est irréversible, elle s'accompagne également d'une augmentation d'entropie. A l'aide de la méthode (voir la figure I.3)

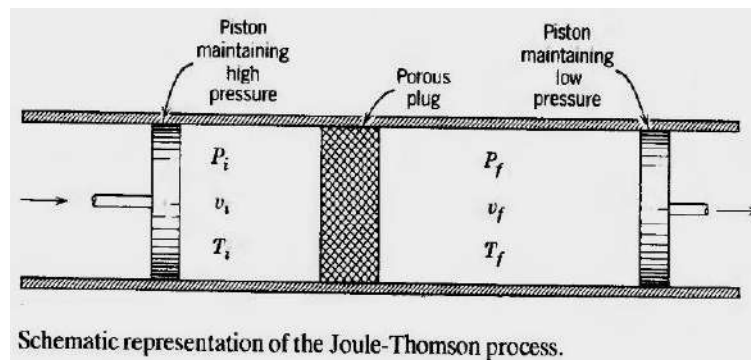


Fig (I.3) : Détente de Joule Thomson [03]

Des jacobines, on peut donner une expression simple de la variation de température d'un gaz circulant dans la restriction :

$$\left( \frac{\partial T}{\partial p} \right)_H = \frac{J(T,h)}{J(p,h)} = \frac{v \cdot (\alpha T - 1)}{C_p} \dots\dots\dots(\text{éq I.17})$$

Pour un gaz parfait, on sait que  $\alpha = 1/T$ . Par conséquent, on a  $\left( \frac{\partial T}{\partial p} \right)_H = 0$  En d'autres termes, la température d'un gaz parfait ne varie pas lors d'une détente isenthalpique. Ceci constitue la

seconde loi de Joule. Pour un gaz non parfait, il y a refroidissement si la température est inférieure la température d'inversion  $T_{inv} = 1/\alpha$ . Ce procédé est utilisé industriellement pour liquéfier les gaz.

## **I.6. Turbine de détente**

Les turbines des turbomoteurs sont le siège d'une détente adiabatique qui transforme l'énergie disponible dans le fluide actif en énergie mécanique, cette énergie sert d'une part à entrainer le compresseur et d'autre part à entrainer une charge (générateur électrique, pompe..). Il en existe deux types : les turbines axiales et les turbines centripètes ou radiales.[4]

### **I.6.1. Turbine centripète (radiale)**

Dans ce type de turbine les gaz chauds parvenant de la chambre de combustion s'écoulent radialement dans le distributeur (première détente), les gaz accélérés dans ce dernier abordent les aubes faisant tourner la roue (deuxième détente), entrainant ainsi l'arbre et le compresseur. A la sortie les gaz sont refoulés axialement par rapport à l'axe du moteur.

### **I.6.2. Turbine axiale**

Elles sont constituées d'étages successifs comprenant une grille fixe suivie d'une grille mobile; la grille fixe transforme la pression du fluide en énergie cinétique et la grille mobile transforme cette énergie en travail mécanique recueilli sur l'arbre de la roue. Les aubes de la turbine axiale sont montées en sapin sur les disques, immobilisé par un frein rabattable d'un côté et par une couronne vissée de l'autre.

## **I.7. Principe de fonctionnement**

La différence de pression entre le condenseur et l'évaporateur nécessite d'insérer un dispositif "abaisseur de pression" dans le circuit d'une pompe à chaleur. C'est le rôle du détendeur, qui va donc abaisser la pression du fluide frigorigène sortant du condenseur à l'aide d'un dispositif d'étranglement. Le fluide frigorigène se vaporise partiellement dans le détendeur pour abaisser sa température. Le détendeur alimente ensuite l'évaporateur en fluide frigorigène en modulant son débit. La détente se produit sans échange de chaleur ou de travail avec le milieu extérieur.

## **I.8. Conclusion**

Dans cette chapitre, nous avons expliqué la détente et son fonctionnement dans les turbines en général et le turbine MS5002C en particulier, et explique son importance dans l'industrie pétrochimique



# **Généralités sur les turbines à gaz**

---

## II.1 Introduction

Une turbine à gaz (dénomination historique, abrégée en (TG), appelée aussi turbine à combustion (TAC) ou parfois turbine à gaz de combustion est une machine thermodynamique tournante appartenant à la famille des moteurs à combustion interne dont le rôle est de produire de l'énergie mécanique par l'entraînement, en rotation d'un arbre lui-même couplé à une machine industrielle ou à une hélice.

### II.1. Définition

La turbine à gaz est un moteur à combustion interne de tous les points de vue. Elle peut être considérée comme un système autosuffisant. En effet, elle prend et comprime l'air atmosphérique dans son propre compresseur, augmente la puissance énergétique de l'air dans sa chambre de combustion et convertit cette puissance en énergie mécanique utile pendant les processus de détente qui a lieu dans la section turbine. L'énergie mécanique qui en résulte est transmise par l'intermédiaire d'un accouplement à une machine réceptrice, qui produit la puissance utile pour le processus industriel. Sous sa forme la plus simple, une turbine à gaz comprend un compresseur axial qui aspire l'air à la pression atmosphérique; une chambre de combustion, où l'air comprimé est réchauffé à pression constante par la combustion d'une certaine quantité de combustible (gaz naturel, gasoil ou kérosène) et enfin une turbine de détente des gaz jusqu' à la pression atmosphérique .

### II.2. Historique de la turbine à gaz

Dans l'histoire de la turbine à gaz, on peut distinguer trois périodes : [05]

- ✓ **La première**, celle des précurseurs, est très ancienne puisqu'il est classique de la faire remonter à Héron d'Alexandrie avec son Éolipile, simple sujet de curiosité ou d'amusement. Viennent ensuite les premiers dépôts de brevets. Pour les turbomoteurs, en 1791, l'Anglais John Barber brevetait un appareil hybride puisque cette turbine à gaz comportait encore un compresseur alternatif. Pour les turbo réacteurs, c'est le Français Lorin qui, en 1911, en fait breveter le principe.
- ✓ **La deuxième**, celle des premières réalisations, commence à la fin du XIX e siècle et peut être considérée comme achevée en 1951. Entre 1872 et 1900 environ, les premiers turbomoteurs sont effectivement construits mais ne peuvent atteindre leur autonomie par suite de l'insuffisance des rendements de compression et de détente. Par contre, entre 1901 et 1906, les recherches des Français Armengaud et Le Male aboutissent au premier turbomoteur autonome avec un rendement global à 3 %. Entre 1935 et 1945, de nombreuses réalisations apparaissent, notamment dans le domaine aéronautique où les turbines à gaz bénéficient des actives recherches menées au cours de la dernière guerre mondiale. Le premier vol d'un avion équipé d'un turbo réacteur a lieu en Allemagne, fin août 1939 (moteur HE S 3 monté

sur avion Heinkel 178 V1), précédant, en mai 1941, une réalisation voisine en Grande-Bretagne (moteur de Whittle W 1X monté sur avion Gloster E.28).

Enfin, 1951 voit deux premières mondiales avec des turbines à gaz de la firme française Turboméca.

Le 18 avril, c'est l'hélicoptère SO 1120 Arriel 3 qui effectue un premier vol propulsé par un turbomoteur, l'ARTOUSTE. Le 6 novembre, c'est le premier vol d'un turboréacteur à double flux, l'ASPIN, monté sur le Fouga Gémeaux IV.

- ✓ **La troisième**, la période industrielle, commence en 1939. C'est, en effet, au cours des cinquante dernières années que ces machines se sont développées de façon tout à fait spectaculaire. On peut citer M. Sedille qui, dès 1948, pressentit avec raison cette évolution : «Il est hors de doute que, dans les années à venir, un effort considérable permettra de multiplier dans toutes les branches d'utilisation les installations turbo motrices à gaz ». Actuellement, la turbine à gaz fait partie de notre environnement courant : l'aviation commerciale et militaire utilise quasi exclusivement des machines de ce type pour propulser ses aéronefs. Pour les applications industrielles, la turbine à gaz est maintenant le concurrent direct des moteurs diesels, et cette évolution est loin d'être terminée.

### II.3. Description des Composants d'une turbine à gaz

Dans le cas le plus simple une turbine à gaz est constituée par un filtre d'entrée d'air, un Compresseur, une chambre de combustion, une turbine de détente et le système d'échappement vers l'atmosphère, (voir la figure. II.1). [06]

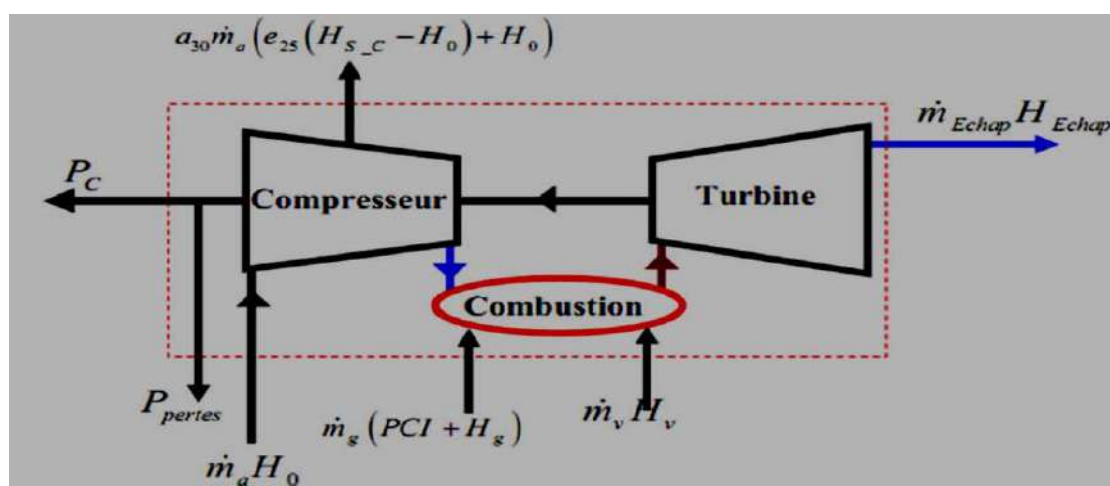


Fig (II.1) : Composants d'une TAG simple.

### II.3.1 Système de l'admission « Entrée d'air »

L'éventuel refroidissement de l'air à l'entrée sans descendre au-dessous d'une température de 5 à 7 °C pour éviter les problèmes de givrage, s'effectue par des systèmes réfrigérants à évaporation, à brumisation d'eau ou à fluide caloporteur froid. Le premier et le dernier de ces systèmes induisent une perte de charge supplémentaire de l'ordre de 0,25 %. Les deux premiers sont efficaces en cas d'air chaud et sec et utilisent l'enthalpie de vaporisation de l'eau pour refroidir l'air en accroissant son humidité à respectivement 90 % et 95 %. La mesure de la perte de charge dans l'entrée d'air est importante pour estimer l'encrassement des filtres en la corrigeant des influences du débit d'air aspiré et des conditions atmosphériques. [07]

### II .3.2. Compresseur

Le compresseur fournit la quantité maximale d'air sous pression qui puisse être chauffée dans l'espace limité de la chambre à combustion. Il est composé d'un disque entouré d'ailettes formant, (voir la figure II-2-a). En tournant, les ailettes aspirent l'air. Un stator formé d'ailettes fixes permet de stabiliser le flux, (voir la figure II-2-b). [07]



Fig (II.2-a): Rotor du compresseur



Fig (II.2-b): Stator du compresseur

### II .3 .3. La chambre de combustion

La chambre de combustion sera à transformer l'énergie chimique du carburant en énergie calorifique. Une fois que l'air est bien comprimé, il est dirigé dans la chambre de combustion. Plus il y a d'air et plus on peut y injecter du carburant en fonction de la stœchiométrie. Le mélange air-carburant s'enflamme, la chaleur produite provoque une forte dilatation de ce mélange et donc produit une très grande poussée. Un réacteur comporte soit plusieurs chambres de combustion soit une dite annulaire qui, comme son nom l'indique, entoure l'axe central comme un anneau. [07]

### II.3.4. La turbine

La turbine transforme l'énergie cinétique et thermique des gaz en énergie mécanique.

La turbine est reliée au compresseur par un axe central. Lorsque la turbine tourne à cause des gaz d'échappements qui frappent ses ailettes, le compresseur tourne également afin de compresser de l'air. Le principal rôle de la turbine est donc de faire tourner le compresseur. Il y a donc plusieurs turbines pour assurer la rotation des différents compresseurs. [07]

### II.3.5. Echappement

Influe par la perte de charge qui est créée par tous les éléments en aval : diffuseur d'échappement (de 0,5 à 1 %), grille de tranquillisation (0,5 %), système de réchauffe des gaz (0,3%), chaudière, vannes et coudes, cheminée. [07]

## II.4. Classification des turbines à gaz

Dans les turbines des gaz ; la classification est divisées en : [05]

### II.4.1. Par le mode de construction

L'objectif pour lequel, on utilise la turbine à gaz définit le type qu'on doit choisir. Dans l'industrie, on trouve les turbines à un seul arbre, dites aussi mono-arbre. Elles sont généralement utilisées dans le cas où on cherche un fonctionnement avec une charge constante (pour entraîner les générateurs d'électricité). Un deuxième type, englobe les turbines à deux arbres (bi-arbres); elles ont l'avantage d'entraîner des appareils à charges variables (pompes, compresseur,...). Elles se composent de deux parties, la première assure l'autonomie de la turbine (GG), la deuxième est liée à la charge. Un troisième type peut être aussi cité, ce sont les turbines dites dérivées de l'aéronautique; Elles ont une conception spéciale suivant le domaine dans lequel elles sont utilisées. Dans ce troisième type, la partie qui assure l'autonomie de la turbine existe toujours, et l'énergie encore emmagasinée dans les gaz d'échappement est utilisée pour créer la poussée, en transformant cette énergie (thermique et de pression) en une énergie cinétique de jet dans une tuyère (voir la figure II.3).

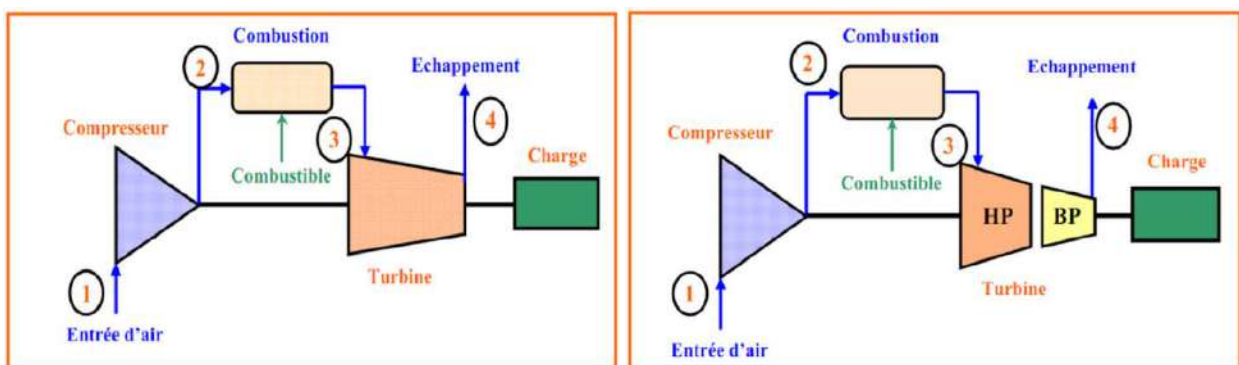


Fig (II.3) : Turbines à gaz à un arbre et à deux arbres [06]

### II.4.2. Par le mode de travail

On distingue deux types de turbine : (voir la figure II.4)

#### II.4.2.1 Turbine à action

Où l'énergie thermique est transformée complètement en énergie cinétique dans la directrice.

L'évolution des gaz dans la roue se fait sans variation de pression statique  $P_1 > P_2 = P_3$ .

#### II.4.2.2. Turbine à réaction

Une partie de l'énergie thermique est transformée dans la roue en énergie cinétique et mécanique. L'évolution des gaz dans la roue se fait avec variation de la pression statique  $P_1 > P_2 > P_3$ . Le taux de réaction  $\varepsilon$  caractérisera le % d'énergie thermique totale.

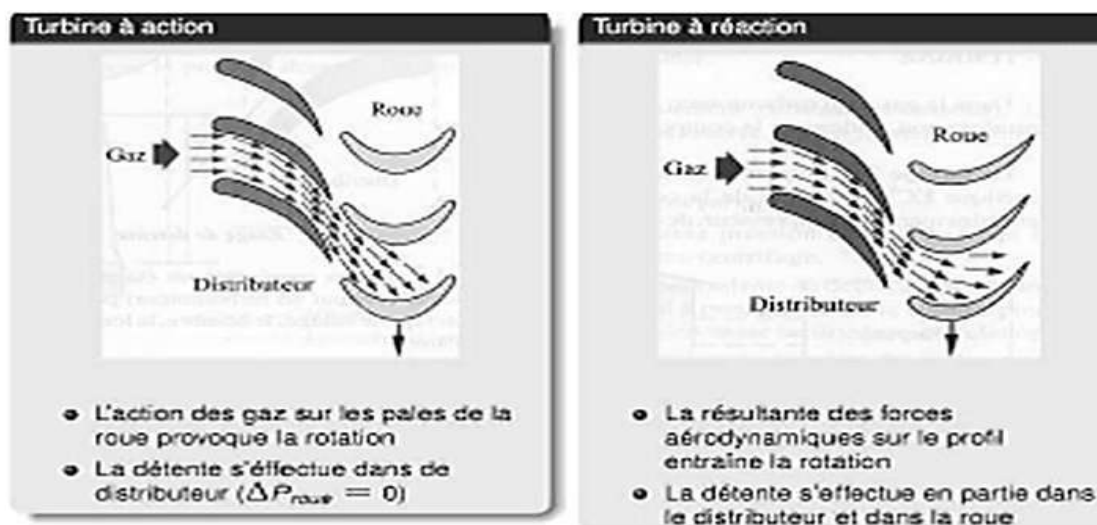


Fig (II.4) : Schéma de turbine à action et turbine à réaction.

### II.4.3. Par le mode de fonctionnement thermodynamique

Il existe deux cycles thermodynamiques :

**II.4.3.1. Turbine à gaz à cycle fermé** : dans laquelle le même fluide est repris après chaque cycle.

**II.4.3.2. 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 turbine qui est le plus répandu 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 sont perdus 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.

De nos jours la turbine à gaz connaît une large utilisation et dans différents domaines et en particulier dans le domaine des hydrocarbures à cause de leur grande gamme de puissance et leurs propres avantages.

### **II.5.Principales applications**

Chaque cas d'application d'une turbine à gaz comprend un nombre important de paramètres de définitions spécifiques : type de combustible, durée de fonctionnement par an, températures extérieures extrêmes, montage, nuisances, etc. Il en résulte qu'une installation de turbine à gaz doit être personnalisée afin de répondre aux conditions d'exploitation envisagées. Étudions tout d'abord les utilisations principales avant de passer en revue, au paragraphe suivant, les critères servant de base de réflexion pour choisir le dimensionnement d'une installation.

#### **II.5.1. Utilisation des turbines à gaz pour la propulsion**

L'utilisation de la turbine à gaz dans l'aviation (avions, hélicoptères) est bien connue. Dans le domaine des transports civils et militaires, les turbines à gaz sont également utilisées pour la propulsion, car elles permettent d'obtenir de grandes puissances avec des poids et dimensions faibles par rapport à ceux des moteurs diesels.

#### **II.5.2. 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 procès 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.5.3. Production d'électricité**

Cette application est extrêmement courante : l'arbre de la turbine entraîne un réducteur dont l'arbre à petite vitesse entraîne un alternateur . Le système mécanique est simple et peut être comparé à un groupe turboalternateur à vapeur. Produire uniquement de l'électricité avec une turbine à gaz n'est intéressant que pour des conditions d'exploitation imposant ce système.

#### **II.5.4. Pompage et compression**

Dans tous les types d'applications étudiés, il est tout à fait possible de remplacer l'alternateur entraîné par une pompe, par un compresseur ou une soufflante.

## II.6. Principe de fonctionnement de la turbine à gaz

Une turbine à gaz fonctionne de la façon suivante :

- elle extrait de l'air du milieu environnant.
  - elle le comprime à une pression plus élevée.
  - elle augmente le niveau d'énergie de l'air comprimé en ajoutant et en brûlant le combustible dans une chambre de combustion.
  - elle achemine de l'air à pression et à température élevées vers la section de la turbine, qui convertit l'énergie thermique en énergie mécanique pour faire tourner l'arbre ; ceci sert, d'un côté, à fournir l'énergie utile à la machine conduite, couplée avec la machine au moyen d'un accouplement et, de l'autre côté à fournir l'énergie nécessaire pour la compression de l'air, qui a lieu dans un compresseur relié directement à la section turbine.
  - elle décharge à l'atmosphère les gaz à basse pression et température résultant de la transformation mentionnée ci-dessus.
- La fig. (II.5) montre les variations de pression et de température dans les différentes sections de la machine correspondant aux phases de fonctionnement mentionnées ci-dessus.

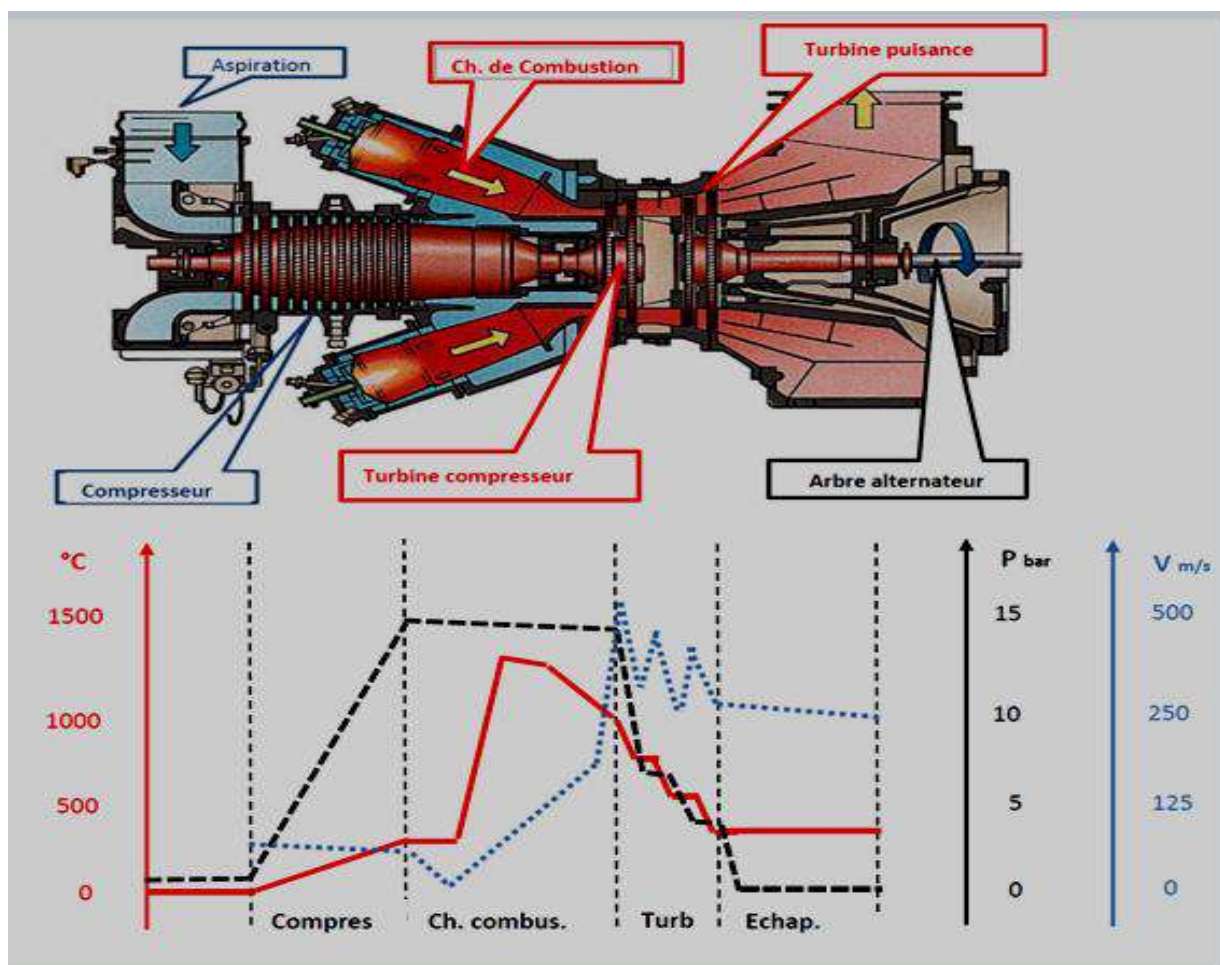


Fig.(II.5): Les variations de pression et de température dans les différentes sections de la turbine [05]



## **II.7. Avantages et inconvénients des turbines à gaz**

### **II.7.1. Avantages**

- Une puissance élevée dans un espace restreint dans le quel un groupe diesel de même puissance ne pourrait pas être logée.
- A l'exception de démarrage et arrêt, la puissance est produite d'une façon continue.
- Démarrage facile même à très froid.
- Diversité de combustible pour le fonctionnement.
- Possibilité de fonctionnement à faible charge. [08]

### **II.7.2. Inconvénient**

- Au-dessous d'environ 3000 KW, prix d'installation supérieur de celui d'un groupe diesel.
- Temps de lancement beaucoup plus long que celui d'un groupe diesel ; à titre indicatif : 30 à 120 s pour une turbine, 8 à 20 s pour un groupe diesel.
- Rendement inférieur à celui d'un moteur diesel (cycle simple). À titre indicatif : 28 à 33 % pour une turbine de 3000 KW, 32 à 38 % pour un groupe diesel. [08]

## **II.8. Conclusion**

Dans ce chapitre on a présenté la turbine à gaz et ses principaux éléments ce qui nous a permis de conclure que cette dernière est un moteur transformant l'énergie cinétique des gaz en énergie mécanique. Ainsi nous observons aussi qu'elle peut être classifiée par plusieurs façons par exemple d'après les modes de construction et par de fonctionnement thermodynamique. Et on a donné aussi le domaine d'utilisation, les contraintes d'installation, les avantages et ses inconvénients des turbines à gaz.

## **Description de la turbine à gaz MS5002C**

---

### III.1. Introduction

La turbine à gaz à deux arbres à entraînement mécanique modèle série 5002 c est une machine utilisée pour entraîner un compresseur centrifuge de charge. L'extrémité avant du socle de la turbine à gaz comprend une chambre d'admission de l'air et le conduit contenant le silencieux à l'entrée qui affaiblit le bruit haute fréquence et un séparateur air inertiel éliminant les matières étrangères avant l'admission de l'air dans la turbine.

### III.2.Présentation de la turbine a gaz MS 5002C

#### III.2.1.Définition

La turbine à gaz MS 5002C est une machine rotative à combustion interne, elle pressurise de l'air, le mélange avec un combustible est brulé dans des chambres de combustion.



Fig. (III.1): turbine à gaz MS 5002S [10]

## III .2.2. Caractéristiques de la turbine à gaz MS 5002C

<b>Marque</b>	Générale électrique
<b>Série du model</b>	MS 5002 c
<b>Application de la turbine à gaz</b>	Entraînement mécanique
<b>Cycle</b>	Simple
<b>Type de fonctionnement</b>	Continu
<b>Vitesse de l'arbre HP</b>	5100 tr/min
<b>Vitesse de l'arbre BP</b>	4900 tr/min
<b>Commande</b>	MARK V
<b>Température à l'échappement</b>	505°C
<b>Système de démarrage</b>	Turbine à détente
<b>Rendement thermique</b>	≈ 28,8%
<b>Mécanisme de refroidissement</b>	Réducteur avec vireur
<b>Atténuation du bruit</b>	Silencieux d'admission et d'échappement selon les exigences locales
<b>Puissance débitée</b>	27,968 MW
<b>Température d'aspiration</b>	15°C
<b>Pression de sortie</b>	1,013 bar

## ➤ Section du compresseur

<b>Nombre d'étages du compresseur axial</b>	16
<b>Type du compresseur</b>	Écoulement à flux axial
<b>Plan de joint</b>	Bride horizontale
<b>Type d'aubes directrices d'entrée</b>	Variable Section de la turbine
<b>Nombre des étages de la turbine</b>	02
<b>Plan de joint</b>	Horizontale
<b>Directrice du premier étage</b>	Fixe
<b>Directrice du deuxième étage</b>	Variable

➤ **Section de combustion**

<b>Type</b>	12 multiples foyers, types à flux inverses
<b>Configuration des chambres</b>	Concentriques autour du compresseur
<b>Combustible</b>	Gaz naturel
<b>Bougies d'allumage</b>	Deux, types électrodes à ressort, auto rétractile
<b>Détecteur de flamme</b>	4, type ultraviolet

➤ **Ensemble paliers**

<b>Quantité</b>	04
<b>Lubrification</b>	Sous pression
<b>Palie N°1(situé dans la caisse d'admission)</b>	Actif et inactif, de butée et lisse, tous dans un seul ensemble
<b>Coussinet lisse</b>	Elliptique
<b>Butée active</b>	Patins oscillants, à compensation automatique
<b>Butée inactive</b>	Patins oscillants compensation
<b>Palier N°2(situé dans le corps de refoulement du compresseur)</b>	Coussinet lisse, elliptique
<b>Palier N°3(situé dans le cadre d'échappement)</b>	Coussinet lisse, elliptique
<b>Palier N°4(situé dans le cadre d'échappement)</b>	Butée active et inactive et coussinet lisse, tous dans un ensemble
<b>Coussinet lisse</b>	Patins oscillants
<b>Butée active</b>	Patins oscillants, compensation automatique
<b>Butée inactive</b>	Patins oscillants, sans compensation

➤ **Système de lancement**

<b>Dispositif de lancement</b>	Moteur électrique
<b>Type de réducteur</b>	Non encastré avec vireur hydraulique

➤ **Système du combustible**

<b>Type</b>	Gaz naturel
<b>Vanne de commande, arrêt, détente gaz</b>	Servocommande ; électro hydraulique

➤ **Système de graissage**

<b>Lubrifiant</b>	Huile minérale
<b>Capacité totale</b>	22500lt

### III.3. Sections principales de la turbine a gaz

#### III.3.1 Section compresseur

La section du compresseur axial comprend le corps stator et le rotor.

Le rotor comporte 16 étages de compression, les aubes de la directrice et 2 déflecteurs de sortie.

Les aubes du rotor acheminent l'air en lui donnant la force nécessaire à la compression.

Ils sont insérés dans des rainures et maintenues dans une position axiale par l'empilage et le bouclage au bout des rainures (voir la figure III.2).

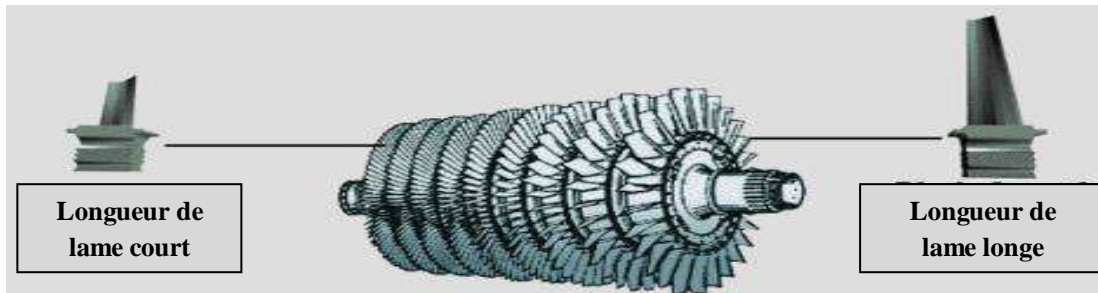


Fig (III.2) : Compresseur axial [10]

Les aubes du stator guident l'air pour le faire pénétrer dans les étages successifs du rotor.

##### III.3.1.1 Le rotor du compresseur

Le rotor du compresseur est un assemblage composé de 16 roues, d'un arbre fusé de boulons et de l'aubage (voir la figure III.4). Chaque roue comporte des rainures brochées dans lesquelles s'insèrent les aubes et sont maintenues en place dans le sens axial par des entretoises, elles-mêmes bloquées à chaque extrémité des rainures. [08]

##### III.3.1.2 Le stator du compresseur

Dans la section compresseur la partie stator (corps du compresseur) est composée de quatre éléments qui sont :

###### ➤ Corps coté aspiration du compresseur :

Le corps d'admission a pour fonction de diriger l'air de manière uniforme dans le compresseur. Il abrite le palier No.1 (voir la figure III.4) ainsi que l'aubage directeur d'admission (IGV: Inlet Guide Vanes) qui est actionné par le système d'huile hydraulique. En variant l'angle des IGV, le débit d'air peut être dirigé vers la première rangée d'ailettes du compresseur et cela avec des débits d'air variables. Les IGV permettent à la turbine d'accélérer rapidement et en douceur sans pompage du compresseur évitant ainsi les pulsations qui sont dues à l'inversion du flux d'air à l'entrée du compresseur qui peuvent provoquer des détériorations de la turbine. Au démarrage les IGV sont complètement fermées, ( $44^\circ$ ) pour un apport minimal d'air de purge, quant au système de soutirage du 10ème étage il est ouvert. Ensuite elles commencent à s'ouvrir (voir la

figure III.3) pour réguler le débit d'air selon les besoins de la turbine (à 95% de la vitesse du compresseur). [08]



Fig (III.3): la commande des IGV [10]

➤ **Corps partie avant du compresseur**

Le corps avant du compresseur contient les dix premiers étages du stator du compresseur (voir la figure III.4). Le corps avant du compresseur est équipé de deux gros tourillons, fondus dans la masse, utilisés pour le levage de la turbine à gaz de son socle.

Les aubes du stator situées dans le corps avant du compresseur sont montées dans des segments demi-circulaires rainurés. L'ensemble aubes et segments du stator sont alors montés dans des rainures usinées dans la paroi du corps d'admission. [08]

➤ **Corps partie arrière du compresseur**

Contient les derniers étages du stator, les orifices d'extraction prévus dans ce corps permettent de prélever l'air au niveau du 10<sup>ème</sup> étage du compresseur. Cet air est employé pour refroidir et également assurer des fonctions d'étanchéité et contrôler les pulsations au démarrage et à l'arrêt.

➤ **Corps du compresseur coté refoulement**

Le Corps de refoulement du compresseur constitue la partie finale du compresseur, c'est le corps le plus long. Il a pour fonction d'équilibrer les pompages du compresseur, de former les parois interne et externe du diffuseur, de relier le compresseur aux stators de la turbine et sert également de support à la tuyère de la turbine de première étage. Le corps de refoulement du compresseur contient les six derniers étages (de dix à quinze). Il abrite aussi le palier N°2. A la sortie du compresseur la vitesse de l'air est trop élevée pour une combustion optimale. Pour cela l'enveloppe inclut un diffuseur qui va diminuer progressivement la vitesse de l'air. Le diffuseur inclut des ailettes fixes EGV (Exit Guide Vanes) pour diriger le flux d'air vers les chambres de combustion. [09]

### III.3.1.3. Le rôle du compresseur axial

Il se résume essentiellement en (voir la figure III.4) :

- ✓ Assurer l'alimentation des chambres de combustion avec l'air comprimé, pour l'opération de combustion.
- ✓ Assurer un débit et une pression aussi élevés pour avoir une grande puissance utile.
- ✓ Assurer l'air utilisé pour le refroidissement des pièces exposées aux fortes contraintes thermiques. [09]

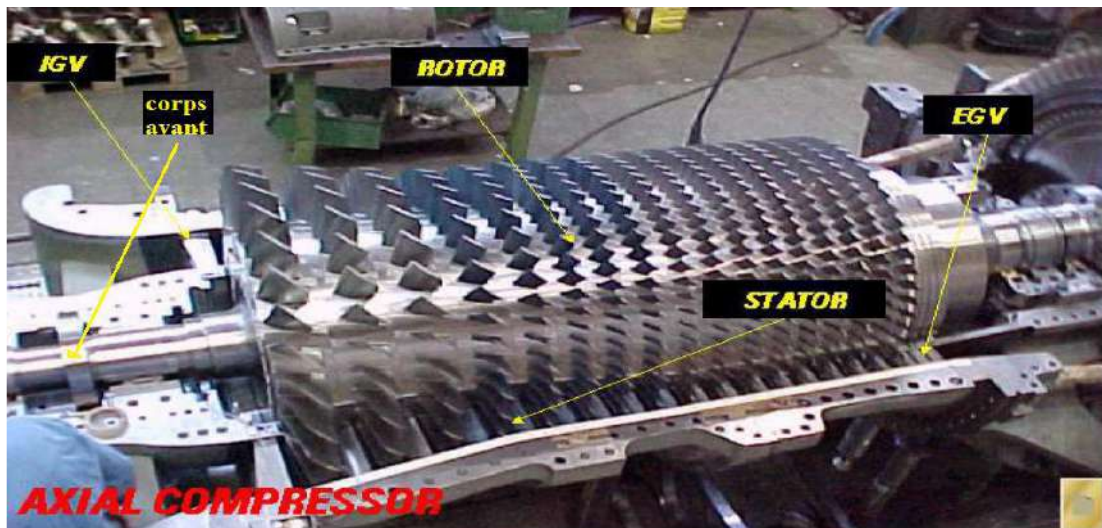


Fig (III.4): Compresseur axial [10]

**IGV:** Inlet Guid Valve

**EGV:** End Guid Valve

### III.3.2. Section combustion

Section combustion est située entre section compresseur et la turbine, le but de cette section est d'ajouter l'énergie calorifique à l'air comprimé. La section combustion de la turbine à gaz MS5002C comporte l'enveloppe de combustion qui est composée de :

- 12 corps de combustion extérieure
- 12 ensembles chapeau-chemise
- 12 pièces de transition
- 12 injecteurs de combustible
- 02 bougies d'allumage
- 04 détecteurs de flamme
- 12 tubes à foyer et divers garnitures.





Fig (III.5) : Chambres de combustion turbine à gaz [10]

### III.3.2.1. Enveloppe de combustion

Soutient les 12 corps de combustion qui renferment les 12 pièces de transition.

C'est une enceinte soudée, montée dans la partie arrière du refoulement du compresseur, elle reçoit l'air de refoulement à flux axial.

### III.3.2.2. Corps de combustion

Les brides arrière des 12 corps de combustion sont montées sur la surface verticale avant de l'enveloppe de combustion avec chaque corps par les tubes de foyer. Les ensembles chapeaux et chemises se trouvent à l'extérieur de chaque corps. Les injecteurs de combustible sont montés dans les couvercles du corps de combustion, ils pénètrent dans les chambres et assurent l'alimentation en combustible. Le rôle de la chambre de combustion c'est de fournir la quantité de chaleur nécessaire pour le cycle de la turbine à gaz.

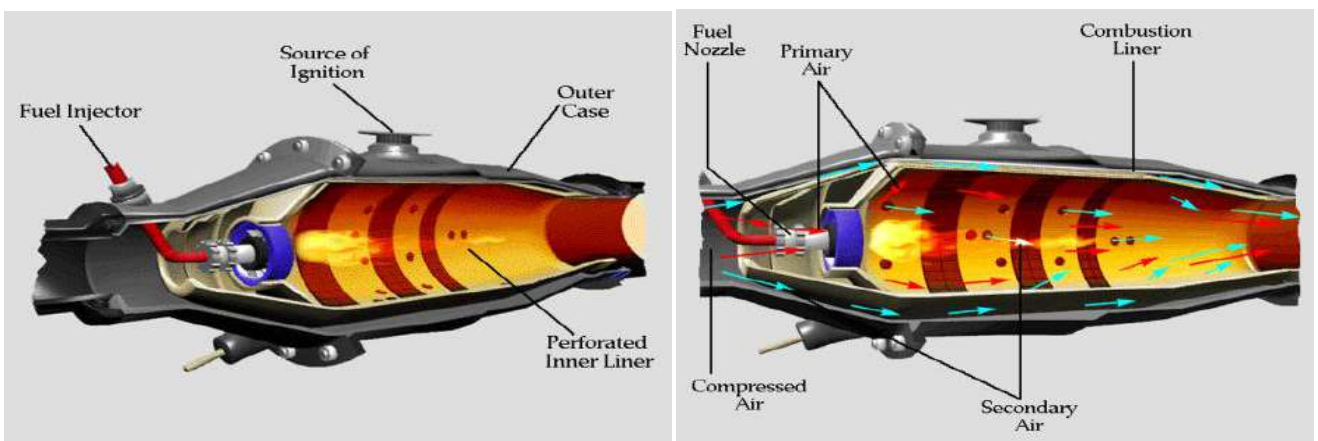


Fig (III.6) : l'écoulement dans la chambre de combustion [10]

### III.3.2.3. Pièces de transition

Les pièces de transition relient les chambres de combustion à l'ensemble de tuyère de premier étage. Les gaz chauds qui résultent de la combustion sont dirigés vers l'ensemble de tuyère de premier étage via les pièces de transition (voir la figure III.7) . [09]

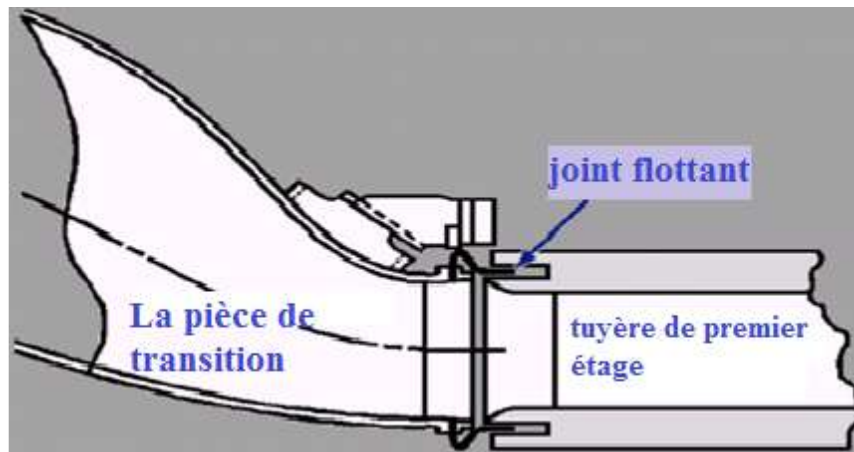


Fig (III.7): Pièces de transition [10]

#### III.3.2.4. Bougie d'allumage

Le déclenchement de la combustion du mélange combustible est assuré par des bougies d'allumage avec électrode. Deux bougies sont installées dans chacune des deux chambres de combustion 9 et 10, et reçoivent l'énergie du transformateur d'allumage. Les autres chambres sont allumées à travers les tubes d'interconnexions. (voir la Figure III.8).

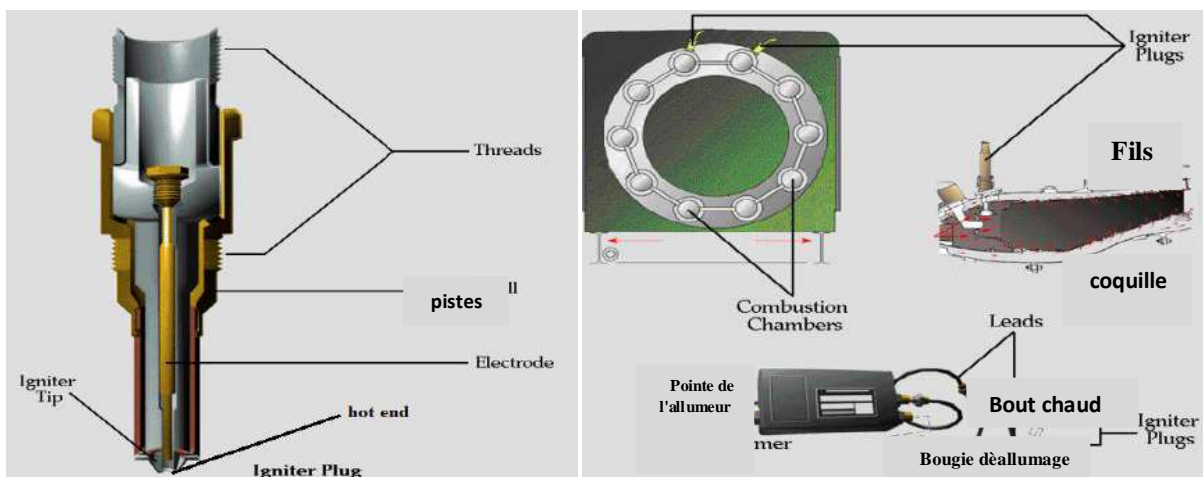


Fig (III.8) : Bougie d'allumage [10]

#### III.3.2.5. Détecteur de flamme ultraviolette

Pendant la séquence de lancement, on envoie une indication de présence ou d'absence de flamme au système de commande, géré par le système de contrôle de flamme. Le capteur de flamme est sensible à la présence des radiations ultraviolettes émises par la flamme (voir la figure III.9).



Fig (III.9) [10]

Bougie à flamme

Détecteur à flamme.

### III.3.3.Section turbine

Le rôle de cette section est de transformer l'énergie calorifique fournie lors de la combustion en énergie mécanique disponible sur l'arbre. Elle comprend le corps rotor de la turbine, l'aubage directrice du premier étage, la roue de la turbine premier étage HP, la roue de la turbine du second étage BP, l'ensemble diaphragme, l'ensemble d'étanchéité et la conduite de gaz inter étages. Le stator de cette section est en deux parties, séparé par un plan de joint médian horizontal afin de faciliter l'entretien.

#### III.3.3.1.Directrices premier étage

Elles sont fixées à proximité de la veine de gaz prévu dans le corps de la turbine.

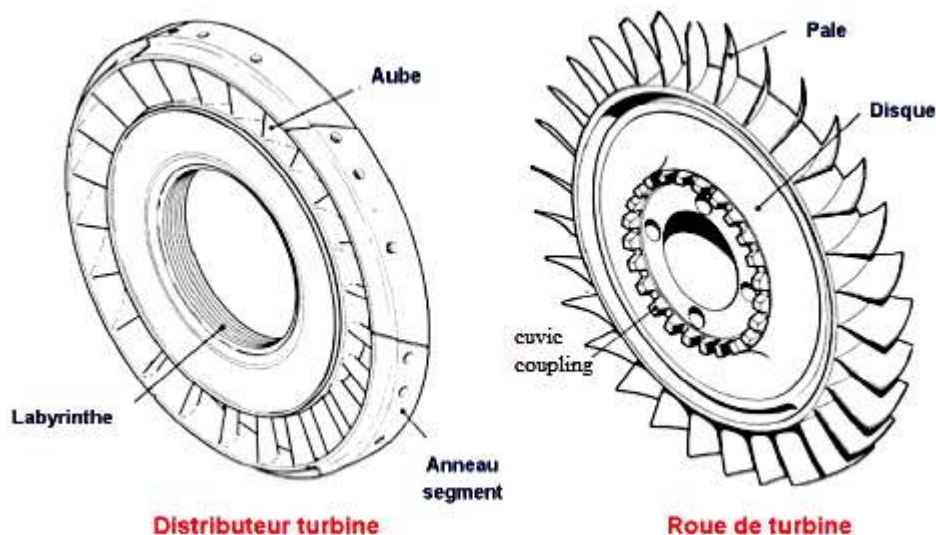


Fig (III.10) : Le distributeur et la roue de turbine [10]

Les tuyères sont soumises à des températures très élevées ce qui nécessite leur fabrication à partir d'alliages spéciaux, elles sont aussi refroidies avec de l'air de combustion.

### III.3.3.2. Directrices deuxième étage

Composées d'aubes orientables, qui forment un angle variable avec la directrice d'écoulement des gaz dans la section annulaire juste avant le deuxième étage de la turbine BP.

Une rotation est donnée grâce à des axes prévus dans le corps de la turbine (voir la figure III.11). Les leviers clavetés à l'extrémité de ces axes, sont reliés par des biellettes à des points de la couronne de contrôle qui sont actionnés par un piston hydraulique.



Fig (III.11) : Tuyère 2eme étage (Nozzel) [10]

### III.3.3.3. Roues de turbine

Il existe deux roues séparées dans cette turbine, la première HP commande le compresseur axial (voir la figure III.12), et la seconde BP entraîne le compresseur centrifuge (voir la figure III.13). Les roues sont indépendantes mécaniquement ce qui leur permet de tourner différemment.

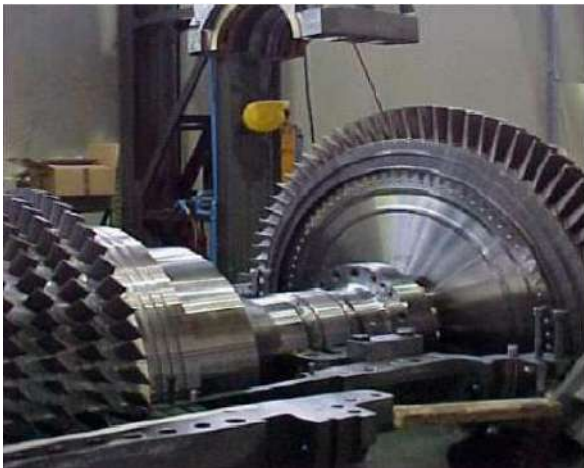


Fig (III.12): roue de turbine HP [10]



Fig (III -13): roue de turbine BP. [10]

Les 2 roues sont positionnées en ligne dans la turbine, mais sont mécaniquement indépendantes l'une de l'autre. Elles ont des aubes à queues longues coulées avec précision, et sont refroidies par l'air extrait du 10ème étage et par l'air de fuite d'étanchéité HP. Le volume de gaz augmente

quand sa pression diminue en traversant la roue de turbine HP. Pour cela les pâles ou ailettes de la roue BP sont plus grandes que celles de la roue HP.

Cette section comprend aussi le diaphragme et l'étanchéité air et la veine des gaz entre les divers étages pour faciliter l'entretien, toutes les pièces du stator peuvent être fondues en deux dans le sens horizontal. [09]

### **III.4. Socle des auxiliaires**

Le socle pour les auxiliaires est une structure d'acier qui est prévue pour monter (soit dessus, soit à l'intérieur) tous les auxiliaires et les équipements qui ne sont pas immédiatement connecté avec la turbine elle-même, ces équipements, dont la plupart sont identifiés sur le socle des auxiliaires et illustres à la fin de ce chapitre comprennent: [09]

- Réservoir d'huile de 8500 L monte à l'intérieur de la structure en mécano-soude avec poutrelles.
- Réducteur d'entraînement des auxiliaires avec pompe de graissage principale et pompe hydraulique, plus vireur hydraulique.
- Turbine à gaz à expansion et son embrayage.
- Double filtre à huile de graissage monte sur le réservoir d'huile.
- Pompe de graissage des auxiliaires et de secours.
- Pompe hydraulique des auxiliaires et pompe pour le vireur hydraulique.
- Double filtre à huile de graissage pour l'accouplement.
- Ensemble combine vanne-arrêt/régulation et vanne de contrôle du fuel gaz.
- Armoire de jauge, vannes et interrupteurs.

### **III.5. Le compartiment des auxiliaires**

Il est situé à l'avant du caisson d'aspiration d'air, et comprend tous les auxiliaires nécessaires au fonctionnement indépendant de la turbine : [09]

#### **III.5.1. Tableau des manomètres**

C'est un panneau vertical situé au bout de compartiment des auxiliaires et regroupe un certain nombre de manomètres permettant de contrôler la pression des fluides depuis le Compartiment contrôle.

#### **III.5.2. Moteur de lancement**

Il sert à entraîner l'arbre du compresseur turbine à une vitesse bien déterminée (électrique ou Diesel).

#### **III.5.3. Convertisseur de couple**

C'est un élément qui convertit le couple donné par le moteur de lancement pour pouvoir tourner l'arbre de la turbine il est menu d'une pompe à huile entraînée par le moteur de lancement.

### III.5.4. Embrayage de lancement

Un embrayage de démarrage connecte l'arbre de sortie de l'ensemble de convertisseur de couple à l'arbre principal de réducteur auxiliaire de vitesse. L'embrayage est engagé par les cylindres hydrauliques (huile fournie par le module valve de réglage d'encliquetage) et il est désactivé par des ressorts de retour dans les cylindres. L'activation est maintenue par l'accouplement transmis et généré dans le convertisseur de couple et/ou le mécanisme d'encliquetage. A cause de l'embrayage unidirectionnel dans le mécanisme d'encliquetage, le moyeu de l'embrayage glissant ne peut pas être tourné en arrière exceptant pendant une course mise à zéro du mécanisme d'encliquetage. Le système est conçu pour maintenir l'embrayage dans la position active toutes les fois exceptant les fois où la turbine à gaz fonctionne. Deux cylindres hydrauliques parallèles, orientés horizontalement sont actionnés par la valve électromagnétique de l'embrayage de démarrage (20CS-1) et faire déplacer l'embrayage glissant dans la connexion avec le moyeu de l'embrayage stationnaire. Lorsque la turbine à gaz atteint une vitesse prédéterminée, la valve électromagnétique (20CS-1) est désactivée et laisse l'huile hydraulique pour être drainée. [09]

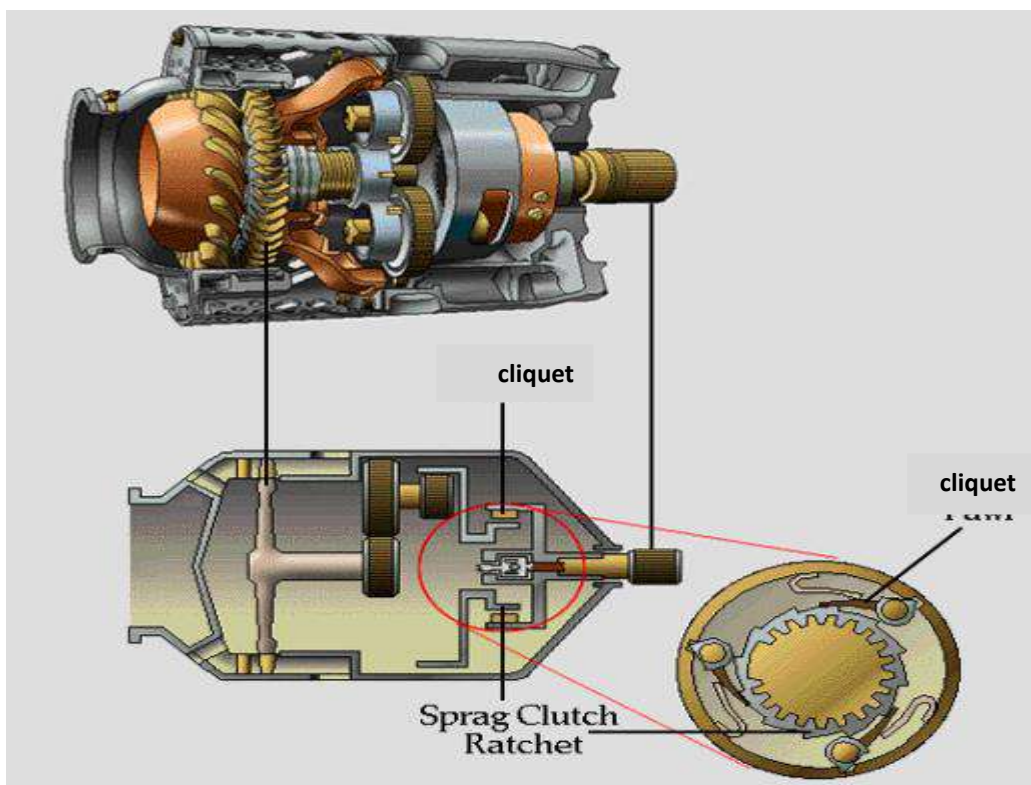


Fig (IV.14) : Embrayage de lancement [10]

### III.5.5. Réducteur

C'est un ensemble de roue dentée actionnée directement par le rotor de la turbine et il est utilisé pour entraîner les divers auxiliaires. Le réducteur auxiliaire qui est placé sur le socle des auxiliaires, comprend le train d'engrenages nécessaires à permettre une réduction de vitesse pour

mener les systèmes auxiliaires aux vitesses désirées, on trouve monte sur l'extérieur du corps le déclencheur de survitesse de la turbine haute pression qui peut mécaniquement déverser l'huile dans le circuit de déclenchement, ce qui provoque l'arrêt de la turbine à gaz lorsque la vitesse du premier étage de la turbine excède les limites prescrites dans les spécifications de contrôle.

Les accessoires entraînent par le réducteur auxiliaire, comprennent la pompe hydraulique principale ainsi que la pompe à huile de graissage principal( voir la figure III.15). [09]

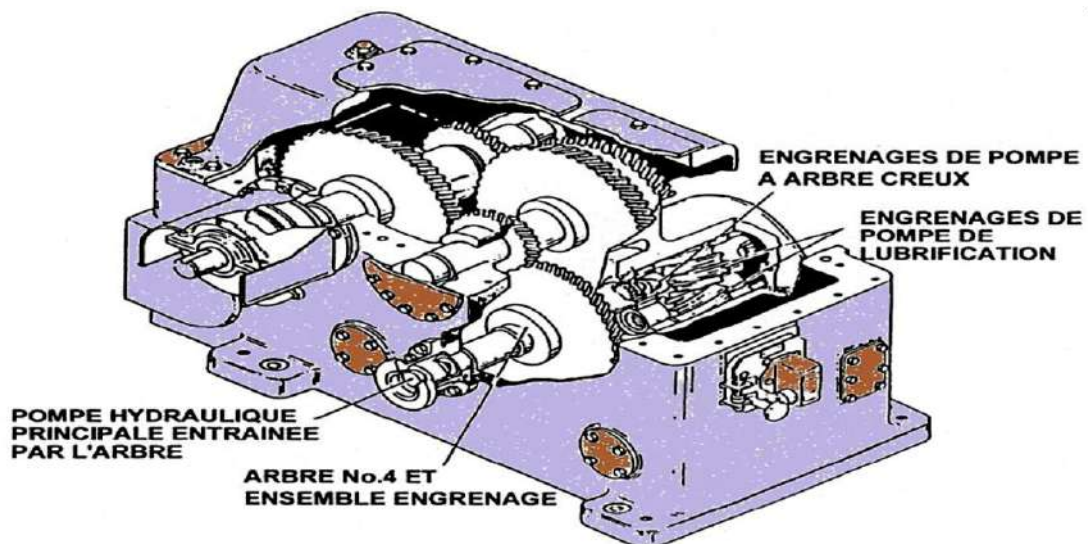


Fig (III.15) : schéma de réducteur auxiliaire.[10]

Pendant le démarrage, le réducteur transmet le couple communiqué par le moteur de lancement à l'arbre de la turbine à gaz.

### III.5.6. Accouplement

Les fonctions de base des accouplements élastiques du type à dentures utilisés sur cette turbine sont : [09]

- de relier deux arbres en rotation, de manière à transmettre le couple de l'un à l'autre
- de compenser les trois types de des alignements (parallèles, angulaires et la combinaison des deux).
- de compenser tout mouvement axial des arbres, de manière qu'aucun des deux n'exerce une poussée excessive sur l'autre.

Les accouplements utilisés sur cette turbine sont destinés à accoupler le réducteur des auxiliaires à l'arbre de la turbine et l'arbre de la turbine à l'équipement de puissance.

### III.5.7. Vireur hydraulique

C'est une motopompe pour aider le moteur de lancement pendant le moment de démarrage. Pour éviter le flèche de l'arbre turbine il fait tourner l'ensemble de 1 /8 de tour chaque 3min. Le vireur est utilisé pour le positionnement de la ligne d'arbre. [09]

## III.6. Systèmes alimentations de turbine

### III.6.1. Système d'admission

Dirige l'air de combustion dans la section d'admission afin de garantir :

- ✚ Degré de filtration pour le fonctionnement correcte du compresseur et de la turbine dans les limites des conditions ambiantes existantes de l'installation.
- ✚ Débit d'air régulier vers la section d'admission, et un fonctionnement fluidodynamique régulier de ce dernier.

Le système d'admission (voir la Figure III.16) comprend le filtre d'admission, la conduite, le silencieux, le coude, le caisson d'admission et les autres accessoires. L'air pénètre dans le filtre, traverse la conduite, le silencieux, le coude et le caisson d'admission et enfin le compresseur.

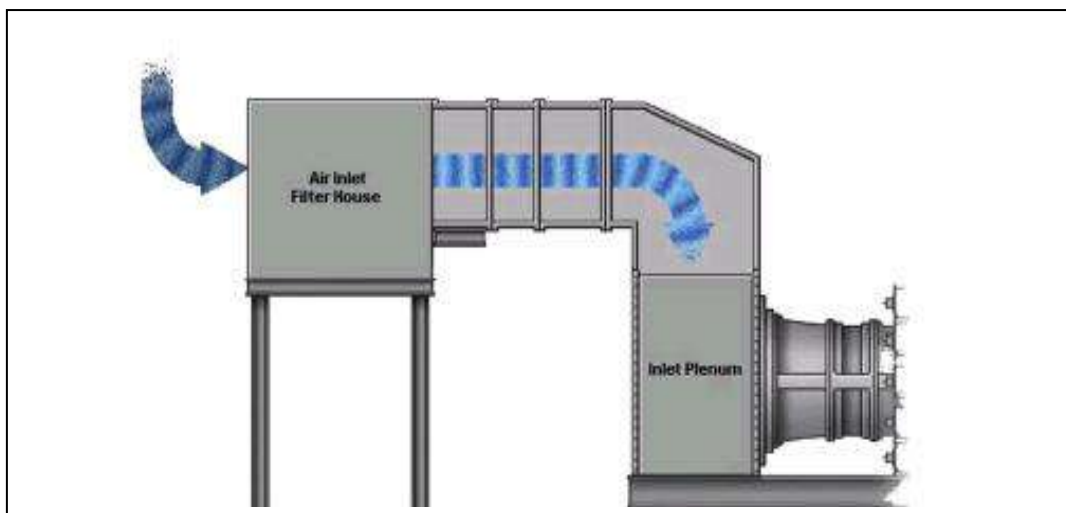


Fig (III.16) Système d'admission [10]

### III.6.2. Système d'alimentation en gaz combustible :

Système d'alimentation en gaz combustible de la turbine à gaz fournit la quantité correcte de gaz combustible propre, sec au moteur dans toutes les conditions de fonctionnement.

Chaque composant de ce système est important pour l'efficacité globale de fonctionnement.

Les principales composantes d'un système d'alimentation en gaz combustible typique sont :

- Robinet d'arrêt de carburant (SOV)
- Purgeur
- Vanne de régulation de pression (PCV)
- Contrôleur indicateur de pression (PIC)
- Soupape de sécurité de pression (PSV)
- Séparateur filtrant
- Système de contrôle



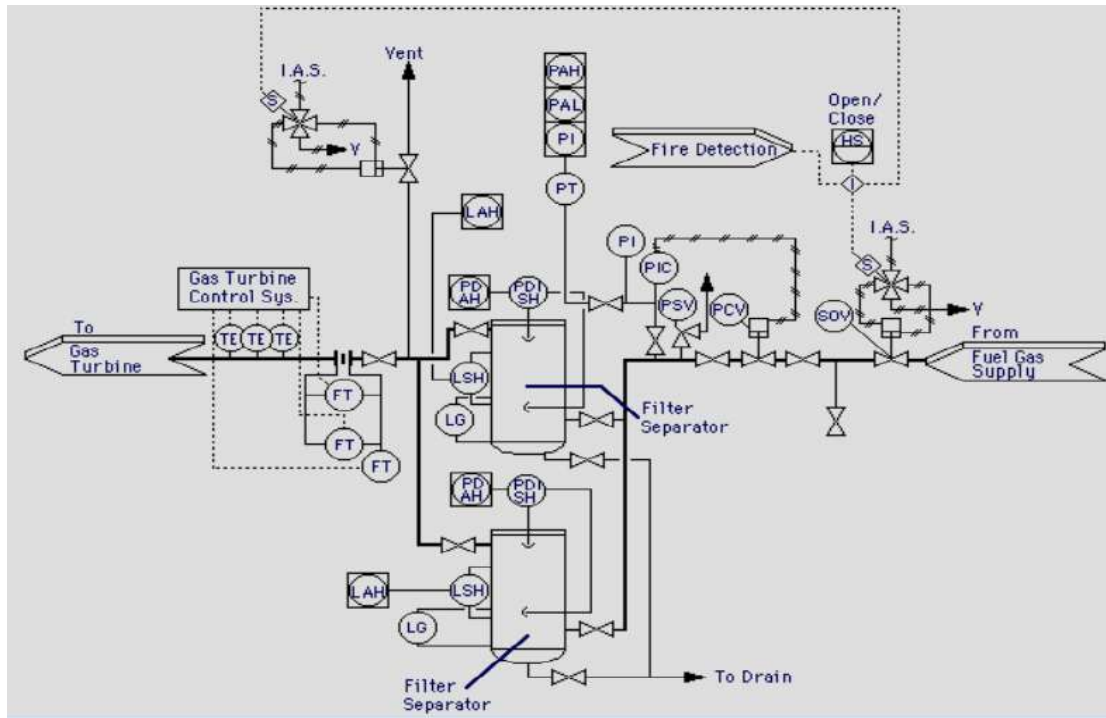


Fig (IV.17) : Système d'alimentation en fuel [10]

Sur la figure, la vanne de régulation de pression (PCV) régule la pression du gaz combustible à la turbine en fonction des signaux d'air de l'appareil à partir du contrôleur d'indicateur de pression (PIC).

Plusieurs dispositifs de mesure sont situés entre le filtre et la turbine à gaz:

- Transmetteur de pression (PT)
- transmetteur de débit (FT)
- élément mesure de température (TE)

Ces appareils fournissent des informations d'alimentation en gaz combustible à l'appareil du système de commande.

### III .7. Systèmes de commande

#### III.7.1.Système de commande de gaz combustible

Le but d'un contrôle de gaz combustible est de fournir le débit de carburant nécessaire et la pression sur le moteur, il utilise les composants spécialement conçus pour accomplir cette fonction ( voir la figure III.18).

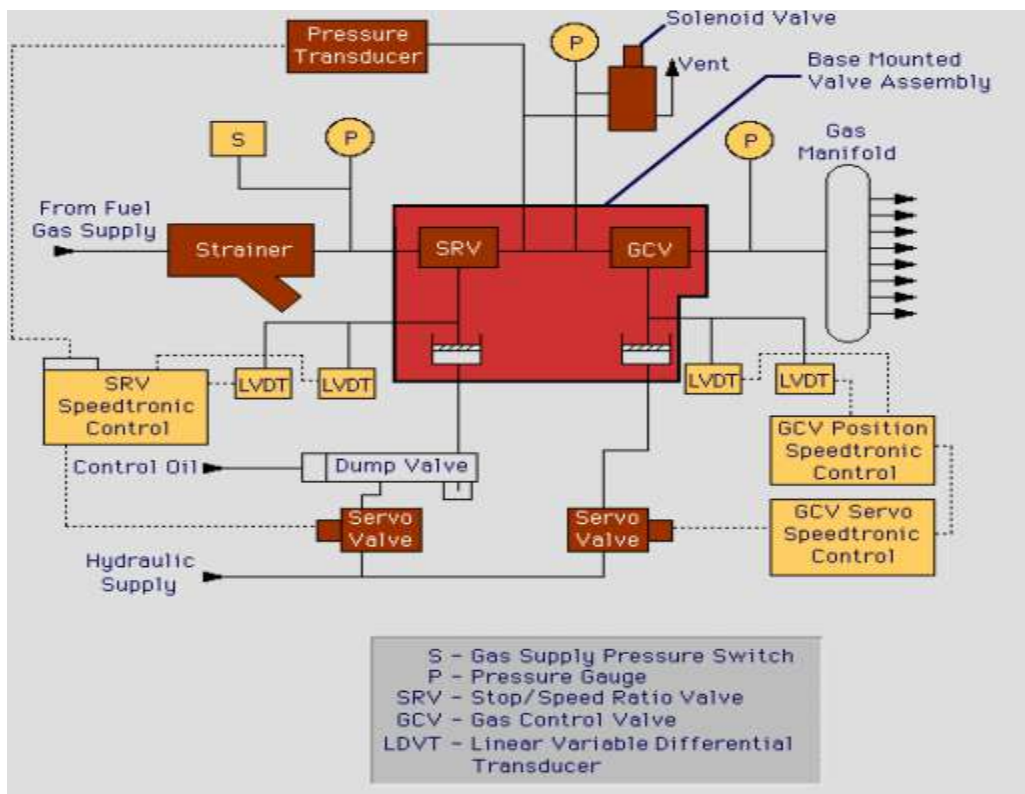


Fig (III.18) : Système de commande de gaz [10]

Les principaux éléments du système de contrôle du gaz combustible sont les suivantes:

- Crépine (filtre)
- Commutateur de pression d'alimentation en gaz
- *Stop/speed ratio valve assembly, stop/ratio valve and gas control valve*
- Le robinet de carburant évent électrovanne,
- Quatre transformateurs différentiels variables linéaires (LVDT)
- Capteurs de position
- Deux servovalves électro hydrauliques
- Trois jauges de pression de gaz.
- SPEEDTRONIC control

Le but du filtre est d'éliminer les particules solides du gaz combustible avant son entrée dans l'ensemble SRV, l'ensemble combinaison SRV contient les valves indépendantes suivantes:

- Stop/speed ratio valve (SRV)
- Gas control valve (GCV)

Ces deux vannes sont actionnées par une pression hydraulique à travers servomoteurs qui reçoivent le signal provenant du système de commande SPEEDTRONIC.

### **III.7.1.1 La vanne SRV**

La vanne SRV a deux fonctions:

- vanne d'arrêt
- régulation de la pression de gaz

Vanne d'arrêt :

La soupape de décharge hydraulique, commande l'huile et servovalves contrôlèrent l'action du (SRV) en tant que vanne d'arrêt.

La soupape de décharge hydraulique est située entre le servo-valve électro-hydraulique et le vérin d'actionnement.

Lorsque la pression d'huile de commande est faible, un ressort se déplace une bobine interne à la position "dump"

Lorsque la pression hydraulique est élevée, un ressort de fermeture sur le (SRV) prise ferme la vanne

L'écoulement du gaz combustible à la turbine et à la vanne de régulation de gaz et gaz est arrêté.

Régulation de pression :

En tant que régulateur de pression, la (SRV) comprend deux boucles de régulation

- Le contrôle de la position de la vanne
- Contrôle de la pression de gaz à l'entrée de la vanne de commande de gaz en référence à la vitesse de la turbine.

### **III.7.1.2 La vanne GCV**

Le but du (GCV) est de compter et d'alimenter la turbine selon l'exigence de la charge ou équipement entraîné. La vanne est activée par un signal électrique à partir du segment de GCV du système de contrôle SPEEDTRONIC.

### **III.7.2.Système de commande d'huile hydraulique**

Le but d'un système hydraulique est de répartir les forces de fluide à différentes pièces mobiles.

Ce fluide est nécessaire pour le fonctionnement de la turbine à gaz, les composants électro hydrauliques du système de commande, le système de carburant, des mécanismes variables d'entrée d'aubes directrices, et les composants hydrauliques de système de démarrage.

Le système d'asservissement partage le réservoir d'huile lubrifiante avec le système d'huile lubrifiante. Le but de l'accumulateur est d'absorber tous chocs transitoires qui peuvent se produire lorsque les pompes hydrauliques sont démarrées ou que l'équipement est actionné

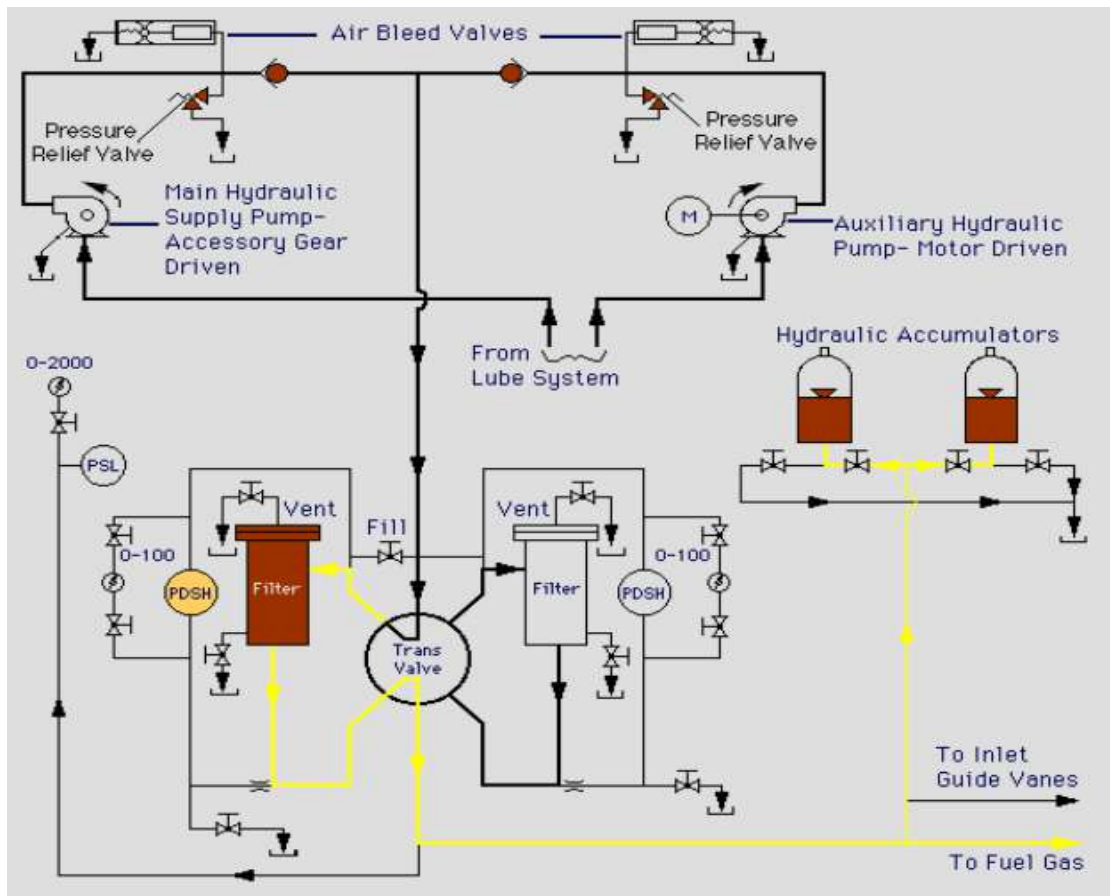


Fig (III.19) : système d'huile hydraulique [10]

Le système d'huile hydraulique se compose des suivants

- élément de pompe
- Filtre d'huile (25 microns)
- Servo-soupape de sûreté

La pompe hydraulique principale est entraînée par l'arbre principal via l'engrenage de la boîte à vitesse. Cette pompe augmente la pression d'alimentation en huile de 25 psig à 1500 psig pour la commande hydraulique de la vanne de carburant et des servomoteurs de (IGV).

### III.7.3. Intel Guide Vane (IGV)

Le but de (IGV) du compresseur est de fournir une pré-détection de pulsation du compresseur pendant le démarrage et l'arrêt. Ils sont également utilisés pendant le fonctionnement dans des conditions de charge partielle lorsque la récupération de chaleur résiduelle est installée (voir la figure III.20).

(IGV) sont positionnés automatiquement dans leur plage de fonctionnement en réponse à l'une des deux commandes suivantes:

- Les limites de température d'échappement du système de commande pour le fonctionnement chargé normal

- Les limites de protection de pulsation du système de commande pendant les séquences de démarrage et d'arrêt

Le système de contrôle de la récupération de la chaleur résiduelle utilise la vitesse de la turbine et la température ambiante pour calculer l'angle IGV et les règle automatiquement à la bonne position. Lors d'un démarrage normal, l'IGV est maintenu en position de fermeture complète jusqu'à ce que la vitesse correcte de température d'échappement correcte soit atteinte. À ce moment, l'IGV commence à s'ouvrir pour maintenir la température d'échappement calculée. Pendant le fonctionnement à pleine vitesse avec moins de 20% de charge, l'IGV reste dans la position ouverte minimale.

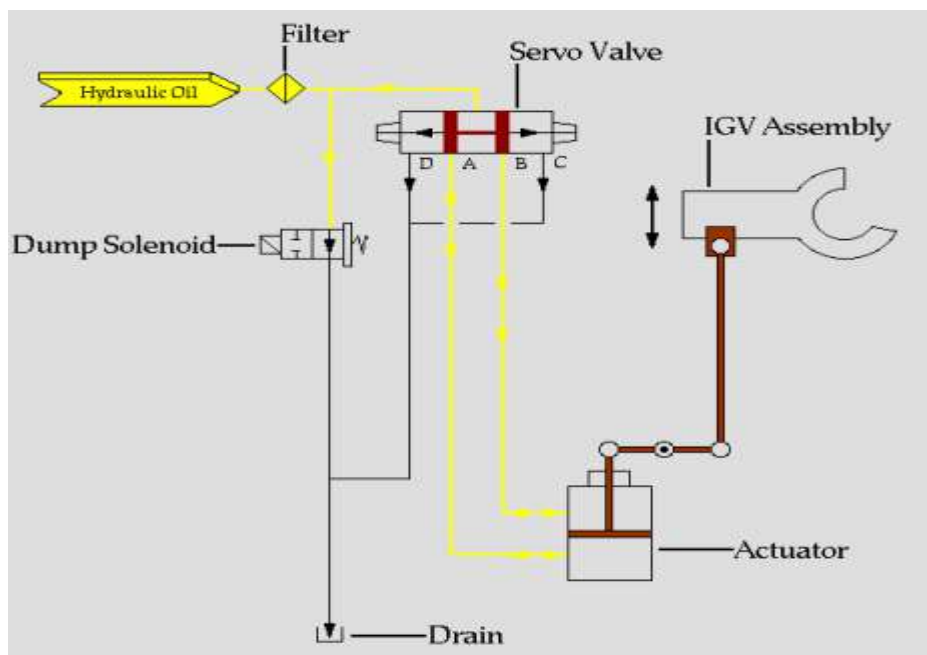


Fig (III.20) : Variable Inlet Guide Vane System [10]

### III.8. Système de lubrification

Les exigences de lubrification de l'ensemble turbine à gaz et compresseur sont satisfaites par un système de lubrification commun sous pression. Ce système de lubrification (voir la figure III.21), comprenant un réservoir, des pompes, un système de refroidissement, des filtres, des vannes et différents dispositifs de commande et de protection, assure d'une part la lubrification et d'autre part la dissipation de la forte quantité de chaleur due aux différents frottements. Le fluide lubrifie notamment des deux paliers de la turbine, les paliers du compresseur, le réducteur des auxiliaires, ainsi que le multiplicateur de vitesse (**GEABOX**). En outre, un palier du fluide sous pression est déviée et filtrée à nouveau afin d'être utilisée comme liquide de commande par les dispositifs de commande hydraulique.

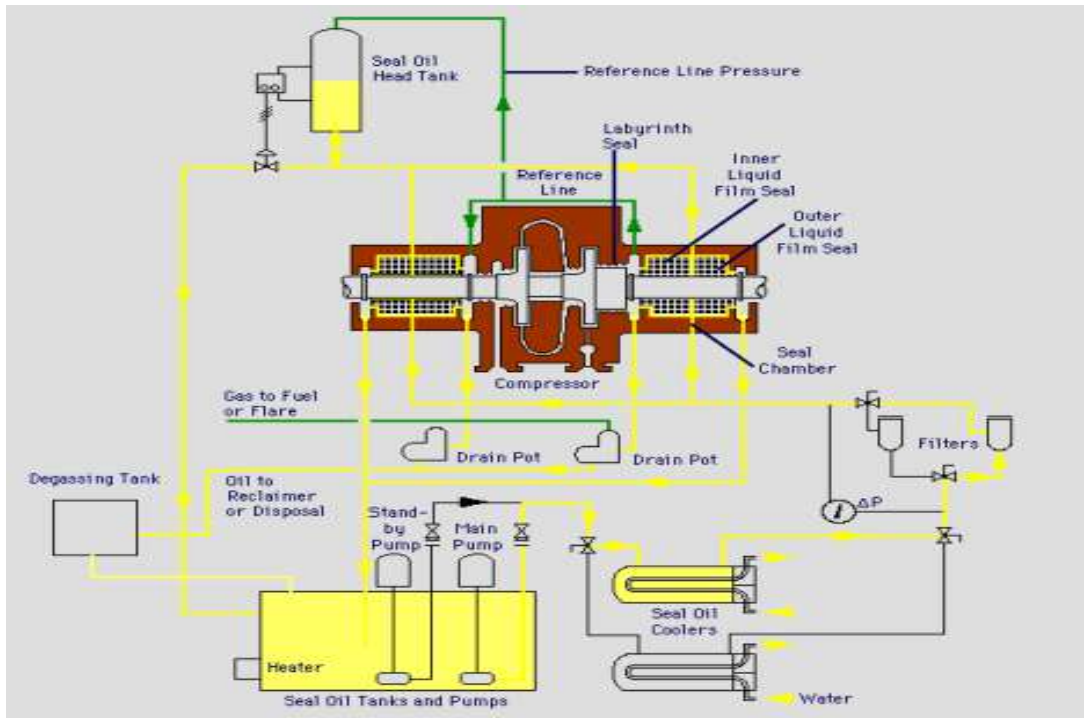


Fig (III.21). Système de lubrification des paliers de compresseur centrifuge [10]

### III.9. Système d'échappement

La paroi du caisson d'échappement opposée au diffuseur est équipée d'une série de thermocouples permettant de mesurer la température des gaz d'échappement (TTXM426°C). Ces thermocouples envoient des signaux au système de régulation et de protection en température de la turbine (voir la figure III.22) .

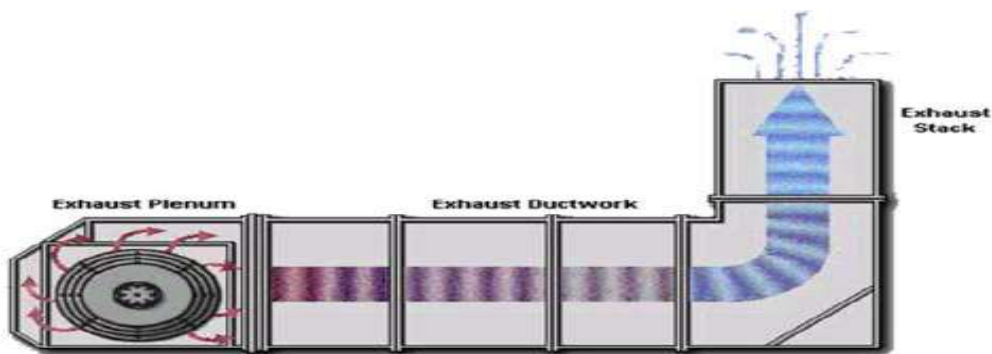


Fig (III.22) : Echappement de gaz combustible [10]

### III.10. Systèmes de protection

Le système de protection est constitué par un certain nombre de systèmes secondaires et primaires dont certains travaillent à chaque démarrage ou à chaque arrêt. Les autres systèmes et composants sont réservés pour des conditions de marche anormales ou des cas d'urgence demandant l'arrêt de la turbine à gaz.

**A. Système de protection de survitesse**

Le système de protection de survitesse consiste en un système primaire et secondaire. Le système primaire est le système de protection électronique et le système de protection secondaire est le système mécanique, il comprend des masses de survitesse HP et BP. La masse de survitesse HP est assemblée dans l'arbre du réducteur des auxiliaires. La masse de survitesse BP est placée dans l'arbre de la turbine seconde étage.

**B. Système de protection de dépassement de température**

Le système de protection de dépassement de température est l'un des systèmes de protection primaires de la turbine à gaz. Le système déclenche une alarme dès que la température dépasse la limite fixée.

**C. Système de protection de détection des vibrations**

Le système est constitué de plusieurs détecteurs de vibrations. Il agit pour mettre la turbine soit en alarme soit en déclenchement. Les capteurs ou détecteurs de vibrations sont répartis stratégiquement en différents points de la turbine.

**D. Système de détection de flamme**

Le système sert pour les trois fonctions principales suivantes :

Lorsque la vanne de régulation qui contrôle l'arrivée du combustible pour l'allumage est en fonctionnement et que les circuits d'allumage sont sous tension dans la séquence de démarrage, la vanne d'arrêt de combustible se déclenche si la flamme n'est pas détectée dans le temps réglé du temporisateur d'allumage (généralement 60 secondes). Et les circuits d'allumage ne sont plus sous tension. Cela permet d'éviter un excès de concentration de combustible dans la turbine et dans le système d'échappement pour éviter tout risque d'explosion dans les conduites.

Lorsque la flamme est établie et détectée au moment de l'allumage dans la séquence de démarrage, la détection de la flamme est utilisée pour commander d'autres phases de la séquence de démarrage pour la montée en régime de la turbine. S'il y a une disparition de flamme après que l'allumage ait été établi, la totalité du débit de combustible à la turbine est immédiatement arrêté pour empêcher le combustible non brûlé de pénétrer dans l'échappement.

**E. Système lutte anti-incendie**

Le système de protection incendie par injection de dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> est conçu pour éteindre les incendies en réduisant rapidement la teneur en oxygène de l'air dans un compartiment à moins de 15% (en volume) par rapport à une concentration normale dans l'air ambiant située à environ 21% ; cette concentration est insuffisante pour permettre le phénomène de combustion. La conception de ce système est conforme aux exigences contenues dans les

recommandations de protection incendie et tient compte du risque d'auto-allumage dû à un éventuel contact avec les pièces métalliques portées à haut température. Il maintient la concentration du niveau nécessaire à l'extinction pendant environ 40 minutes afin de minimiser le risque d'un nouveau feu (voir la figure III.23).

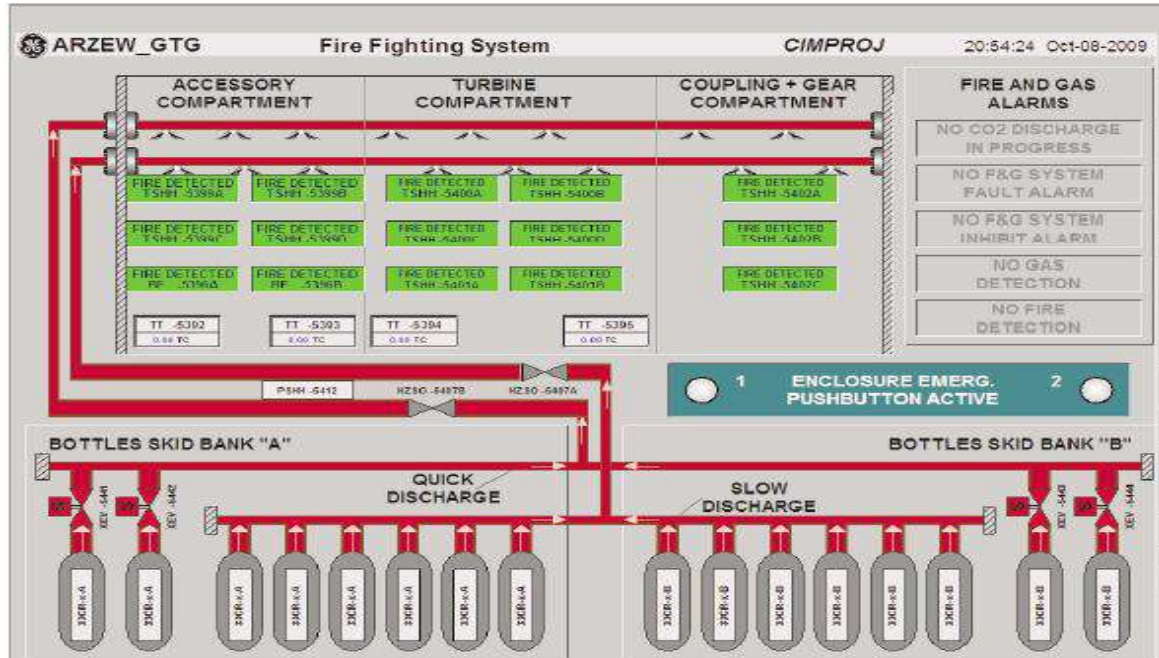


Fig (III.23) : Système lutte anti-incendie [10]

### E. Système de protection contre les pulsations au démarrage et à l'arrêt

Les caractéristiques de pression et de débit du compresseur sont telles qu'elle demande un équipement spécial et une séquentielle des composants de la turbine pour empêcher le pompage du compresseur au cours de l'accélération pour prendre sa vitesse dans la séquence de démarrage.

### F. Pompage

Le pompage est un phénomène de fonctionnement instable qui intéresse non seulement le compresseur, mais aussi l'ensemble de la machine.

La protection du pompage est également nécessaire pendant la séquence d'arrêt et de décélération lorsque la turbine est déclenchée et qu'il n'y a plus de flamme dans le système de combustion. Le pompage dans les cycles de décélération et d'accélération est habituel dans les compresseurs à haut rendement. C'est pourquoi, pour empêcher tout dommage important à la turbine et à son compresseur, les équipements et les composants ci-dessous jouent un rôle très important pour empêcher le pompage du compresseur axial :

- Deux vannes d'extraction sont prévues sur le manifold du dixième étage.
- Le compresseur axial est équipé à son admission d'aubage de pré rotation avec un mécanisme de commande pour la couronne qui entraîne les aubages orientables.



Les contacteurs de fin de course sur les vannes d'extraction du compresseur.

### Conséquence du pompage

- Augmentation de la température  $T^{\circ}$  pouvant endommager la turbine.
- Vibrations importantes pouvant conduire à la détérioration des paliers.
- Bruits anormaux et violents, émission des flammes, extinction...
- Les coups de pompage donnant lieu à des surcharges brutales en torsion sur les aubages du compresseur.

### III.11. Séquence de démarrage et d'arrêt

Le réglage de démarrage fait passer la turbine à gaz de la vitesse zéro à la vitesse de fonctionnement de manière sûre en délivrant la bonne quantité de combustible pour établir la flamme, accélérer la turbine et le faire d'une manière qui permet de minimiser la fatigue du cycle bas des parties chaudes durant la séquence.

#### III.11.1. Séquence de démarrage

Dans l'usine, pour démarrer la turbine MS5002C, il faut suivre la procédure de démarrage.

Cette procédure dirige l'opérateur pour démarrer la machine avec des étapes logiques, plus sécurisées avec la responsabilité en cas d'un mauvais fonctionnement (Nom, Prénom et signaleurs).

1. Confirmation que aucun permis de travail ou ICC (Certificat de Conformité d'Isolation) n'existe en ouvert.
2. Démarrer le moteur de ventilation.
3. Vérification la disponibilité de  $N_2$  (P=3 bar), gaz d'étanchéité et l'huile de lubrification.
4. Tester les pompes d'huile de lubrification et hydraulique et assurer que l'huile et l'air hydraulique en auto. Assurer la température de fuel gaz est entre  $35^{\circ}C$  et  $40^{\circ}C$ .
5. Acquiescer (effacer) tous les alarmes, enclencher MASTER RESET
6. Vérifier les quatre lampes en HMI sont allumées en vert.
7. Demander le READY TO START, et assurer que le compresseur centrifuge est sous pression 25bar, si la pression est élevée, l'opérateur dépressuriser manuellement le compresseur vers la torche.
8. Réinitialiser les vannes UZV et si la différence de pression entre UZV est grande, il faut ouvrir le by pass pour équilibrer la pression puis fermer les vannes, disposer les vannes en AUTO.
9. Augmenter la température de fuel gaz ( $40^{\circ}C$ ), puis ouvrir la vanne de fuel gaz vers la chambre de combustion.
10. Fermer la vanne de refoulement premièrement et ouvrir la vanne d'aspiration.
11. Sélectionner l'étape START.

12. Si la vitesse de la machine est 20% le minuteur de purge est actif, pendant 3 minutes.
13. Après 3 minutes l'étape de flamme est démarrée et la machine est accélérée.
14. Le moteur est découplé à 60% de la vitesse nominale jusqu'à 95% ; les vannes de commandes se fonctionnent suivant la charge.

### III.11.2. Séquence d'arrêt

La description ci-dessous regarde un arrêt normal. Un arrêt normal peut avoir lieu manuellement ou automatiquement (voir la figure III.24).

1. Une séquence d'arrêt normal passe à travers la décélération de la turbine à gaz.
2. La quantité de combustible est réduite suivant le programme de mise à l'arrêt.
3. La vitesse est réduite graduellement en réduisant le débit du combustible.
4. Le système de lubrification est démarré pendant de 12heurs jusqu'à l'arrêt totale de la machine pour éviter la déformation de l'arbre (rotor).

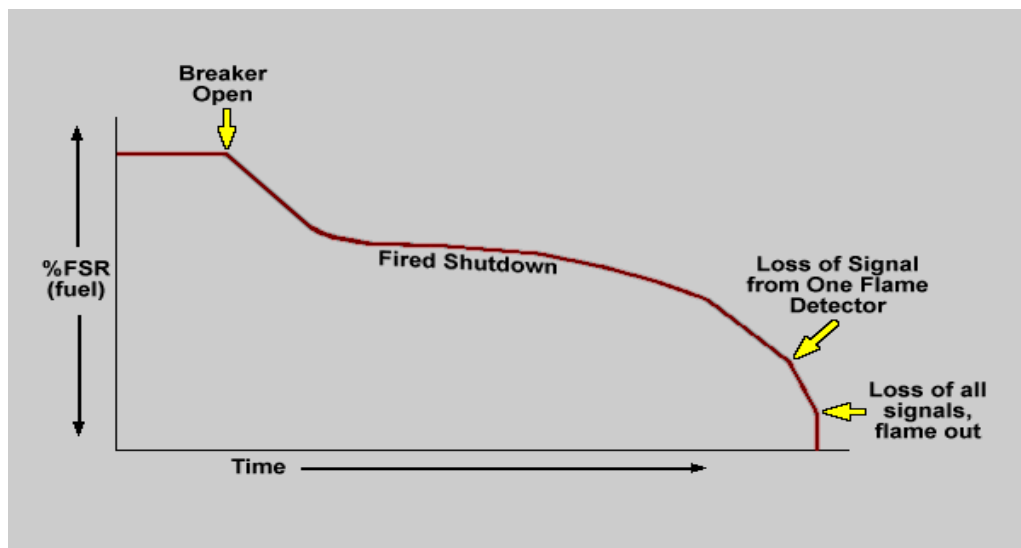


Fig (III.24) : Schéma des séquences d'arrêt [10]

### III.12. Conclusion

La description faite dans ce chapitre concerne la turbine a gaz type MS 5002 C. Il est évident qu'une description complète en "Etat de marche" doit comprendre aussi les auxiliaire groupes tel que le système de démarrage ainsi que les auxiliaires généraux.

# conclusion générale

Les turbines à gaz sont utilisées dans le monde entier dans la génération de l'électricité des centrales thermique et de l'industrie des hydrocarbures, dans différents endroits géographiques avec des conditions climatiques variables de température, de pression et d'humidité Les turbines à gaz sont très sensibles à la variation de la température de l'air ambiant. De ce fait rendre les turbines utilisées dans les conditions du sud Algérien insensibles à la variation de la température de l'air ambiant, revêt un caractère urgent.

La réalisation de ce mémoire nous a permis d'acquérir des connaissances sur le rôle des turbines à gaz sur lequel repose l'industrie gazière de notre pays. Nous avons eu la chance d'assister à une opération de révision d'une turbine à gaz MS5002C,

Ce mémoire m'a permis d'apprécier la nécessité d'utilisation des turbines à gaz dans le domaine pétrolier. Ces machines connaissent un développement remarquable justifié à juste titre par leur fiabilité et simplicité d'exploitation.

L'étude de cette turbine ont montré que les performances de ces machines sont influencées par la température l'air ambiant qui varie considérablement durant les différentes saisons. On a constaté que les turbine à gaz MS5002C implantées au sud algérien travaillent dans des conditions extrêmes de ce fait les rendements de celles-ci diminuent.

Finalement, nous souhaitons que ce mémoire puisse servir comme outil de travail pour les étudiants à venir, et qu'il sera amélioré et complété pour rendre son utilité plus complète.

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01] M. Graille C , Utilisateur et choix des compresseurs : Conception, construction et exploitation des réseaux de transport de gaz, Gaz de France, p 15
- [02] Cycle de Carnot [archive], sur univ-lemans.fr, consulté le 22/05/2021.
- [03] M. BOUGUECHAL D , Cours de thermodynamique, Chapitre VII
- [04] M. Giraud J. Silet .[Turbine à gaz aéronautiques et terrestres].
- [05] Lucien V, Classifications Turbine à vapeur et turbine à gaz.Edition Albin Michel (1965).
- [06] S.Nedjmi, « étude et analyse technologique, calcule thermodynamique de la puissance de sortie d'une turbine à gaz MS 5002B», PFE d'ingénieur d'Etat, Université de Biskra,
- [07 ] A.Bouam, « Amélioration des performances des turbines à gaz utilisées dans l'industrie des hydrocarbures par l'injection de vapeur d'eau à l'amont de la chambre de combustion », PFE de Doctorat, Université m'hamed bougara-Boumerdes, consulté le 28/05/2021.
- [08] A.Beggat, A.Necera, « Etude thermodynamique, maintenance et fiabilité d'une turbine à gaz MS 5002 C », PFE de master, Universite Kasdi Merbah – Ouargla,
- [09] B.Mehani,Y., « Etude de système de commande de lancement et de système de commande de vitesse d'une turbine à gaz MS5002C », PFD master maintenance industrielle, Universite Kasdi Merbah – Ouargla, consulté le 28/05/2021.
- [10]HIMEUR N, «Etude descriptive de la turbine MS5002C »,PFD Mémoire de fin de formation institut algérien du pétrole, consulté le 23/05/20

