

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

CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED

FACULTÉ : SCIENCES ET TECHNIQUES

**Département : mécanique
Option : énergétique**

A detailed technical line drawing of a gas turbine engine, showing the compressor, combustion chamber, and turbine sections. The drawing is in a cross-sectional view, highlighting the internal components and the flow path of the gas.

MEMOIRE

**Présenté un vue de l'obtention du diplôme de :
Licence en énergétique**

THEME

Fonctionnement de turbine à gaz à combustion

*Présenté par: Horra sadek
Benyamma younes*

Suivi Par: Mr.Djoudi T

Année 2009/2010

TABLES DES MATIERES

CHAPITRE I

Généralités sur les turbines à gaz

1- Introduction.....	
.....(1)	
2- Historique des turbines à gaz.....	(1)
3- Définition.....	
.....(2)	
4- Principe de fonctionnement.....	(2)
5- Classification des turbines à gaz.....	(6)
5.1- Selon construction de turbine à gaz.....	(6)
5.1.1- Turbine à gaz mono-arbre.....	(6)
5.1.2- Turbine à gaz à deux arbres.....	(8)
5.1.3- A arbres multiples.....	(10)
5.2- Selon domaines d'applications.....	(10)
5.2.1- Applications fixes (industrielle).....	(10)
5.2.2- Applications mobiles.....	(11)
5.3- Selon cycle.....	(11)
5.3.1- Cycle ouvert.....	(11)
5.3.2- Cycle fermé.....	(11)
5.4- Selon le travail fourni.....	(11)
5.4.1- Gazéificateur (générateur de gaz).....	(11)
5.4.2- Une turbine de puissance (de travail).....	(11)

CHAPITRE II

Constitutions générales de la turbine industrielle

Introduction.....	(12)
1- Section compression.....	(13)
2- Section combustion.....	(14)
2.1- les différents types des combustibles employés dans les turbine à gaz.....	(15)
2.1.1- gaz naturel.....	(15)
2.1.2- gaz de pétrole liquéfié (GPL) ou gaz naturel liquéfié (GNL).....	(16)
2.1.3- gaz fatals industriels et gaz pauvres.....	(16)
2.2- chambre de combustion.....	(17)
3- section turbine.....	(21)
1) 3.1- étage de turbine.....	(21)
3.2- étude des grilles d'aubes.....	(22)
3.3- stator de la turbine.....	(23)
3.3.1- directrices.....	(24)
3.3.2- ensemble diaphragme.....	(25)
3.4- rotor de la turbine.....	(27)
3.4.1- aubes de la turbine.....	(28)

3.4.2- les	
palies.....	(29)
4-	
l'échappement.....	
.....	(29)

CHAPITRE III

Théorie des turbines a gaz

1- diagramme		T
S.....	(30)	
2- diagramme		P
V.....	(35)	

CHAPITRE IV

Exploitation et contrôle de la turbine

1- système de	
lancement.....	(37)
1.1-	
Généralités.....	
.....	(37)
1.2- description	
fonctionnelle.....	(37)
1.3- vérification avant le lancement	
quotidien.....	(38)
1.4- vérification pendant	
l'exploitation.....	(39)
1.5- réglage du	
régime.....	(39)
2-	
emballements.....	
.....	(39)
3-	
reflux.....	
.....	(40)
4- pompage du compresseur	
d'air.....	(40)
5- absence du	
combustion.....	(40)

6-	
démarrage.....	
.....(41)	
7- procédure d'arrêt	
normal.....	(41)
8- arrêt	
d'urgence.....	
...(42)	
9- causes de mauvais	
fonctionnement.....	(42)
9.1- paliers	
chaudes.....	(42)
9.2- vibrations	
.....	(42)
10- problèmes	
d'exploitation.....	(42)
10.1- vérification avant le lancement	
quotidien.....	(42)
10.2- vérification pendant	
l'exploitation.....	(43)
10.3- réglage du	
régime.....	(43)
Conclusion	
.....(44)	

INTRODUCTION GENERALE

Ce sont les turbines à vapeur ainsi que le moteur diesel qui ont été développés depuis plus d'un siècle alors que la turbine à gaz a fait son apparition dans le domaine industriel depuis une soixante d'année. Elle a été fabriquée durant la deuxième guerre mondiale pour la propulsion aérodynamique ; à l'époque son intérêt résidait principalement dans son rapport puissance/ poids.

L'évolution et le succès de la turbine à gaz ont été conditionnés par l'amélioration des performances techniques des turbines et des compresseurs et par l'amélioration des métaux alliés ayant une bonne résistance mécanique et chimique aux températures élevées. Mais ces derniers ont des limitations conditionnées par la possibilité du développement de l'industrie de nouveaux matériaux. Compte tenu des possibilités actuelles, le rendement thermique d'une TAG compris entre 16 et 28 % pour une installation simple sans la récupération des calories d'échappement et entre 26 et 35 % pour une installation avec la récupération de ces calories, il reste néanmoins bien inférieur à celui de moteur à gaz.

Ce présent mémoire est divisé en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre présent des généralités sur les turbines, il commence par des généralités, il débute par des généralités sur son fonctionnement.

Le deuxième chapitre nous avons présenté les organes mobiles du turbine, il aborde ensuite la construction du turbine.

Le troisième chapitre nous avons présenté le comportement thermodynamique d'un

Turbine à gaz, ainsi que son état de travail à diverses conditions des fonctionnements.

Le quatrième chapitre nous avons présenté L'exploitation sous surveillance permanente de l'appareillage et des personnels est la base de tout diagnostic efficace. La surveillance vibratoire des turbomachines est l'une des techniques qui se répand le plus dans l'industrie. Grâce à l'analyse du signal que permet l'informatique, l'analyse vibratoire, longtemps cantonnée dans l'équilibrage des machines tournantes, a fait de gros progrès.

CHAPITRE I

Généralités sur les turbines gaz

1- Introduction :

Comparées aux autres moteurs thermiques, la turbine à gaz présente une double particularité ; de même que la turbine à vapeur, la turbine à gaz est une machine à écoulement continu, donc ne comporte pas de variation périodiques de l'état de fluide ; dans toute section donnée ; mais tendit que la turbine à vapeur, le fluide ne subit pas qu'une seule transformation qui est la détente. La turbine à gaz (au sens large du terme), est le siège de l'ensemble de transformation constituant le cycle thermodynamique décrit par le fluide ; donc, la turbine à gaz est assimilée aux moteurs à combustion interne mais les transformations s'effectuent dans des enceintes séparées et juxtaposées dans l'espace.

2- Historique des turbines à gaz:

Par mis les procureurs de la turbine à gaz moderne, on doit mentionner les inventeurs des moteurs thermiques fonctionnant avec un gaz permanent (plus précisément avec l'air chaud), bien que ces moteurs aient été conçu d'après le principe des machines à vapeur à piston. Ces inventions ont, en, effet permis de déterminer les différentes transformations qui doivent être subis par un gaz permanent servant de fluide moteur, transformations dont le cycle thermodynamique de la turbine à gaz. D'ailleurs certains cycles de cette machine porte encore à présent les noms de leurs inventeurs :

Cycle de Joule, cycle d'Ericsson.

--> Première turbine à gaz employée industriellement :
Allemagne, 1909-1910.

1791 Premier brevet de turbine à gaz de John Barber, Angleterre

1900/1904 Premiers essais avec la turbine à air chaud selon Stolze.

1905 Conception de la turbine à explosion selon Holzwarth.

1906/1908 Construction de la première turbine à explosion par
BBC pour Dr. Holzwarth.

1928 BBC reprend la fabrication d'une turbine Holzwarth
Améliorée.

- 1933** Mise en opération de la première turbine Holzwarth de BBC, alimentée en gaz de haut fourneau.
- 1934** Développement de la chaudière Velox suralimentée. Environ 80 compresseurs/turbines à gaz furent installés jusqu'à 1939.
- 1937** Mise en service du premier groupe compresseur/turbine à gaz "Houdry" auprès de Marcus Hook Refinery, PA, Etats-Unis d'Amérique. Puissance du groupe: 2000 kW.
- 1937** Commande portant sur le premier groupe de turbine à Gaz à cycle simple.
- 1939** Mise en service de la première turbine à gaz de 4000 KW à la centrale de Neuchâtel.

3- Définition :

La turbine à gaz est une machine motrice à mouvement rotatif à combustion externe (à écoulement continu).

Contrairement à ce qui a lieu dans les moteurs à combustion interne à mouvement alternatif.

La turbine à gaz peut être considérée comme une machine autonome car grâce à son compresseur axial et ses chambres de combustion, elle peut produire à elle même le gaz combustible sous pression et à température élevée , qui va subir les différentes transformations thermodynamiques, contrairement aux turbine à vapeur les quelles détendent un fluide produit à l'extérieur (dans une chaudière).

4 - Principe de fonctionnement :

La turbine à gaz est un moteur thermique réalisant les différentes phases de son cycle thermodynamique dans une succession d'organes traversés par un fluide moteur gazeux en écoulement continu. C'est une différence fondamentale par rapport aux moteurs à pistons qui réalisent une succession temporelle des phases dans un même organe (généralement un cylindre). Dans sa forme la plus simple, la turbine à gaz fonctionne selon le cycle dit de Joule comprenant successivement et schématiquement:

- une compression adiabatique qui consomme de l'énergie mécanique,

- un chauffage isobare comme pour un moteur diesel,
- une détente adiabatique jusqu'à la pression ambiante qui produit de l'énergie mécanique,
- un refroidissement isobare.

Le rendement est le rapport du travail utile (travail de détente – travail de compression) à la chaleur fournie par la source chaude. Le rendement théorique croît avec le taux de compression et la température de combustion. Il est supérieur à celui du cycle Diesel car sa détente n'est pas écourtée. La turbine à gaz est le plus souvent à cycle ouvert et à combustion interne. Dans ce cas, la phase de refroidissement est extérieure à la machine et se fait par mélange à l'atmosphère. La turbine à gaz peut également être à cycle fermé et à combustion externe. Le chauffage et le refroidissement sont alors assurés par des échangeurs de chaleur. Cette disposition plus complexe permet l'utilisation de gaz particuliers ou de travailler avec une pression basse différente de l'ambiante.

Le cycle de base décrit plus haut peut être amélioré par différents organes complémentaires :

- récupération de chaleur à l'échappement : les gaz détendus en sortie de turbine traversent un échangeur pour préchauffer l'air comprimé avant son admission dans la chambre de combustion,
- compression refroidie : la compression comprend deux étages (ou plus) séparés par un échangeur de chaleur (air/air ou air/eau) refroidissant l'air. La puissance nécessaire à la compression s'en trouve réduite au bénéfice du rendement.
- combustion étagée : la détente comprend deux étages (ou plus) séparés par un ou des réchauffages additionnels. La puissance fournie est accrue d'où amélioration du rendement.

Les deux dernières dispositions visent à tendre vers des transformations isothermes en lieu et place des adiabatiques et se justifient surtout sur les machines à taux de compression élevé. Les trois dispositifs peuvent être réalisés indépendamment ou

simultanément. Dans ce cas, on retrouve le cycle dit de Ericsson qui comme le cycle de Stirling présente un rendement théorique égal au rendement maximal du cycle de Carnot. Cette supériorité théorique par rapport aux cycles Otto et Diesel est cependant contrebalancée par l'impossibilité pratique de réaliser les transformations isothermes. Dans tous les cas, ces dispositifs sont réservés aux installations stationnaires du fait de l'encombrement et du poids des échangeurs gaz/gaz.

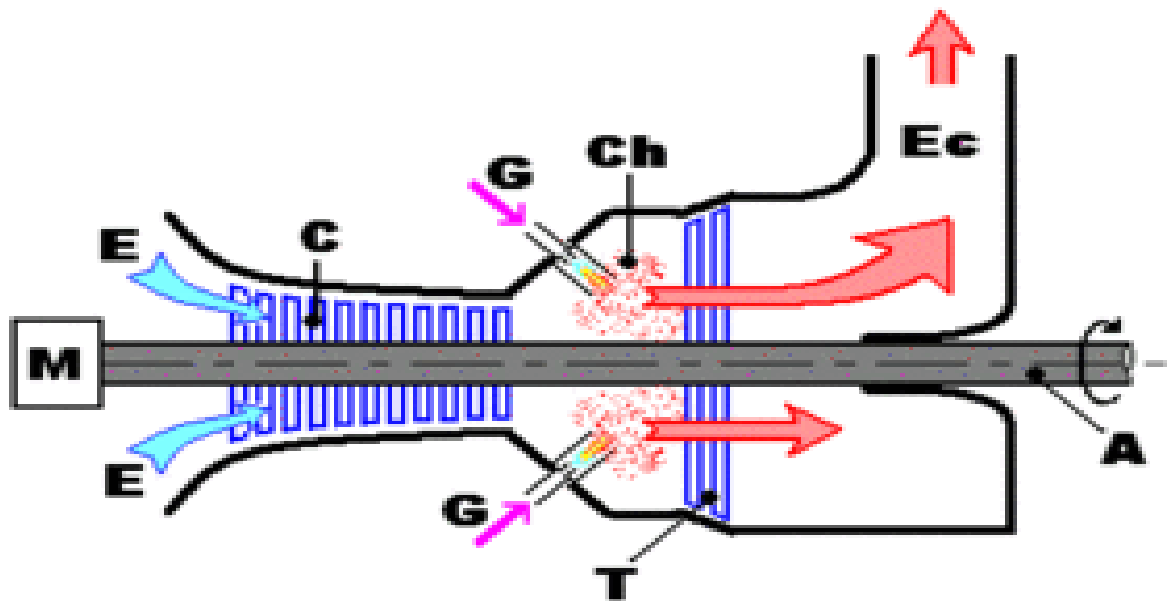


Fig.I.1 Coupe longitudinale d'une turbine à gaz - Principaux organes

Le compresseur (repère **C**), constitué d'un ensemble de roues munies d'ailettes, comprime l'air extérieur (rep. **E**), simplement filtré, jusqu'à 10 à 15 bars, voire 30 bars pour certains modèles.

Du gaz (rep. **G**), ou un combustible liquide atomisé, est injecté dans la chambre de combustion (rep. **Ch**) où il se mélange à l'air comprimé et s'enflamme. Les gaz chauds se détendent en traversant la turbine

(rep. **T**), où l'énergie thermique des gaz chauds est transformée en énergie mécanique, la dite Turbine est constituée d'une ou plusieurs roues également munies d'ailettes et s'échappent par la

cheminée (rep. **Ec**) à travers un diffuseur. Le mouvement de rotation de la turbine est communiqué à l'arbre **A** qui actionne d'une part le compresseur, d'autre part une charge qui n'est autre qu'un appareil (machine) récepteur (ice) (pompe, alternateur...) accouplé à son extrémité droite. Pour la mise en route, on utilise un moteur de lancement (rep. **M**) qui joue le rôle de démarreur. Le réglage de la puissance et de la vitesse de rotation est possible en agissant sur le débit de l'air en entrée et sur l'injection du carburant.

Le système de prise d'air fournit de l'air filtré au compresseur de la turbine à gaz, en qualité et en quantité nécessaire au fonctionnement de cette dernière dans les conditions ambiantes locales. Le système d'aspiration pourvoit à l'envoi de l'air d'entrée, après on filtrage à un degré spécifique de pureté, au compresseur. Un dessécheur d'air est intégré dans le système de l'air d'admission où sa fonction consiste à réduire l'humidité d'air. Une protection par dôme contre les agents atmosphériques empêche la pluie de pénétrer dans les derniers étages du système de filtration.

- **Compresseur :**

son rôle est d'élever la pression de l'air avant son admission dans la chambre de combustion. Le travail mécanique nécessaire est prélevé sur la turbine.

- **Turbine :**

Des gaz chauds issus de la chambre de combustion se détendent dans une turbine, les aubes mobiles de la turbine. En raison de l'importance des contraintes thermiques et mécaniques auxquelles elles sont soumises, les aubes de la turbine sont réalisées à partir d'alliages résistant aux hautes températures. L'air de refroidissement destiné à la turbine est prélevé aux étages appropriés du compresseur, les aubes sont refroidies par film, par impact ou par convection, selon les étages de la turbine.

En raison de la température élevée des gaz à la sortie de la chambre de combustion, les aubes de la turbine soumis à des contraintes thermo-mécaniques importantes sont refroidis avec de l'air frais

prélevé à partir du compresseur ; le circuit d'air de refroidissement est montré sur le schéma ci-dessous.

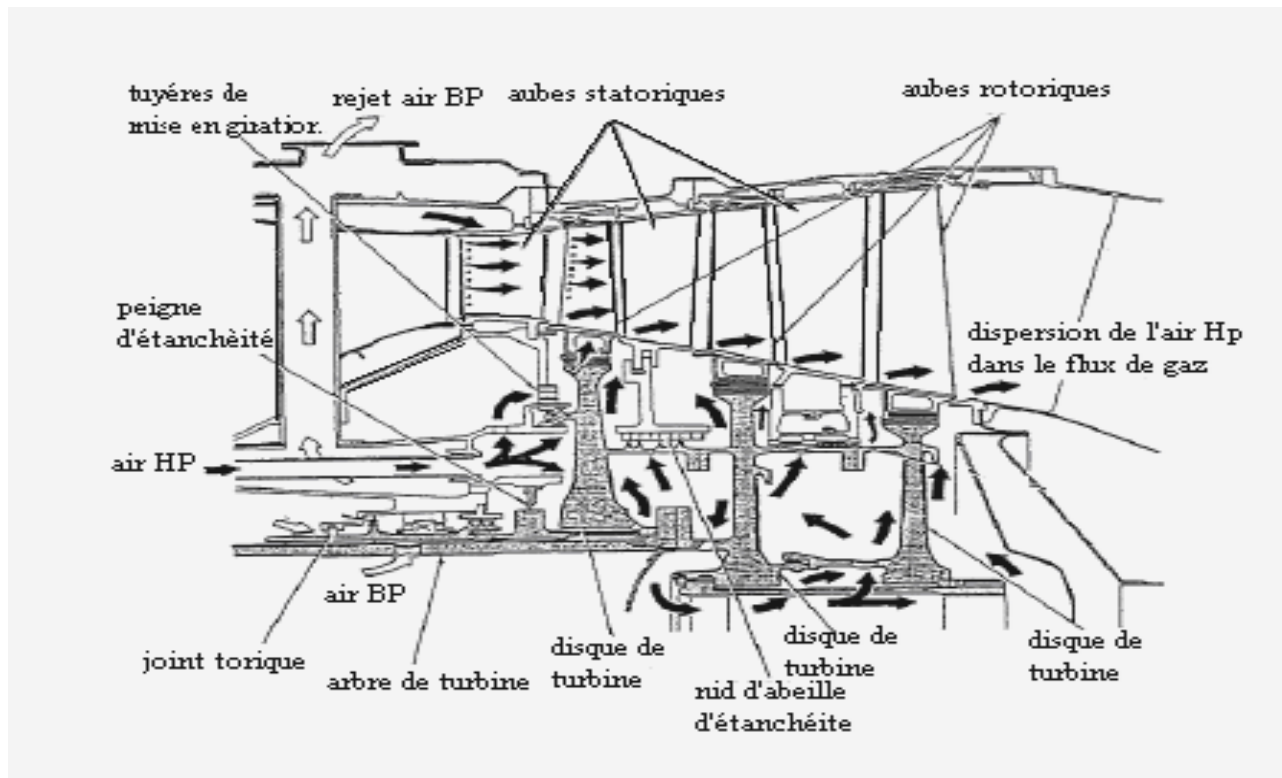


Figure.I.2:principe du refroidissement des aubes de la turbine

5- Classification des Types des turbines à gaz :

5-1-Selon construction de turbine à gaz :

5-1-1-turbine à gaz mono-arbre :

Dans la turbine mono arbre, les disques du rotor de la turbine accouplés entre eux se prolongent vers l'échappement par un arbre.

Le rotor du compresseur axial ainsi que les étages de la turbine forment donc un seul rotor supporté pour deux paliers porteur elliptique.

Les machines (compresseur axial + turbine), repose sur des support élastique longitudinalement et transversalement l'embarcadere métallique.

Les turbines mono-arbre : sont surtout utilisées pour actionner des alternateurs. Elle n'actionnent que rarement des compresseurs car la marge restreinte de régulation de nombre de tours de la turbine (compris entre 80% et 105% de la vitesse nominale), limite son

utilisation aux cas où le compresseur a aussi de petite variation de charge et de nombre de tours et lorsque la turbine a une bonne marge de puissance par rapport à celle absorbée par le compresseur (10 à 20% en plus).

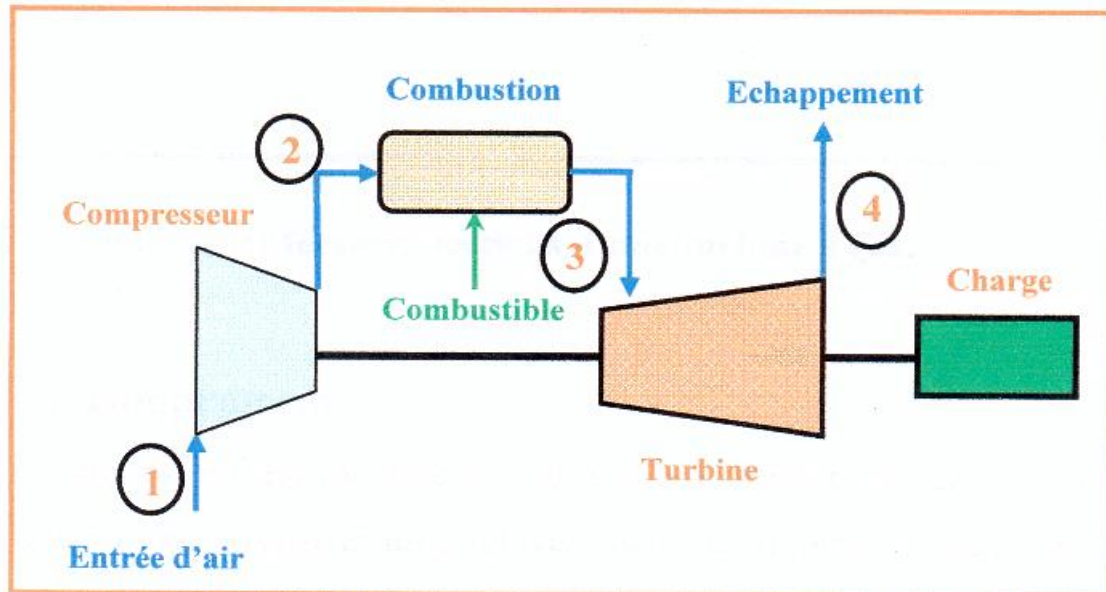


Fig. I.3 Turbine à gaz à une ligne d'arbre.

Cette figure montre schématiquement le fonctionnement d'une turbine à un seul arbre, où il y a un raccordement continu entre la section turbine T, le compresseur CO et côté opposé.

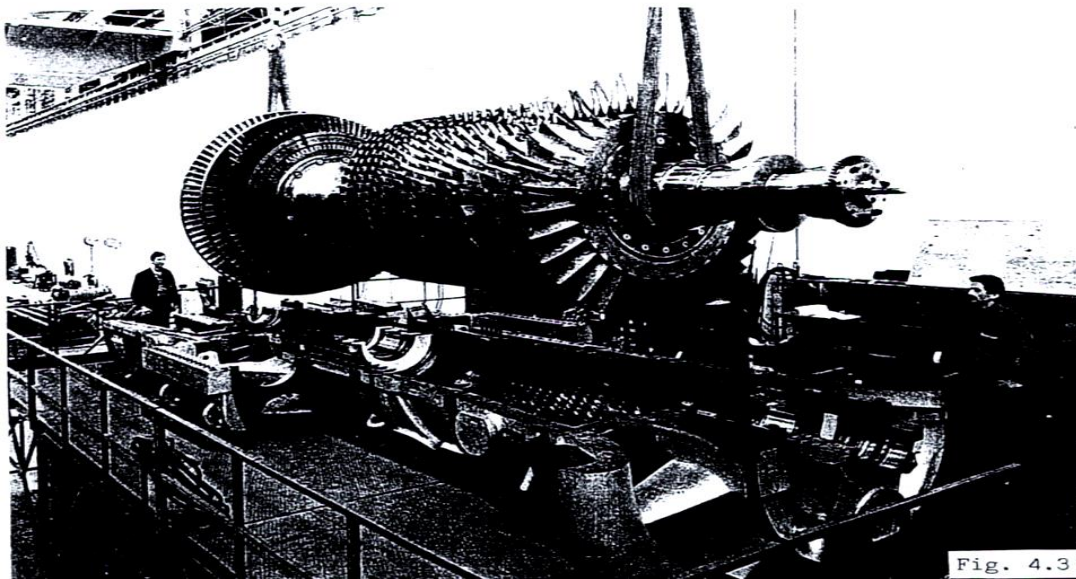


Fig. I.4 photo de Turbine à gaz mono-arbre.

La figure : montre une turbine à gaz à un seul arbre ouverte le long de sa médiane horizontale.

Il est évident que le système compresseur – turbine -charge solidaire sur un seul arbre concerne l'entraînement d'alternateurs, étant donné que dans cette application il est nécessaire de régler la puissance à une vitesse constante (fréquence réseau) ; ici une turbine à gaz un seul arbre répond exactement a cet objectif par ce qu'elle peut utiliser les performances optimales du compresseur axial, qui fonctionne à 100% de la vitesse et donc au point de rendement maximum.

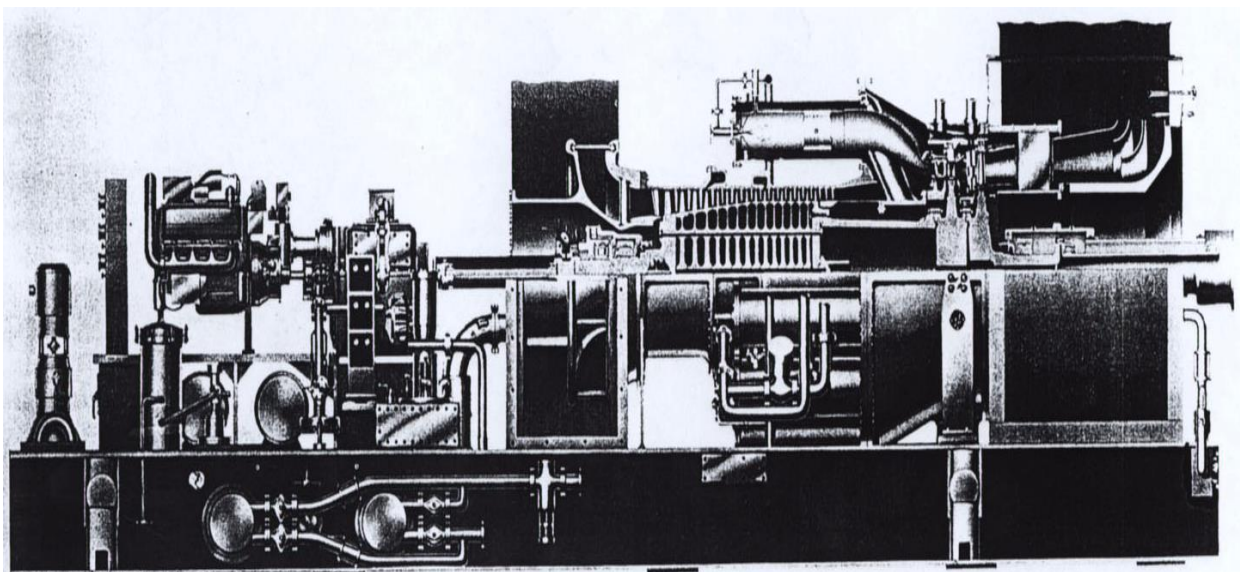


Fig. I.5 Turbine à gaz mono-arbre industrielle

5-1-2-Turbine à gaz à deux arbres :

Contrairement à la turbine à un seul arbre, dans le cas des turbines à gaz à deux arbres seulement une partie de la section de la turbine (appelée turbine haute pression HP) est raccordée mécaniquement au compresseur pour former le soi-disant générateur à gaz alors que l'énergie résultante de la combustion est traitée par une deuxième section de la turbine (turbine de basse pression BP), séparée.

Mécaniquement de la première. Pour former la soi-disant turbine « TP » de puissance qui est raccordée à la charge par un accouplement.

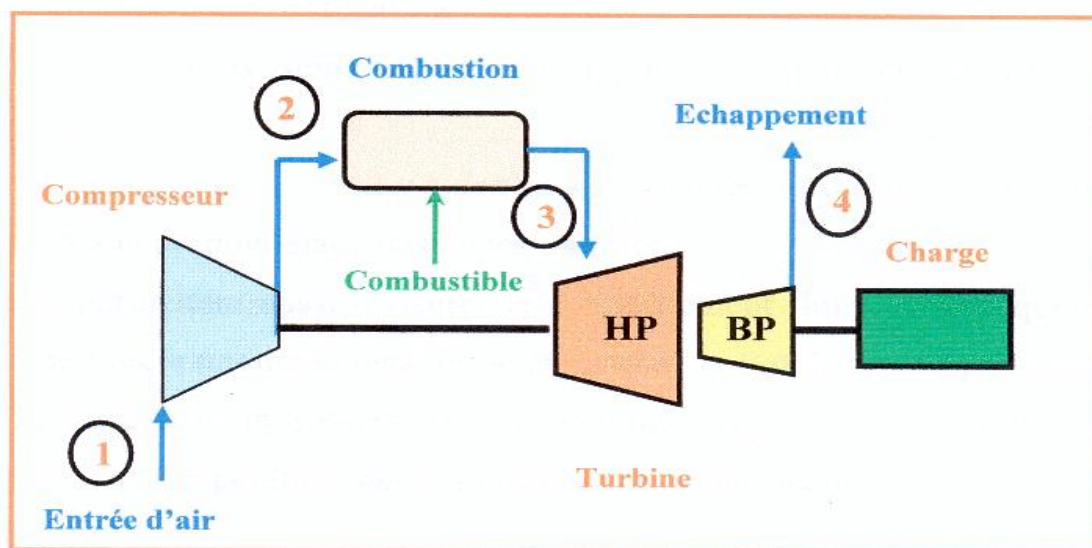


Fig. I.6 Turbine à deux lignes d'arbres.

Cette figure montre une vue schématiquement de fonctionnement d'une turbine à gaz à deux arbres avec les deux

sections (modules), le générateur de gaz et la turbine de puissance , mécaniquement séparées

Les champs d'application de la turbine à gaz à deux arbres concernent l'entraînement des machines dont le réglage de puissance est obtenu en variant la vitesse, tel que les compresseurs ; les pompes. Un tel champ d'application est défini « entraînement mécanique » par opposition à celui des turbines à un seul arbre , qui est défini « transmission électrique ».

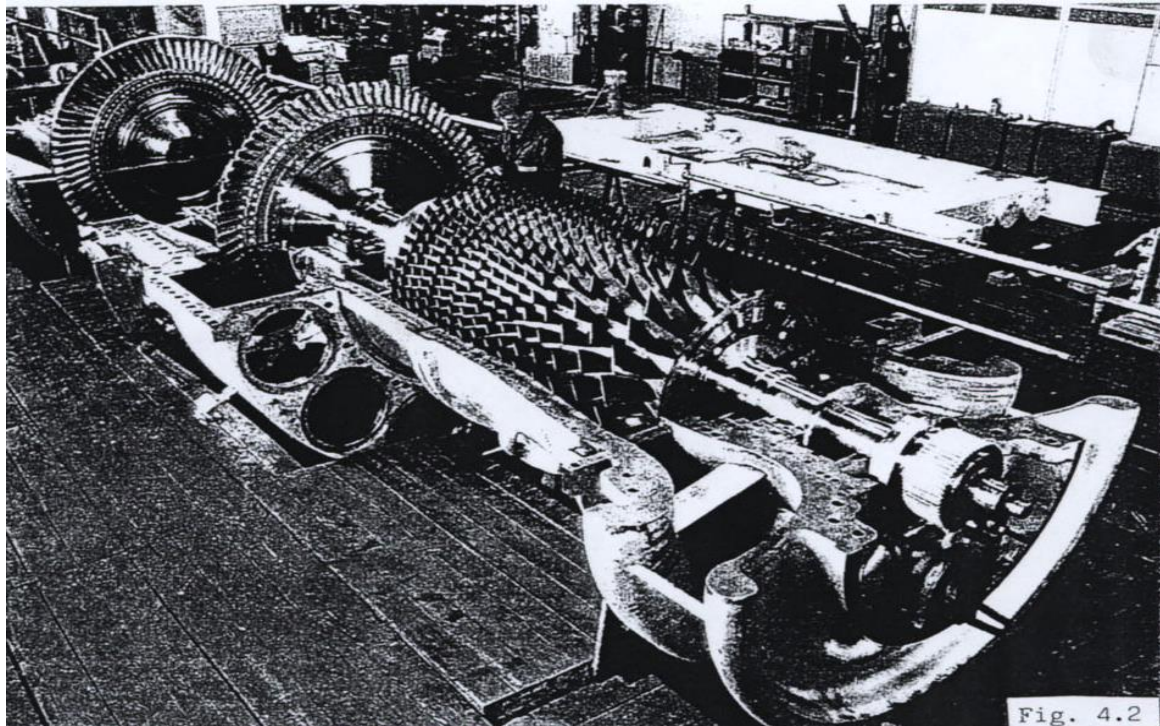


Fig.I.7 photo de Turbine à gaz deux arbres.

La figure montre une turbine à gaz à deux arbres (MS5002) ouverte le long de sa ligne médiane horizontale pour montrer les deux sections séparées.

5-1-3- A arbres multiples :

C'est une turbine dont la quelle les rotors des éléments mécaniques sont montés sur plus d'un arbre rotatif. Ces arbres peuvent tourner ou non entre eux avec un rapport de vitesse déterminé entre ces arbres, ils sont appelés *arbres flottant*, à l'exception de l'arbre d'accouplement.

5-2-Selon Domaines d'applications :

5-2-1- Applications fixes (industrielles) :

L'autre grand domaine d'emploi des turbines à gaz est la production d'électricité. En effet, il s'agit d'applications à régime constant et à charge relativement constante pour lesquelles le rendement de ces machines est le meilleur. La puissance varie de quelques centaines de kW à près de 300 MW. Les machines les plus puissantes sont en général associées à des turbines à vapeur dans des cycles combinés dont le rendement global tend actuellement vers 60%. En cycle simple, le rendement est de l'ordre de 30 à 35% voire

plus pour les grosses machines. Dans les faibles puissances, le rendement est même inférieur à 30% mais on met alors à profit l'aptitude des turbines à combustion pour la récupération de chaleur dans des applications de cogénération (production simultanée d'électricité et de chaleur).

5-2-2- Applications mobiles :

Les applications des turbines à gaz découlent directement de leurs avantages spécifiques. Ainsi, la puissance massique élevée se prête bien à la propulsion aéronautique en particulier sur les hélicoptères. La propulsion navale fait également de plus en plus appel aux turbines à gaz notamment pour les navires à grande vitesse. Il existe enfin des exemples d'application à la propulsion ferroviaire mais limités le plus souvent à l'Amérique du Nord et à des véhicules militaires comme des chars d'assaut (XM-1 Abrams ou Leclerc).

Par contre, la turbine à gaz est mal adaptée aux véhicules routiers. En effet, les variations de charge et de régime sont trop importantes et trop rapides pour être réalisables avec un rendement correct. De plus, le rendement atteint difficilement 30% pour des moteurs.

compacts et de faible puissance alors que les Diesel actuels dépassent 40%. Par contre, elles pourraient trouver un regain d'intérêt pour les chaînes de propulsion hybrides en particulier sur les poids lourds, où l'installation des échangeurs (notamment récupérateur sur échappement) est moins problématique .

5-3-selon cycle :

5-3-1- à cycle ouvert :

Dans les quelles l'élément actif entre dans la turbine à gaz à partir de l'air libre et retourne à l'air libre.

5-3-2- à cycle fermé :

Dans les quelles l'élément actif passe successivement dans le compresseur, la chambre de combustion et la turbine sans qu'il ne puisse sortir à l'air libre.

5-4-selon le travail fourni :**5-4-1- Gazéificateur (générateur de gaz) :**

C'est une turbine à gaz qui a un ou plusieurs arbres et qui produit des gaz d'échappement chauds, mais pas de travail mécanique.

5-4-2- une turbine de puissance (de travail) :

C'est une machine thermique où une partie de l'énergie de l'élément actif est convertie en énergie mécanique et utilisée pour entraîner une charge qui lui est relié.

CHAPITRE II

Constitutions générales de la turbine industrielle

Introduction :

La turbine à gaz, aussi appelée turbine à combustion, est une machine thermique qui connaît actuellement une grande vogue, compte tenu de ses excellentes performances (rendement supérieur à 35 % utilisée seule, et à 55 % en cycle combiné). Cette machine est composée de trois éléments principaux :

- un compresseur, généralement centrifuge ou axial, qui sert à comprimer l'air ambiant à une pression comprise dans les machines modernes entre 10 et 30 bars environ ;
- une chambre de combustion, dans laquelle un combustible injecté sous pression est brûlé avec l'air préalablement comprimé (ce dernier en fort excès afin de limiter la température des gaz brûlés en entrée de la turbine) .
- une turbine, généralement axiale, dans laquelle sont détendus les gaz à haute température sortant de la chambre de combustion. Une partie significative (60 à 70 %) du travail récupéré sur l'arbre de la turbine sert à entraîner le compresseur.

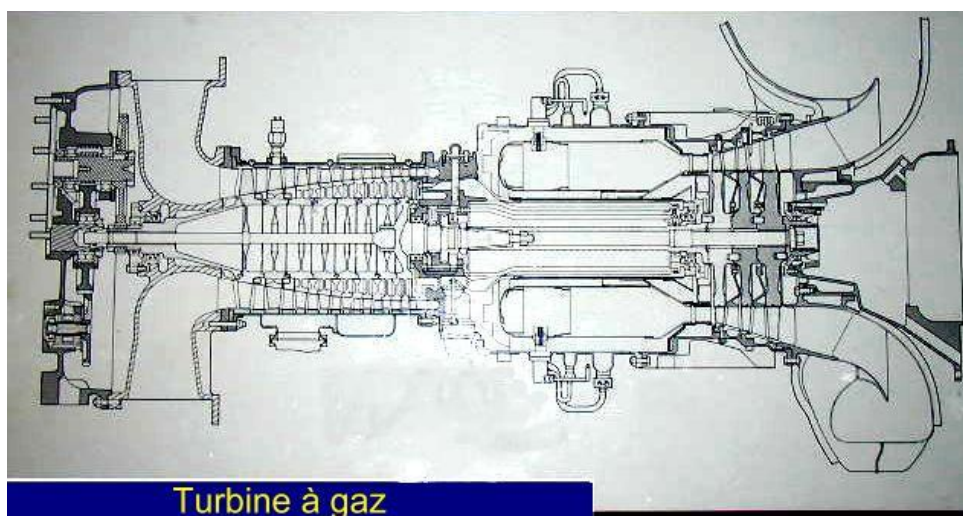


Figure.II.1: turbine à gaz industrielle

1-Section compression :

Lorsque la puissance utile de la turbine à gaz est suffisamment faible, la compression peut être réalisée à l'aide d'un compresseur centrifuge.

➤ Selon l'équation de constance d'énergies (*BERNOULLI*)

$$V_1^2/2 + P_1/\mu = V_2^2/2 + P_2/\mu \quad P_1, P_2 \text{ pressions d'entrée/ sortie}$$

V_1, V_2 vitesse d'entrée/sortie
 μ : Masse spécifique du fluide.

Pour obtenir une élévation de pression importante, il est donc nécessaire de réaliser, d'abord, une grande vitesse d'écoulement des gaz et, ensuite, un ralentissement progressif dans une conduite au canal de forme approprier.

La mise en vitesse est optimum en soumettant le gaz à l'action des roues à aubes qui sont calées sur un arbre ayant habituellement une grande vitesse de rotation.

Le gaz entre dans cet appareil suivant une direction parallèle à l'axe de rotation et, ensuite, s'éloigne de l'axe vers la périphérie.

Et comme l'élévation de la pression dans un étage du compresseur axial notablement plus faible que celle qui a lieu dans un étage d'un compresseur centrifuge, alors, la variation de la masse volumique du fluide traversant l'étage d'un compresseur axial est donc peut importante ($\mu_1 = \mu_2$) ce qui permet d'assimiler un tel étage à un ventilateur axial.

2- Section combustion :

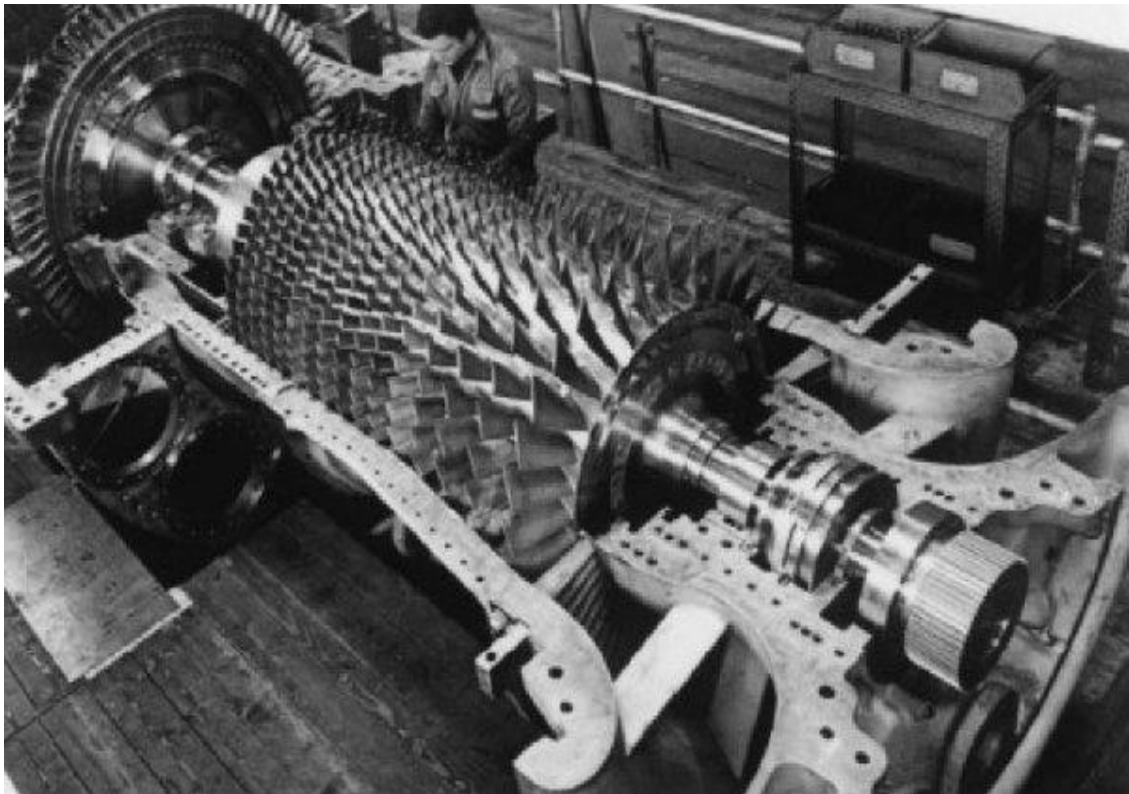


Figure.II.2:compresseur axial

C'est une composante mécanique du système de combustion, dans lequel on brûle un combustible pour élever la température de l'élément actif.

Les chambres de combustion des turbines à gaz doivent satisfaire un certain nombre d'exigences particulières.

- Assurer une combustion complète et opposer l'écoulement des gaz pour diminuer la perte de charge.
- La combustion ne doit pas être accompagnée d'une formation notable (dépôts de carbone, oxyde de carbone oxyde d'azote) ce qui pourraient provoquer l'érosion des aubages, ou la pollution de l'atmosphère (les oxydes).
- Assurer la répartition uniforme des zones chaudes à la fin de la combustion.
- Avoir une durée de vie suffisante malgré les températures élevée auxquelles elles sont soumises.
- Stabilité de fonctionnement.

2-1- Les différents types de combustibles employés dans les turbines à gaz:

2-1-1-Gaz naturel :

Le gaz naturel est un combustible de choix pour les turbines à gaz. Répondant à des normes précises, il peut être introduit dans les turbines sous réserve des quelques dispositions précisées plus loin. Si l'installation est envisagée une analyse doit être demandée et soumise à l'étude du constructeur de la turbine.

Pour pouvoir être injecté dans la turbine, le gaz doit être à une pression supérieure à celle de la pression d'air sortant du compresseur de la turbine. En général, une pression de l'ordre de 16 bar en sortie de poste de livraison permet d'alimenter la quasi-totalité des turbines proposées sur le marché, mais une pression plus forte peut être requise pour certaines turbines à fort taux de compression ou pour tenir

compte des pertes de charge occasionnées par les tuyauteries ou équipements installés entre le poste de livraison et le groupe turbine à gaz.

Lorsque la pression est trop basse, il faut prévoir un surpresseur qui doit être pris en compte dans l'étude de rentabilité de l'installation.

Tous les circuits de combustible d'un groupe turbine à gaz sont équipés de filtres de protection. Il est en effet prudent de protéger la turbine contre les polluants suivants :

- **Les poussières** provenant de la répartition ou de l'installation de canalisations, qui sont en majorité des particules de rouille;
- **Les condensats lourds** qui peuvent se déposer dans les parties basses des canalisations et se trouvent remis en suspension lors d'un changement de régime d'écoulement dans ces canalisations;
- **L'eau** provenant de condensations diverses, particulièrement actives lorsque les installations restent ouvertes ou au repos.

Pour ces trois polluants, il existe des filtres à poussières servant,

en même temps, de séparateur de phase liquide.

2-1-2-Gaz de pétrole liquéfié (GPL) ou gaz naturel liquéfié (GNL) :

Les gaz de pétrole liquéfiés sont déjà largement utilisés pour les besoins domestiques et industriels ainsi que pour les véhicules automobiles équipés d'un réservoir et d'une carburation spéciale

Deux types de gaz sont proposés : le **butane commercial** et le **propane commercial**. L'un et l'autre sont des combustibles de qualité pour les turbines à gaz. Suivant le type de turbine retenu, ils peuvent être introduits :

- Sous forme liquide par pompage à partir d'une cuve de stockage;
- Sous forme gazeuse par passage dans un gazéifieur avant d'être introduits dans le circuit de la turbine à gaz.

Il appartient au constructeur de la turbine à gaz de préconiser le mode d'introduction, qu'il ne peut indiquer que s'il connaît la composition du GPL retenu.

Si ce type de combustible est envisagé, il est prudent de calculer les consommations en fonction des conditions d'exploitation souhaitées.

2-1-3- Gaz fatals industriels et gaz pauvres :

Dans de nombreuses industries, le procédé de fabrication génère des gaz combustibles souvent chargés de polluants indésirables pour une turbine à gaz. Toutefois, lorsque les charges polluantes sont faibles, il peut être rentable de les consommer dans une turbine à gaz, quitte à les enrichir avec du gaz naturel. Mais avant de prendre cette décision, il faut se rappeler les points suivants qui sont d'une grande importance :

- **La qualité d'un combustible** introduit dans une turbine à gaz conditionne la longévité des parties chaudes de la turbine et de la chambre de combustion;

- Certains constructeur proposent des **systèmes multicomcombustibles** qui permettent d'assurer une continuité de fonctionnement dans le cas où un combustible viendrait à manquer; ce système permet également de démarrer une installation et de passer ensuite à un gaz dont les caractéristiques ne conviennent pas pour le lancement de la machine;
- Dans une **installation cogénération**, la turbine peut être alimentée avec un combustible tandis que la postcombustion on utilise un autre.

Nuisances

Il s'agit des émissions nuisibles à l'environnement, comme le bruit et les résidus de combustion, et dont les effets doivent être combattus afin de satisfaire aux exigences des normes nationales ou internationales, ou quelquefois à des contraintes purement locales.

2-2- Chambres de combustion :

C'est l'enveloppe de combustion, elle comprend:

- corps de combustion + tubes à flammes
- ensembles de chapeaux + injecteurs
- bougies + détecteurs de flamme
- pièces de transition (tuyères).

Elle est soudée entourant la partie arrière du corps de refoulement du compresseur.

La chambre de combustion est constituée d'un tube extérieure (carter extérieur) et la chambre intérieure qui est divisée en deux parties :

Une fraction d'air est admise dans la partie primaire pour permettre de former un mélange d'air/carburant d'une richesse inflammable, la quantité d'air étant réduite alors la vitesse d'écoulement d'air est réduite donc stabilité de la flamme (La flamme est stable si la vitesse de propagation du front de combustion est plus grande que la vitesse du courant d'air local).

La partie amont de la chambre de combustion interne est conçue de telle façon à donner à l'air qui la traverse un mouvement tourbillonnaire qui permet d'accrocher la flamme.

La température de la zone primaire est très élevée elle n'est pas supportable par le métal de la chambre de combustion, ni les pièces de transition, ni les aubes de la turbine, c'est pour quoi cet zone primaire est suivie d'une zone de mélange où l'air du compresseur vient entrer dans la chambre de combustion intérieure par des orifices réduisant ainsi la température à la valeur tolérable.

L'air passe entre les chambres extérieures et intérieures à travers des orifices de refroidissement produisant un film d'air relativement froid, protégeant la paroi de la chambre intérieur contre un contact direct avec la flamme ou les gaz chauds. En plus, la surface intérieure de la chambre comporte une peinture résistante à la chaleur.

Des bougies sont utilisées pour produire une étincelle qui amorce la flamme au démarrage.

Des injecteurs sont utilisés pour introduire le carburant dans les chambres. La combustion s'effectue correctement dans la chambre si la richesse du mélange air/carburant (masse carburant/masse air), est comprise entre deux limites :

Pauvre = $1/25$

Riche = $1/15$.

Ces deux limites sont en fonction de la pression qui règne dans la chambre et la vitesse d'écoulement d'air.

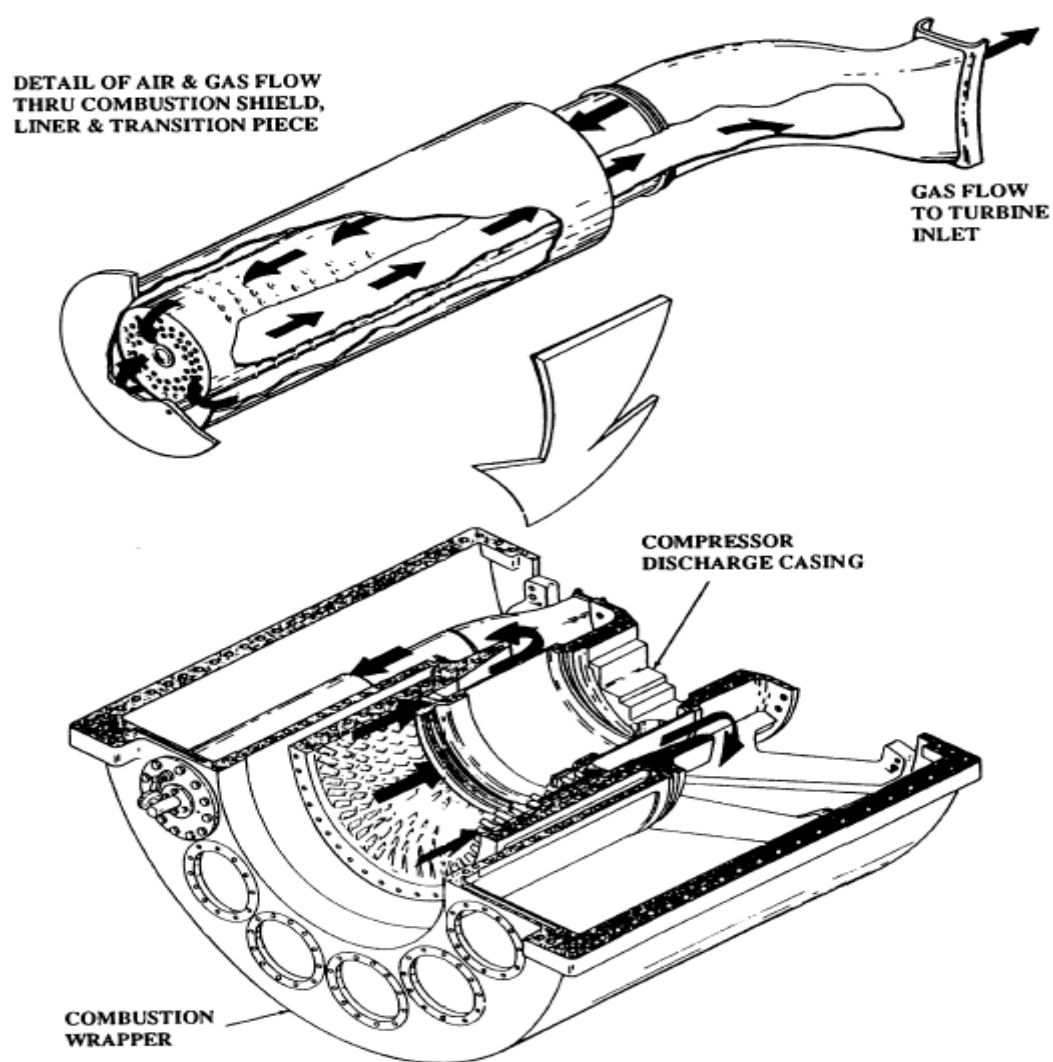


Figure.II.3: Emplacement des chambres de combustion

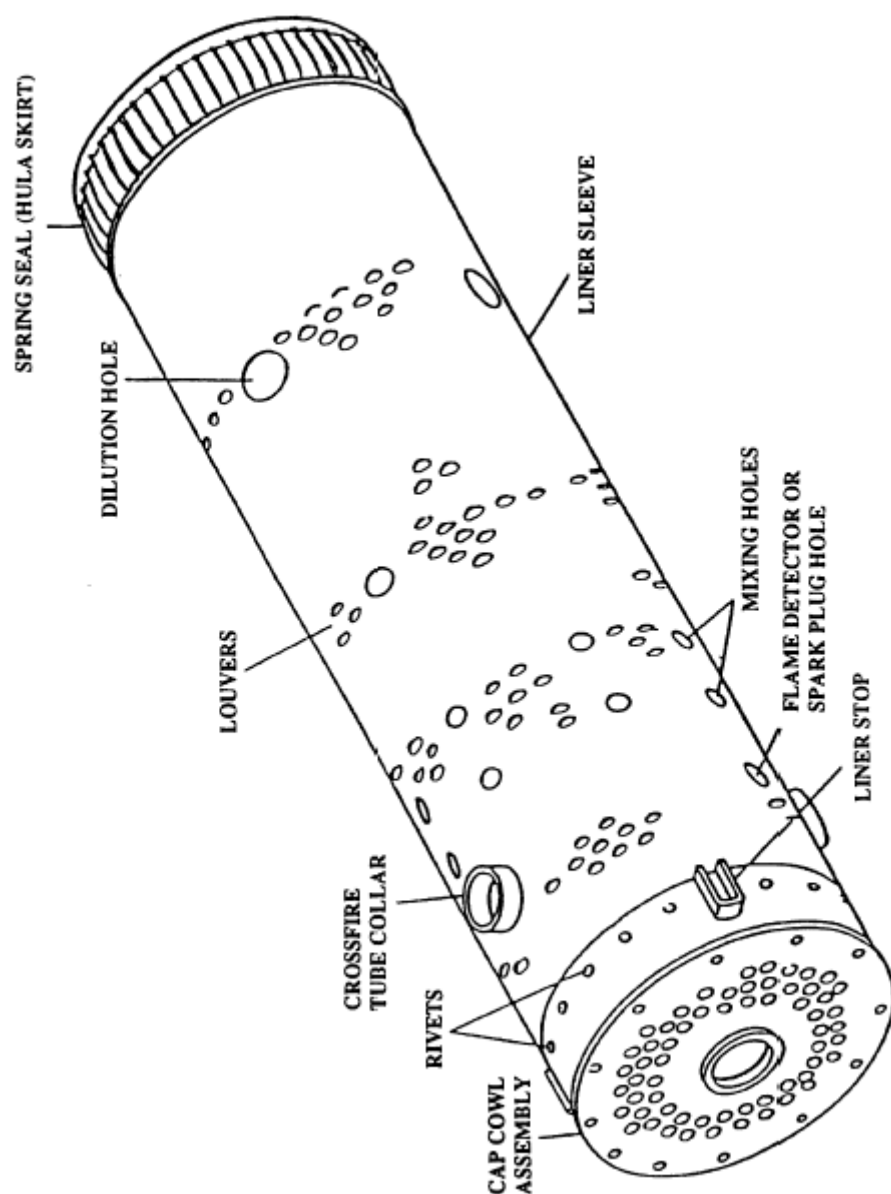


Figure.II.4: Tube à flammes (chambre intérieure)

3- Section turbine :

De même que la turbine à vapeur, la turbine à gaz est un appareil à écoulement continu, pour un régime de fonctionnement donné, l'état des fluides, en un point quelconque de la turbine, est donc invariable. Comme l'écoulement du fluide a lieu avec une vitesse élevée (dans l'ordre de plusieurs mètres par seconde).

La durée de séjours du fluide dans la turbine est très réduite de sorte que les échanges de chaleur entre le fluide et la parois sont pratiquement négligeables et l'écoulement peut, par conséquent être considéré comme adiabatique ou isentropique qui conforme à la relation :

$$PV^n = \text{Cte.}$$

L'expression de vitesse sera en fonction de la chute d'enthalpie l'équation d'énergie sera :

$$V_1^2/2 - V_2^2/2 = H_1 - H_2 \quad V_1, V_2 : \text{vitesse d'entrée et sortie}$$

H : énergie enthalpie

Et comme la vitesse de sortie est presque nulle, car l'énergie cinétique sera transformée en énergie mécanique.

$$V = (2\Delta H)^{1/2} \text{ [m/s]}$$

$$T_1/T_2 = (P_1/P_2)^{n-1/n} \quad T_1, T_2 : \text{températures d'entrée sortie}$$

P_1, P_2 : pressions d'entrée sortie

Alors :

$$T_2 = (P_2/P_1)^{n/n-1} / T_1$$

3-1- Etage de turbine :

Les relations précédentes permettent de déterminer les sections de passage nécessaire pour assurer l'écoulement d'un débit et masse donnés des fluides dans des conditions définies par : les pressions et les températures d'entrée/ sortie.

Les canaux dans les quels cet écoulement à lieu sont disposés de manière réaliser le mieux possible une transformation de l'énergie cinétique des fluides en travail mécanique.

Cette transformation à lieu dans un ou plusieurs étages, chacun de ceux-ci se compose de grille d'aubes cylindrique et on appel *aubages fixes* (grille fixe) et *aubages mobiles* (grille mobile).

Le fonctionnement d'un étage de turbine peut être conçu de deux manières. Dans le premier cas, toute la détente à lieu dans l'aubage fixe, le rôle de l'aubage mobile étant d'utiliser l'énergie cinétique engendrée par cette détente (transformation de l'énergie cinétique en énergie mécanique); et on appel *un étage à action*. Dans le second, le fluide ne se détente dans l'aube fixe que partiellement, le reste de la détente ayant lieu dans l'aubage mobile.



Figure.II.5: roue de turbine

3-2- Etude des grilles d'aubes :

Le fonctionnement des turbines est fonder sur la déviation tangentielle du flux tant par le stator que par le rotor, et que le rôle des grilles d'aubes est de réaliser ces dérivations.

Le fonctionnement d'une grille d'aubes est donc -généralement- de modifier un écoulement en transforme les vitesse relatives d'entrées en des vitesses de sortie différentes.

L'aube est un obstacle à profil aérodynamique plongé dans l'écoulement pour en modifier les vitesses et corrélativement faire apparaître des efforts.

Les grilles sont formées en assemblant des aubes identiques déduites les unes des autres par des déplacements géométriques égaux.

Il existe plusieurs types de grilles d'aubes :

- parallèles
- plant radiant
- cylindriques
- toriques.

L'écoulement du fluide dans une turbine axiale ne peut être considéré comme bi dimensionnelle, en effet, l'accroissement du volume massique du fluide au cours de la détente conduit à offrir une section de passage de plus en plus grande et à faire varier la longueur des aubes fixes et mobiles ; cette circonstance suffit pour introduire des composantes radiales.

C'est la section où les gaz chauds, venant des chambres de combustion, sont utilisés pour produire de l'énergie mécanique. Elle comprend le corps de la turbine, directrices premier et deuxième étage, roues HP et BP et l'ensemble de diaphragmes.

3-3- Stator de la turbine :

La caisse de la turbine est un des principaux éléments structuraux de la turbine à gaz, elle est boulonnée extérieurement à l'avant des entretoises du corps de refoulement du compresseur et extérieurement à l'arrière au corps d'échappement. Dans cette caisse se trouvent les ensembles suivants, qui établissent la veine des gaz de la chambre de combustion, au cadre d'échappement, en passant par les roues de la turbine: les cloisons et les segments de protection de la directrice de premier étage, le segment de la paroi interne et externe de la veine des gaz entre étages, le diaphragme et l'étanchéité air du deuxième étage, et enfin les cloisons et les segments de protection du deuxième étage (IGV). La bague de commande qui actionne les cloisons de la directrice de deuxième étage à angle variable, est soutenue par des galets montés sur la paroi extérieure de la caisse turbine.

La paroi interne de la caisse de la turbine est isolée de la veine des gaz chaud, sauf aux surfaces nécessaires de positionnement de la directrice et des segments de protection.

L'air de refoulement du compresseur, qui fait au-delà des segments de la directrice de premier étage dans l'espace entre la paroi isolée de la caisse de la turbine et la paroi extérieure de la veine des gaz entre étages, contribue à dissiper la chaleur dégagée par la paroi extérieure de la veine des gaz. L'air ambiant passe par des trous pour refroidir l'arrière de la caisse de la turbine et les entretoise du cadre d'échappement.

3-3-1- Directrices :

La directrice du premier étage comprend les segments d'aubes dans une bague de retenue, soutenue dans la veine des gaz par un dispositif de fixation de la caisse de la turbine. La conception de

l'ensemble de la directrice et la disposition de son support dans la caisse tiennent compte des dilatations thermiques due aux gaz chauds, et maintient l'ensemble correctement aligné dans la veine des gaz.

La bague retenue de la directrice est fondue en deux sur le plan horizontal et les deux moitiés sont réunies par des boulons. Les segments d'aubes de la directrice ont un profil aérodynamique situé entre une paroi latérale interne et une autre externe. Ces cloisons sont creuses avec

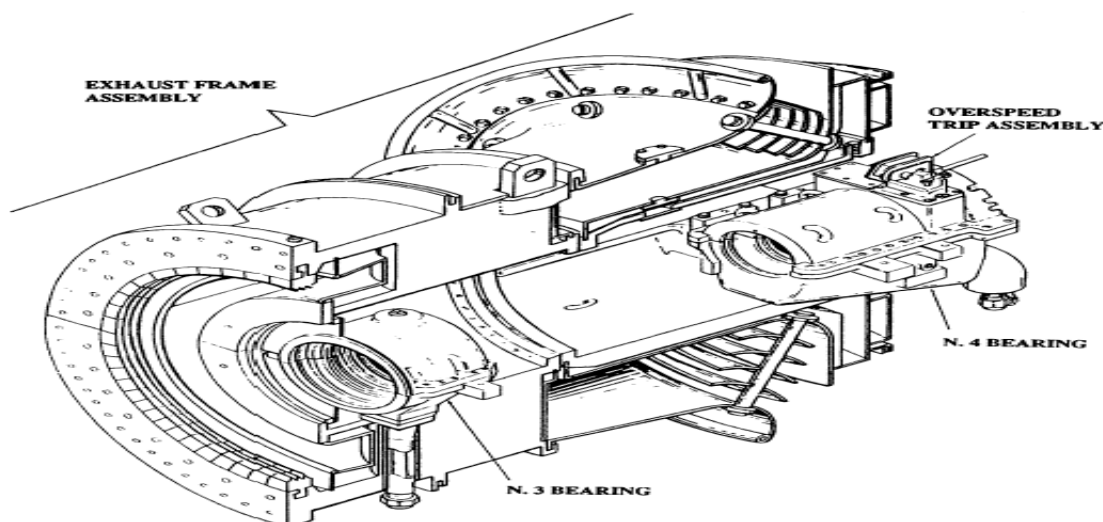


Figure.II.6: stator de la turbine BP

des trous de purge traversant la paroi de séparation à proximité du bord de fuite ce qui permet le passage d'air de refroidissement des directrices.

La directrice du deuxième étage comprend les cloisons (déflecteurs) formant une directrice à angle variable dans l'espace circulaire de la vanne des gaz, juste à l'avant de la turbine de deuxième étage. Ces cloisons peuvent être en même temps grâce à deux arbres saillant dans la caisse de la turbine à travers des douilles. Des leviers, fixés à l'extrémité des arbres, sont reliés par des maillons à des bagues de commande qui tourne sous l'action du cylindre hydraulique.

3-3-2- Ensemble diaphragme:

Le diaphragme est soutenu entre les roues de la turbine de premier étage et celles de la turbine de deuxième étage par des chevilles traversant la caisse de la turbine. Ce diaphragme est une pièce cylindrique fondue en deux horizontalement; un joint d'air est installé dans une rainure de diaphragme pour séparer les deux étages de la turbine et forme l'espace roue arrière de la turbine premier étage et l'espace roue avant de la turbine de deuxième étage. L'air de refroidissement est envoyé dans cet espace pour le refroidissement des roues. Les flasques de du diaphragme comportent les joints des roues qui empêche les gaz chauds de s'échapper dans l'espace roues.

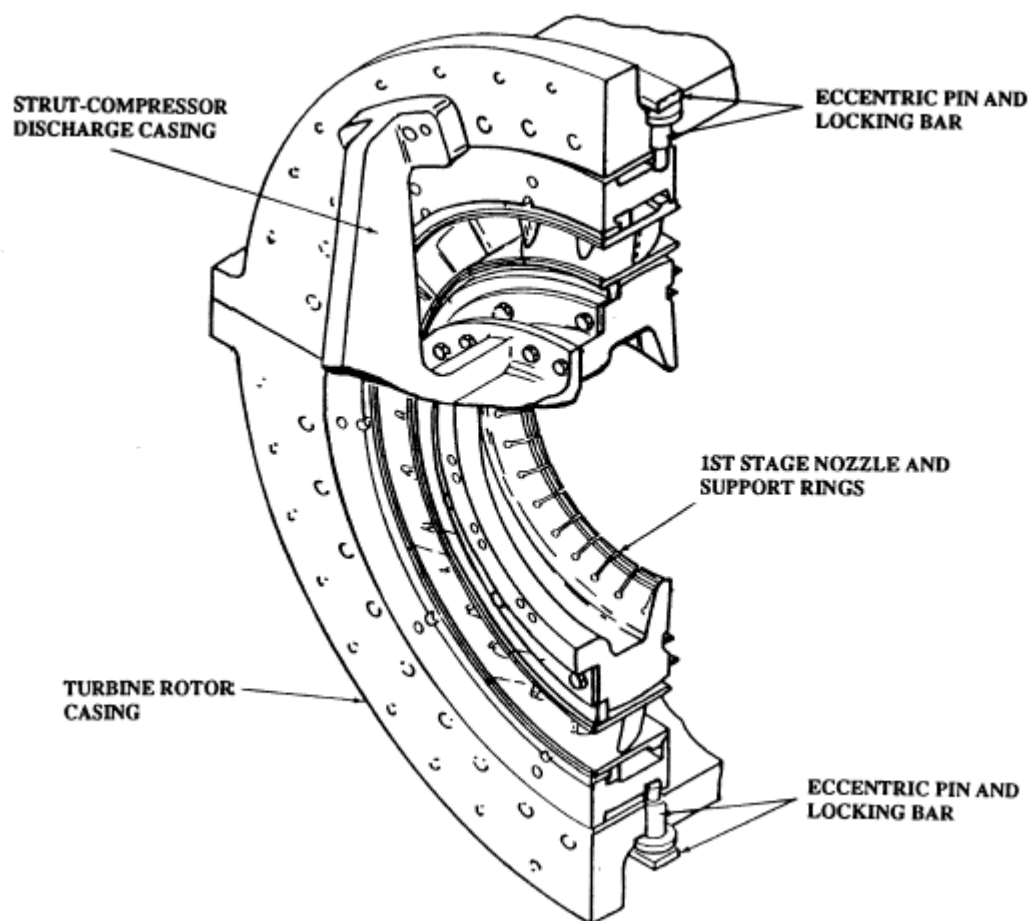


Figure.II.7: Ensemble directrice premier étage

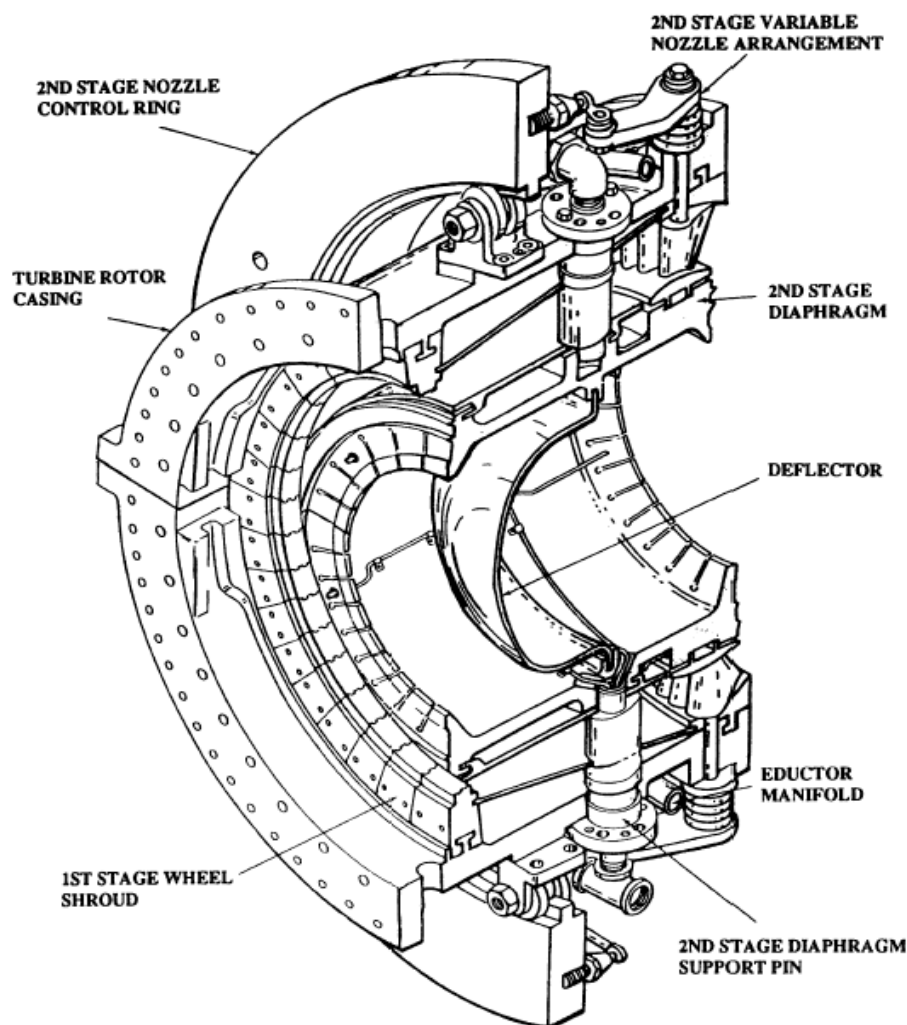


Figure.II.8: Ensemble directrice deuxième étage

3-4- Rotor de la turbine :

La turbine à gaz dispose de deux arbres séparés: celui de premier étage, (turbine haute pression) qui entraîne le compresseur axial et les accessoires entraînés avec lui, et le rotor de la turbine de deuxième étage (basse pression) qui entraîne la charge.

Les deux rotors de la turbine sont alignés dans la section turbine, mais sont mécaniquement indépendants l'un de l'autre, ce qui permet aux deux arbres de tourner à des vitesses différentes.

La roue de premier étage est boulonnée directement sur l'arrière du rotor du compresseur de manière à former un rotor haute pression.

La roue de deuxième arbre est boulonnée sur un arbre pour former le rotor de la turbine basse pression (de puissance). ce rotor est soutenu par deux paliers: coussinet lisse N°3 situé à l'avant du cadre d'échappement et le palier de butée et le coussinet lisse N°4 situés à l'arrière du cadre de l'échappement.

L'arbre de la turbine de puissance dispose d'une masse de survitesse qui déclenche mécaniquement le système de commande de la turbine à gaz en cas de survitesse; le rotor est équilibré avec la masse de survitesse avant le montage final, et il suffira d'une légère correction pour obtenir l'équilibre final.

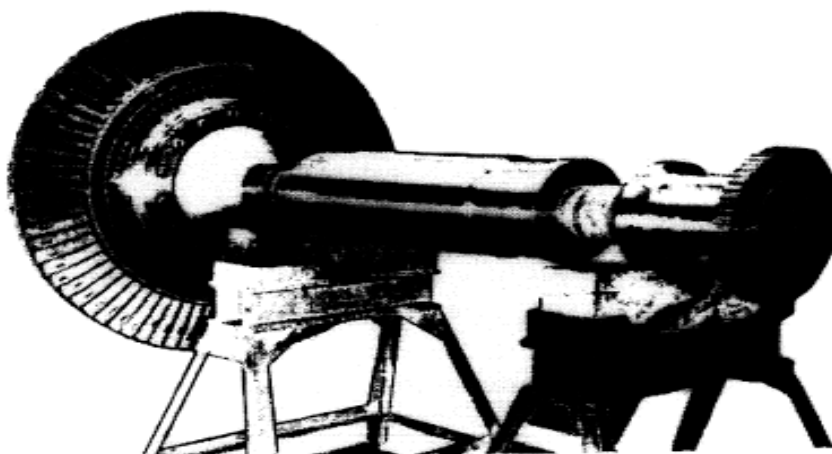


Figure.II.9: rotor de la BP

3-4-1- Aubes de la turbine:

Les aubes de la turbine sont montées dans les roues, dans des queues d'aronde axiales, en forme de sapin avec des couvercles installés sur les "échasses" de l'aube. un couvercle sur deux est un couvercle de fermeture; les aubes sont maintenues en place par sur une cheville Twistlock fixée par empilage.

3-4-2- Les paliers :

La turbine à gaz a quatre paliers lisses soutenant les deux rotors. Ces paliers sont numérotés 1, 2, 3, 4; le N°1 se trouve dans le corps d'admission du compresseur, N°2 dans le corps de refoulement du compresseur, les paliers N°3 et N°4 se trouvent dans des logements séparés à la partie arrière du déflecteur.

4- L'échappement:

La canalisation d'échappement de la TG comporte une déviation de l'horizontale à la verticale pour réduire les pertes de charge lors du changement de direction à l'écoulement. C'est ainsi qu'on utilise d'abord un diffuseur pour décélérer l'écoulement qui fait raccordement avec la canalisation verticale. La section d'échappement comporte des dispositifs acoustiques (silencieux) pour réduire le bruit qui sort avec les gaz d'échappement.



Fig.II.9:Echappement de turbine

CHAPITRE III

THEORIE DES TURBINES A GAZ

Diagrammes des turbines à gaz:

L'étude du cycle thermodynamique décrit réellement dans une turbine à gaz devrait tenir compte de toutes les imperfections des différentes parties de cette machine ; en effet, l'intervention des rendements du compresseur et de la turbine. Le rendement ainsi défini, qui est le rendement isentropique, est désigné par η_s . Dans le diagramme T, S sont représentés à la fois le cycle idéal de JOUL (1, 2a, 3, 4a, 1) et le cycle réel (1, 2, 3, 4, 1).

1- Diagramme T S :

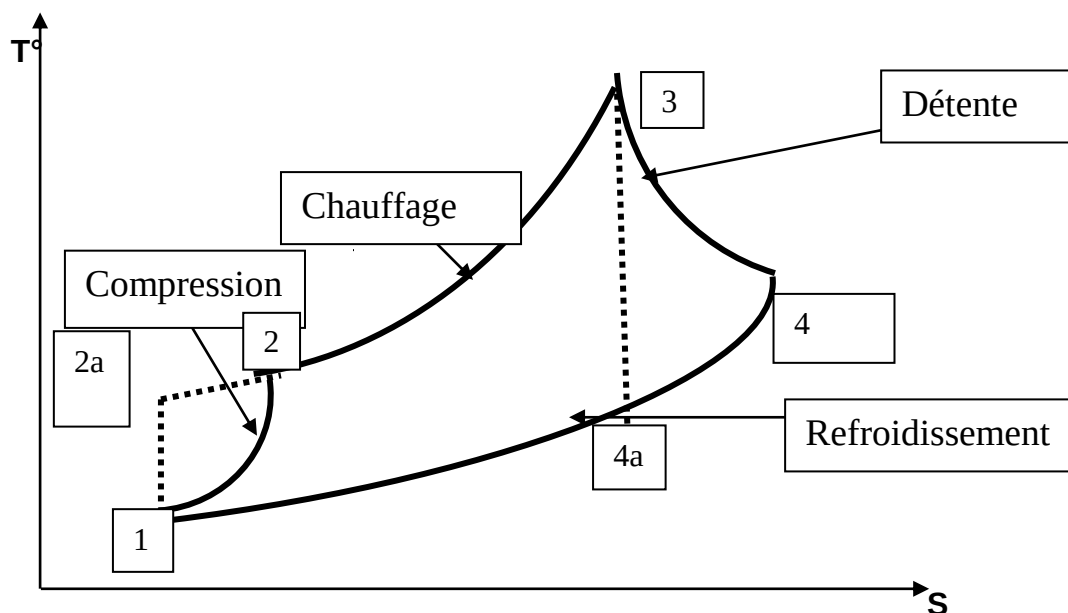


Fig.III.1 diagrammes TS d'un cycle de joule

Comparaison des cycles : idéal (1, 2a, 3, 4a, 1) et réel (1, 2, 3, 4, 1)

Considérons l'évolution de 1 kg de gaz. Le long de l'arc d'adiabate 1-2, il n'y a pas d'échange de chaleur entre le fluide évoluant et le milieu extérieur, mais il y a un travail de frottement W_{FC} , de sorte que le travail absorbé par le compresseur a pour expression :

$$W_C = \int_1^2 V dp + w_{fc} = H_2 - H_1 \text{ en } \frac{J}{kg}$$

Le long de l'arc d'adiabate 3-4 , en désignant par W_{FT} le travail de frottement dans la turbine, le travail fourni par la détente s'exprimera par :

$$W_T = \int_4^3 V dp - w_{ft} = H_3 - H_4 \text{ en } \frac{j}{kg}$$

Le travail moteur total fourni par l'installation est donc

$$W = W_T - W_C = \int_4^3 V dp - \int_1^2 V dp - (w_{fc} + w_{ft}) \text{ en } \frac{j}{kg}$$

Or :

$$\int_4^3 V dp - \int_1^2 V dp = \oint_c V dp$$

L'intégrale $\oint_c V dp$ étant calculée le long du cycle 1-2-3-4 donc équivalente à l'aire délimitée par ce cycle.

$$\oint_c V dp + w_f = (H_3 - H_4) - (H_2 - H_1) \text{ en } \frac{j}{kg}$$

En désignant par W_F la somme des travaux de frottement dans le compresseur et la turbine.

La quantité de chaleur q_1 fournit au fluide évoluant au cours de la combustion 2-3 est :

$$q_1 = H_3 - H_2$$

de sorte que le rendement thermique du cycle est égal à :

$$\eta_{th} = \frac{W}{q_1} = \frac{(H_3 - H_4) - (H_2 - H_1)}{H_3 - H_2}$$

Or, W peut s'écrire sous la forme :

$$(H_3 - H_2) - (H_4 - H_1) = q_1 - q_2$$

En désignant par q_2 la quantité de chaleur cédée à l'atmosphère pendant l'échappement 4-1 ; de sorte que le rendement thermique peut aussi s'exprimer par :

$$\eta_{th} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

Admettons que la chaleur massique du gaz évoluant puisse être considérée comme constante, ce qui, sans être exact, l'est suffisamment pour la discussion que nous envisageons. On peut écrire :

$$q_1 = C_p (T_3 - T_2),$$

$$q_2 = C_p (T_4 - T_1),$$

$$\text{d'où : } \eta_{th} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \dots\dots\dots (1)$$

Si nous considérons le diagramme théorique 1-2_a-3-4_a, son rendement a pour expression, avec la même hypothèse que précédemment relativement à C_p :

$$\eta'_{th} = 1 - \frac{T_{4a} - T_1}{T_3 - T_{2a}} \dots\dots\dots (2)$$

Or T₂ > T_{2a} et T₄ > T_{4a} de sorte que le rapport $\frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)}$ a son numérateur plus grand que et son dénominateur plus petit que ceux du rapport $\frac{(T_{4a} - T_1)}{(T_3 - T_{2a})}$.

Il en résulte que le rendement thermique réel exprimé par (1) est plus petit que le rendement thermique théorique (2).

Examinons de plus près ce rendement réel. Désignons par η_c et η_T les rendements internes isentropiques respectifs du compresseur et de la turbine ; on peut écrire :

$$W_C = \frac{H_{2a} - H_1}{\eta_c}$$

$$W_T = (H_3 - H_{4a}) \eta_T$$

D'où pour le cycle réel :

$$\eta_{th} = \frac{W}{q_1} = \frac{W_T - W_C}{q_1} = \frac{(H_3 - H_{4a})\eta_T - \frac{H_{2a} - H_1}{\eta_c}}{H_3 - H_2} \dots\dots\dots (3)$$

L'expression $\eta_{th} = 1 - \frac{1}{r^{(\gamma-1)/\gamma}}$ montre que celui-ci augmente indéfiniment avec r . Il n'en est plus de même pour le rendement thermique réel, qui, comme nous allons le montrer passe par un maximum pour une valeur déterminée du rapport de compression r .

En admettons toujours la constance de la valeur de C_p , on a :

$$\begin{aligned} H_3 - H_{4a} &= C_p (T_3 - T_{4a}) \\ H_{2a} - H_1 &= C_p (T_{2a} - T_1) \\ H_3 - H_2 &= C_p (T_3 - T_2) \end{aligned}$$

d'où en substituant dans (3)

$$\eta_{th} = \frac{(T_3 - T_{4a})\eta_T - \frac{T_{2a} - T_1}{\eta_C}}{T_3 - T_2} \dots\dots\dots (4)$$

Remarquons d'abord que, des quatre températures T_1, T_2, T_3, T_4 , correspondent aux sommes du cycle théorique, deux sont données : T_1 , température de l'air ambiant, et T_3 température maximale admissible pour les métaux dont est constituée la turbine.

Posons $T_3 / T_1 = n$

Or, dans l'évolution entropique 1-2_a, on a :

$$\frac{T_{2a}}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(\gamma-1)/\gamma}$$

et dans l'évolution isentropique 3-4_a :

$$\frac{T_3}{T_{4a}} = \left(\frac{p_3}{p_4} \right)^{(\gamma-1)/\gamma},$$

d'où, puisque $p_2 = p_3$ et $p_4 = p_1$:

$$\frac{T_{2a}}{T_1} = \frac{T_3}{T_{4a}} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} = r^{(\gamma-1)/\gamma}$$

Posons, pour simplifier $r^{(\gamma-1)/\gamma} = m$. On en déduit :

$$T_{2a} = mT_1$$

$$T_{4a} = \frac{T_3}{m}$$

D'où : $T_3 - T_{4a} = \left(1 - \frac{1}{m}\right) T_3 \dots\dots\dots (5)$

$$T_{2a} - T_1 = (m - 1) T_1 \dots\dots\dots (6)$$

Quant à la différence $T_3 - T_2$, elle peut s'écrire :

$$T_3 - T_2 = (T_3 - T_1) - (T_2 - T_1)$$

Or, en introduisant le rendement interne isentropique du compresseur, on a, entre les enthalpies, le rapport :

$$H_2 - H_1 = \frac{H_{2a} - H_1}{\eta_C}$$

D'où :

$$T_2 - T_1 = \frac{T_{2a} - T_1}{\eta_C}$$

C'est-à-dire, d'après (6)

$$T_2 - T_1 = \frac{(m-1)T_1}{\eta_C} \dots\dots\dots (7)$$

En substituant les expressions (5), (6) et (7) dans (4), on aura :

$$\eta_{th} = \frac{\left(1 - \frac{1}{m}\right) T_3 \eta_T - \frac{m-1}{\eta_C} T_1}{(T_3 - T_1) - \frac{m-1}{\eta_C} T_1} = \frac{(\eta_T \eta_C n - m)(m-1)}{\eta_C m(n-1) - m(m-1)} \dots\dots\dots (8)$$

Dans cette relation, n, rapport des températures T_3 et T_1 , est constants, et la variable est m.

L'expression (8) se met aisément sous la forme :

$$\eta_{th} = \frac{m^2 - (p+1)m + p}{m^2 - Q_m}$$

2- Diagramme P V :

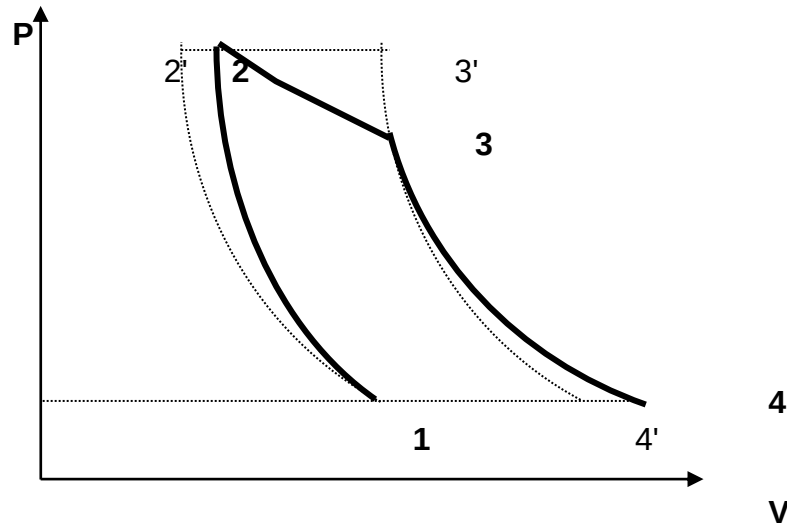


Fig.III.2 diagrammes PV d'un cycle de joule

1, 2, 3, 4 Diagramme réel

1, 2', 3', 4' Diagramme théorique

- Rendement adiabatique compresseur $\frac{T'_2 - T'_1}{T_2 - T_1}$

- Rendement adiabatique turbine $\frac{T_3 - T_4}{T_3 - T'_4}$

Rendement adiabatique de combustion $\frac{M_a C_p (T_3 - T_2)}{M_c C_v}$

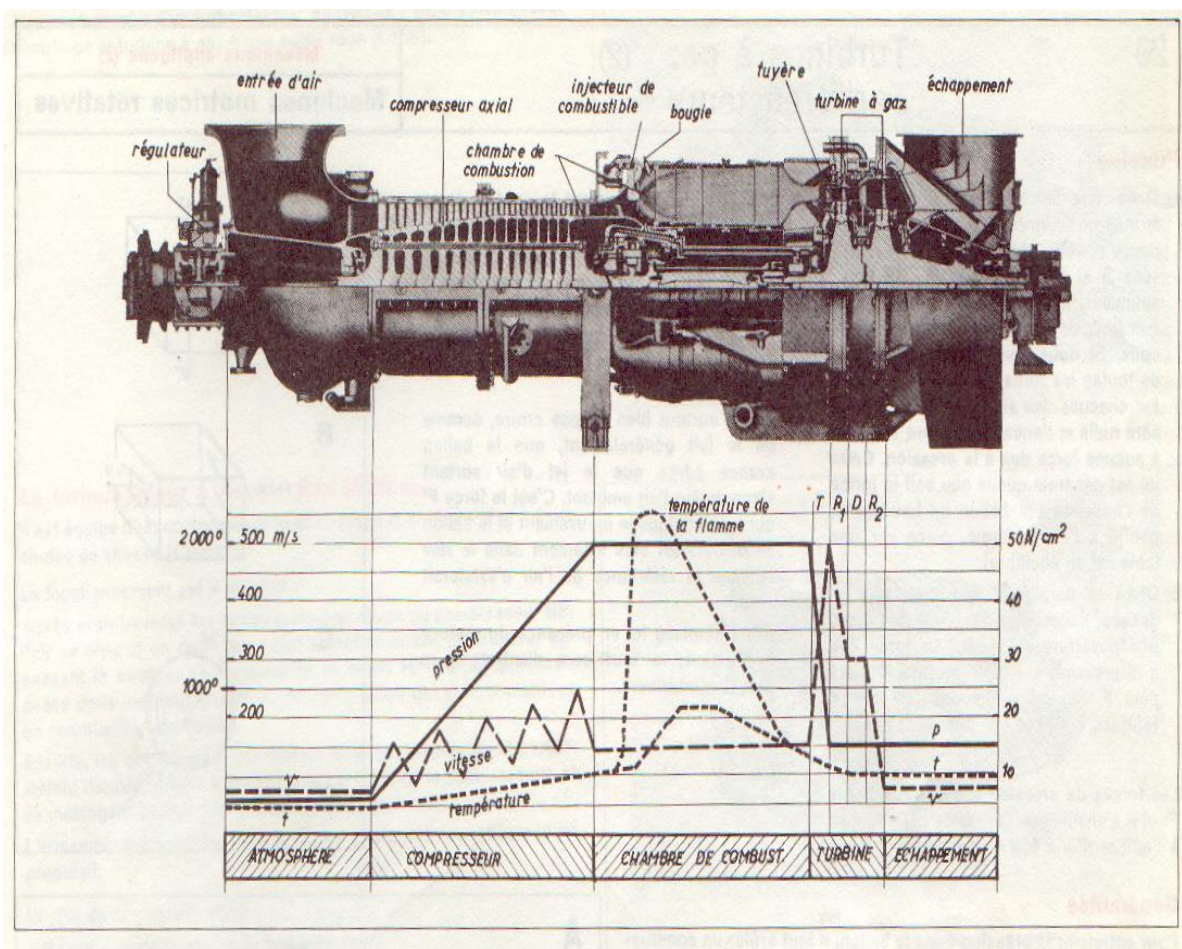


Fig.III.3 diagrammes des variations à la pression, la vitesse et la température

CHAPITRE IV

Exploitation et contrôle de la turbine

1- Système de lancement:

1-1-Généralités :

Avant que la turbine à gaz puisse être activée et démarrée, elle doit être tournée ou démarrée à la main par équipement accessoire. On peut accomplir tout cela par un moteur à induction électrique en opérant par un convertisseur de couple afin de pourvoir le couple de démarrage et la vitesse nécessaires pour le démarrage de la turbine. Les composants du système de démarrage prévoient aussi une rotation de vitesse lente de la turbine pour le refroidissement après l'arrêt de la même.

Les composants du système de démarrage du moteur électrique comprennent : le moteur d'induction, le convertisseur de couple avec rochet, embrayage de démarrage et un système de rochet hydraulique.

En outre il existe de nombreux composants supplémentaires nécessaires pour la mise en séquence et le fonctionnement du système de démarrage de la turbine.

1-2- Description fonctionnelle:

Pendant la séquence de lancement, la turbine à gaz est actionnée par le réducteur auxiliaire par le moteur électrique de lancement, convertisseur de couple, réducteur de sortie et par l'embrayage de lancement. L'assemblage de l'embrayage de lancement et les cylindres d'engrènement sont assemblés sur l'assemblage des réducteurs auxiliaires. Le réducteur auxiliaire est toujours couplé à l'arbre du compresseur de la turbine par un accouplement flexible.

Le convertisseur de couple transmet le couple de sortie du moteur électrique au réducteur auxiliaire de la turbine à gaz

par un réducteur d'inversion. La pompe de charge, actionnée par l'arbre d'admission du convertisseur de couple, fournit huile de graissage de turbine au convertisseur de couple.

Au début l'huile est fournie à la pompe de charge du convertisseur de couple par le collecteur de l'huile de graissage. Après l'accumulation de pression d'huile de fonctionnement par la pompe de charge, la pompe reçoit l'huile nécessaire du réservoir de l'huile de graissage moyennant un filtre.

Une soupape de contrôle chargée par le ressort dans une ligne de décharge du collecteur d'huile de graissage maintient une pression d'huile positive sur la pompe de décharge pendant son fonctionnement. L'huile retourne au réservoir par des drainages

1-3- Vérification avant le lancement quotidien :

- vérifier le niveau d'huile dans le réservoir.
- vérifier la pression d'alimentation de carburant.
- chercher les fuites d'huile ou de carburant autour de la turbine, déterminer la cause et l'éliminer.
- examen visuel de serrage des écrous des vis et d'autres dispositifs de fixation.
- vérifier le serrage et les conduites d'isolation de toutes les connexions électriques et chercher les marques de corrosion.
- chercher la possibilité d'échappement sur tous les tuyaux.
- vérifier la grille et les filtres d'entrée d'air de la turbine.
- vérifier le circuit d'échappement.
- retirer la poussière, glace et autre matières qui pourraient obturer le passage d'entrée d'air et les événements.
- vérifier le niveau d'huile des graisseurs.
- vérifier qu'il n'existe pas d'obstructions dans les raccords et les conduites

1-4- Vérifications pendant l'exploitation :

- repérer les vibrations ou les bruits
- vérifier le changement possible du temps d'accélération au cours du lancement
- vérifier l'accroissement possible de la température d'échappement de la turbine
- repérer les signes de conditions de fonctionnement inhabituelles (décoloration, fissures, frottements, vibrations,..)
- vérifier le niveau d'huile toutes les 24H, ne pas trop remplir le réservoir d'huile car il peut être injecté ce qui entraîne un balayage dans le circuit du rotor.

1-5- Réglage du régime :

On peut régler le régime de la turbine pour obtenir une fréquence voulue, en mettant le sélecteur du régime sur R (augmentation) ou L (baisse).

2- Emballements :

A faible charge, les turbines à gaz sont affectées par des emballements ou des ralentissements, à un certain rapport de pression ou de charge, il existe un flux minimum avec le quel un fonctionnement stable peut être maintenue.

Dans cette limite instable, pratiquement, un reflux momentané de gaz se produit, les pressions et besoins de puissance changent instantanément et un contrôle satisfaisant est impossible.

Le type à arbre unique devrait être moins sujet aux emballements en raison de la masse rotative plus importante. Avec le type à arbres séparés, l'arbre du compresseur d'air sera plus susceptible de s'emballer sur une diminution de

charge momentanée et se déclenche en sur vitesse avant que le fonctionnement puisse être stabilisé.

3- Reflux :

Lors du choix des turbines à gaz destinées à entraîner des machines centrifuges, on doit s'assurer que le sens » de rotation de l'arbre de sortie de la turbine est compatible avec le sens de rotation de la machine centrifuge.

Il faut prendre des dispositions pour empêcher l'ensemble tourner à l'inverse, ce qui peut se produire si l'ensemble est brusquement arrêté par un des dispositifs de sécurité, ce qui entraînera des dommages considérables.

4- Pompage du compresseur d'air :

Si un pompage se produit, ne pas attendre l'action de circuit de contrôle ; arrêter la turbine immédiatement.

Toutes les turbines à gaz sont soumises à un pompage du compresseur dû au mauvais fonctionnement des circuits du carburant ou d'air. Le pompage de la turbine est révélé par les bruits et les conditions suivants :

Le pompage peut être indiqué par le manque d'accélération de la turbine, associé à l'accroissement des températures d'échappement, et des battements ou fluctuations d'air.

Le pompage de régime supérieur, peut être indiqué par un rugissement ou des bruits d'éclatement ainsi que le manque d'accélération de la turbine au régime nominal.

5- Absence de combustion :

Cette condition est due à une faute de la bougie d'allumage qui n'enflamme pas le mélange comburant pendant le lancement essayé. Cette faute n'entraîne pas l'accroissement de la température d'échappement mais un manque d'accélération de la turbine.

Dans ce cas, la turbine s'arrêtera automatiquement.

Il faut attendre que la turbine soit complètement arrêtée avant de tenter à nouveau lancement pour avoir vidanger la chambre de combustion et le collecteur d'échappement de tout carburant.

6- Démarrage :

Une turbine à gaz doit être amenée à son régime par un démarreur auxiliaire. Dans la turbine à arbre unique, ce démarreur doit faire démarrer et amener à leur régime : la turbine à compression d'air, le réducteur le réducteur et la machine réceptrice ; on doit prendre des dispositions pour supprimer toute charge sur la machine réceptrice pour faciliter ce démarrage.

On assure pour cela que les volets des cintres de la capacité sont bien fermés, il peut quelques fois nécessaire de dépressuriser le système de réfrigération.

Dans le type à arbres séparés, seul le compresseur d'air et sa partie turbine doivent être démarrer et monter en régime. Le problème de démarrage en est grandement facilité, le reste de l'ensemble commencera à tourner lorsqu'un couple suffisant sera appliqué aux aubes de sa partie turbine. À ce moment, la turbine principale peut être bien à son régime et le combustible allumé.

Pour le démarrage, des moteurs à piston, des turbines à vapeur, des moteurs électriques, hydrauliques pneumatiques peuvent être utilisés.

7- Procédure d'arrêt normal :

Déclencher le disjoncteur de puissance afin de débrancher la génératrice appuyer sur le bouton d'arrêt (la pompe d'huile se met en marche et la turbine ralentie et s'arrête. La pompe de

poste lubrification fonctionne pendant 30 minutes, environ, puis s'arrête automatiquement).

Mettre le sélecteur principal à la position HORS CIRCUIT.

8- Arrêt d'urgence :

Presser le bouton d'arrêt et mettre le sélecteur principal à la position HORS CIRCUIT ; les contacts de relais de lancement auxiliaire transmettent un signal de déclenchement du disjoncteur de puissance.

9- Causes de mauvais fonctionnement :

9-1- Paliers chauds :

- Mauvais alignement de l'arbre.
- Faible pression d'huile.
- Paliers rugueux.
- Huile de mauvaise qualité ou ne convenant pas.
- Poussées axiales.
- Vibrations.

9-2- Vibrations :

- mauvais alignement de l'arbre.
- ensemble qui n'est pas à niveau.
- jeu dans les paliers.
- ensemble mal équilibré.
- régulateur mal placé.

10- Problèmes d'exploitation :

10-1- Vérification avant le lancement quotidien :

- vérifier le niveau d'huile dans le réservoir.
- vérifier la pression d'alimentation de carburant.

- chercher les fuites d'huile ou de carburant autour de la turbine, déterminer la cause et l'éliminer.
- examen visuel de serrage des écrous des vis et d'autres dispositifs de fixation.
- vérifier le serrage et les conduites d'isolation de toutes les connexions électriques et chercher les marques de corrosion.
- chercher la possibilité d'échappement sur tous les tuyaux.
- vérifier la grille et les filtres d'entrée d'air de la turbine.
- vérifier le circuit d'échappement.
- retirer la poussière, glace et autre matières qui pourraient obturer le passage d'entrée d'air et les événements.
- vérifier le niveau d'huile des graisseurs.
- vérifier qu'il n'existe pas d'obstructions dans les raccords et les conduites.

10-2- Vérifications pendant l'exploitation :

- repérer les vibrations ou les bruits.
- vérifier le changement possible du temps d'accélération au cours du lancement.
- vérifier l'accroissement possible de la température d'échappement de la turbine.
- repérer les signes de conditions de fonctionnement inhabituelles (décoloration, fissures, frottements, vibrations,..).
- vérifier le niveau d'huile toutes les 24H, ne pas trop remplir le réservoir d'huile car il peut être injecté ce qui entraîne un balayage dans le circuit du rotor.

10-3- Réglage du régime :

On peut régler le régime de la turbine pour obtenir une fréquence voulue, en mettant le sélecteur du régime sur R (augmentation) ou L(baisse).

Conclusion

Dans cette étude on a défini le mode de fonctionnement de turbine à gaz et les conditions des bases de classification de la turbine à gaz , et aussi les différents domaines d'utilisation . et on a défini les principaux organes de la turbine à gaz.

On conclut à partir de cette étude les avantages suivants :

- Puissance massique et volume très élevée du fait du fonctionnement continu.

Simplicité apparente de construction(un rotor dans un carter et un brûleur) et équilibrage (peu de vibration).

- Aptitude à la récupération de chaleur (cogénération).
- Longévité en marche stationnaire.
- Aptitude potentielle à utiliser des combustibles variés et de moindre qualité (gaz pauvre, fuel lourd).

Malgré ces avantages, le coût de construction et de maintenance de la turbine à gaz très élevés.

Dans cette étude on a basé sur le côté technique (fonctionnement) de la turbine à gaz et concernant le côté calcul ou théorique on va l'étudier plus profondément par la suite.

bibliographique graphique

(1) Manuel turbine à gaz –revue Nouvopingo-<<GE>>.

(2) Technique de l'ingénieur, (BL3 turbomachine).

(3) Turbine à gaz (thermodynamique)(ifp).

(4) KARL WORRLLEN. Combinaison des turbines gaz et vapeur, les presses de l'université darmstadt (1995).

(5) P.CHAMBADAL, la turbine à gaz 1956.

(6) Etude thermodynamique d'une à gaz, étudié par A.AMARI et A.DAHMANI encadré par TALBI, 1988.