

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université SAAD DAHLEB BLIDA
Faculté des sciences de l'ingénieur
Département d'aéronautique
Option : Propulsion

Projet de fin des études en vue de l'obtention de diplôme des études
Universitaires Appliquées en Aéronautique

TOME

ETUDE D'ENTRETIEN ET
REPARATION DU ROTOR D'UNE
TURBINE A GAZ

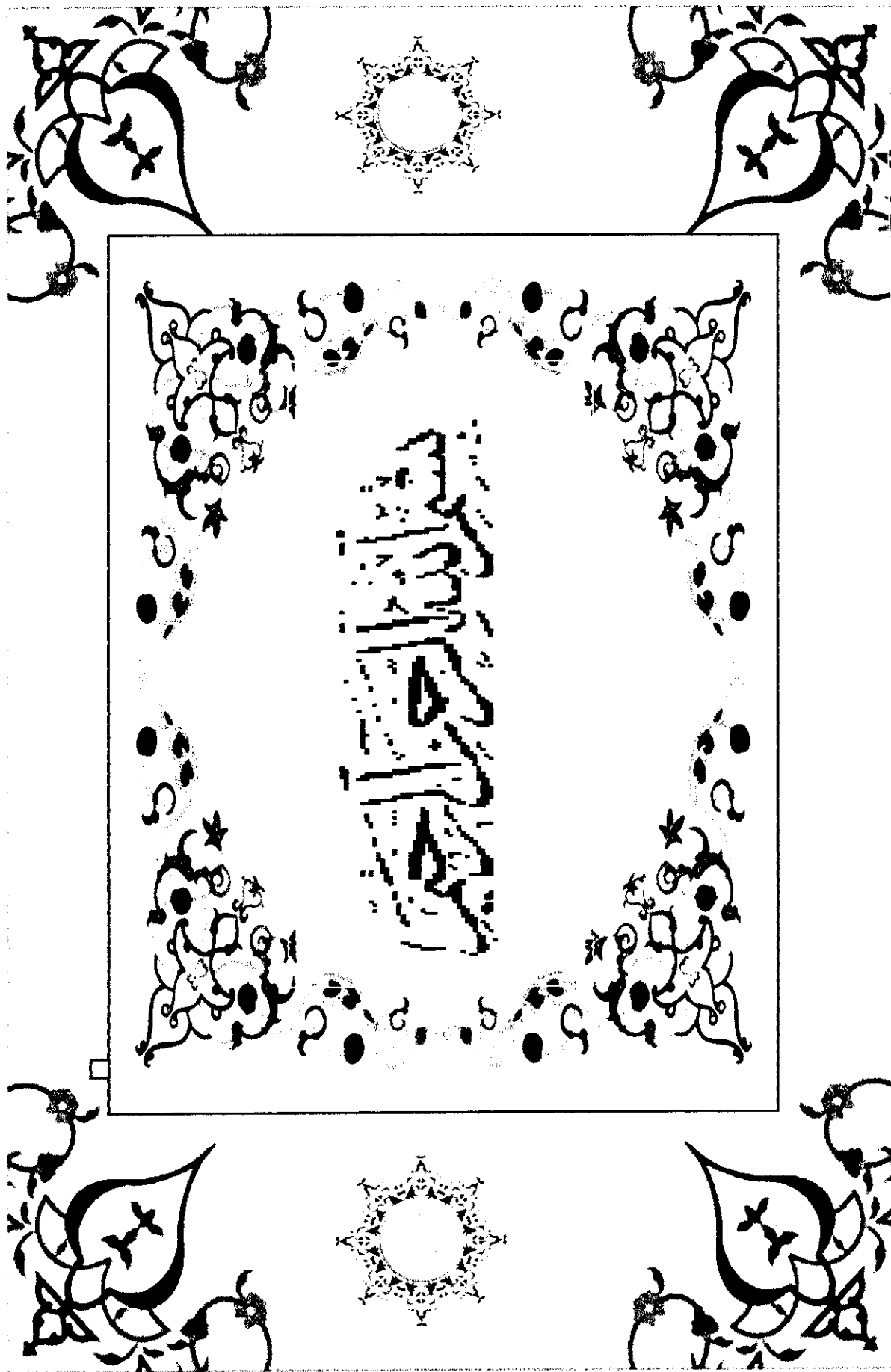


RÉALISÉ PAR MRS :
KRIMI ABDELKADER
RECHACHE MOHAMED

PROMOTEUR :
MR AZZAZEN
COPROMOTEUR :
MR DAHMANI

PROMOTION : 2007-2008

093/98
093/98
المكتبة





REMERCIEMENT

Au terme de cette étude, pour la réalisation de notre mémoire, nous remercions DIEU de nous avoir donné la volonté et le courage d'achever notre travail dans de bonnes conditions.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciement à nos Promoteurs Mr : AZZAZEN et Mr : DAHMANI SADAK pour leurs gentillesse leurs conseils et leurs orientations qui nous ont été de grande importance.

Nous tenons également à remercier chaleureusement tout le personnel de l'atelier 3/1 de L'BCL particulièrement Mr : BOUSSAID et Mr : MOHAMED pour ses disponibilités auprès de nous.

Nos remerciements s'adressent à tous ceux qui nous ont prêté main forte pour la réalisation de ce modeste travail.

KRIMI ET RECHACHE.



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents à qui
souhaite une longue vie et mes frères : Hicham, Mahmod,
Hacene, Houssine, Mohamed Karim. Aman Allah et
mes sœurs.*

*Pour mes amis surtout : Hamza, Rabah, Wahid,
Redouane, Abdessatif, Salim, Khaled, Mohamed, sif
eldin, Abdessah, Sidali et mon binôme MOHAMMED*

*Je vous remercie mes promoteurs Mr Azzazen
Mohamed et Mr Dahmani Sadek à tous les travaux qui
sont donnée à part la thèse.*

ABDELKADER



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents à qui
souhaite une longue vie et mes frères : youssef, younesse et
mes sœurs.*

*Pour mes amis surtout : Hamza, Rabah, Wahid,
Redouane, Abdellatif, Samir, Khaled, Mohamed,
Bedredinne, ahmed, et mon binôme
ABDELKADER.*

*Je vous remercie mes promoteurs Mr Azzazen
Mohamed et Mr Dahmani Sadek à tous les travaux qui
sont donnée à part la thèse.*

MOHAMMED.

Présentation générale du département réparation turbine :

La structure réparation turbine est composée de deux ateliers 3/1 et 3/2.
la mission de cette structure est :

- La réparation des turbines tournantes et la fabrication des pièces de rechanges par découpage laser au niveau de 3/1.
- La réparation et la rénovation des moyens de production d'énergie et la fabrication des pièces de rechange par usinage au niveau de 3/1.
- L'effectif qui assure ces missions se compose de (86) ouvriers.

Présentation de l atelier 3/1 :

L'atelier de réparation turbine lot 3/1 de superficie 6157 m2 est composé de (42) ouvriers.

Il comprend :

- (06) sections productives.
- Un service technique avec un bureau d'ordonnancement et lancement, un bureau de gestion des stocks, et (02) magasins d'outillage et pièces de rechange, et une section de maintenance.

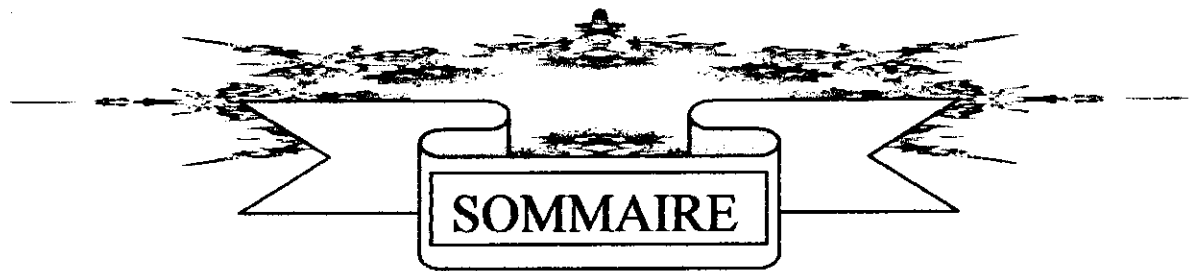
Ces principales activités sont :

La réparation des :

- Turbine à gaz.
- Turbine à vapeur.
- Compresseur.
- Pompes
- Moteurs moyenne tension et basse tension.

La fabrication des pièces par :

- Usinage.
- Découpe laser.



***Introduction*.....1**

Chapitre I : généralités sur les turbines à gaz

I-I-GENERALITES3

I-II-CHOIX D'UN MOTEUR D'ENTRAINEMENT4

I-III-HISTORIQUE DES TURBINE A GAZ4

I-IV-DEFINITION DE LA TURBINE A GAZ 6

I-V- DESCRIPTION DU CYCLE7

I-V-1-Généralité7

I-V-2- Cycle OTTO8

I-V-3- Cycle DIESEL8

I-V-4- Cycle BRAYTON9

I-VI-COMPOSANTS PRINCIPAUX DE LA TURBINE 10

I-VI-1- Compresseur10

I-VI-2- Turbine11

I-VI-3- Corps11

I-VI-4- Directrices12

I-VI-4- Système de combustion12

I-VII- EQUIPEMENTS DE LA TURBINE13

I-VII- 1- Entrée d'air13

I-VII- 2- Compresseur 14

I-VII- 2-1- Rotor de compresseur.....14

I-VII- 2-2- Corps du compresseur15

I-VII- 2-3- Aubages.....	17
I-VII- 3- Section de combustion	18
I-VII- 3- 1- Généralités	18
I-VII- 3- 2- Chambre de combustion	19
I-VII- 3- 3- Bougie d'allumage.....	22
I-VII- 3- 4- Pièces de transition	22
I-VII- 4- Section turbine	25
I-VII- 4- 1- Généralités.....	25
I-VII- 4- 2- Directrice premier étage	25
I-VII- 4- 3- Directrice deuxième étage et diaphragme.....	27
I-VII- 4- 4- Ensemble du rotor de la turbine.....	29
I-VII- 4- 5- Section d'échappement	32

Chapitre II : la maintenance des turbines à gaz.

II-1- LA MAINTENANCE	34
II-1- 1- Introduction	34
II-1-2- Typologie de la maintenance	34
II-1-2-1- La maintenance corrective	34
II-1-2-2- La maintenance préventive	35
II-1-2-3- ORGANIGRAMME DE MAINTENANCE	36
II-2- LES TYPES DE DEFAILLANCE	37
II-2- 1- Défaillance fonctionnelle	37
II-2- 2- Défaillance potentielle	37
II-3- PROCEDURE DE SURVEILLANCE	37
II-4- ANALYSE DES DEFAUTS DE TURBINE À GAZ	38

II-4- 1- Les avaries	38
II-4- 2- Défaillance de fatigue	38
II-4-3- Taux de défaillance des éléments de la turbine	38
II-4- 4- Défaillances des composant de la turbine à gaz	40
II-5- ENTRETIEN	41
II-5- 1- facteurs de fonctionnement influant sur l'entretien	41
a) Fréquences de démarrage	41
b) milieu ambiant.....	42
c) Cycle de fonctionnement	42
d) Méthodes d'entretien	43
e) type de combustible	43
II-5- 2- types de contrôles.....	44
a). Vérification avant lancement.....	45
b). Vérifications pendant l'exploitation	45
c). Révision	46

Chapitre III : les opérations de réparation du rotor.

d'un rotor d'une turbine a gaz.....	47
III-1- LES OPERATIONS DE REPARATION.....	48
III-1- 1- Nettoyage.....	48
a) Le sablage.....	48
b) Le grenailage	48
III-1- 2-contrôle visuel	49
III-1- 3- Le contrôle géométrique.....	49
III-1- 4- Le micromètre ou « palmer »	49
III-1- 5- Le contrôle dimensionnelle.....	50
• Pied à coulisse	50

III-1- 6- Le contrôle par le ressuage:	51
III-1- 6-1- Le ressuage	51
III-1- 6-2- Principe	52
III-1- 7- Contrôle de l'équilibrage	54
III-1-8- Diagnostique	54
III-1-8- 1- Rectification	55
III-1-8- 1- 1- Définition de la rectification	56
III-1-8- 1- 2- Avantages de la rectification	57
III-1-8- 1- 3- Matériaux	57
III-1-8- 2- Chromage dur	57
III-1-8- 2-1- Chromage	58
III-1-8-2-2-Chromage décoratif	58
III-1-8- 2-3- Chromage dur	58
III-1-8- 2-4- Les avantages du chromage dur	58
III-1-8- 3- Rectification des cotes finales	59
III-1-8- 4- L'équipage	59
III-1-8- 4- 1 Notion sur l'équilibrage	61
a) Le balourd	61
• Balourd statique	61
• Balourd dynamique	62
• Balourd de couple	62
b) Types d'équilibrage	63
• Équilibrage statique	63
• Équilibrage dynamique	63
III-2- Exemple d'un rapport d'équilibrage	65
III-3- Recommandation	66



LISTE DES FIGURES

Chapitre I : généralités sur les turbines à gaz

Figure I-0 : Turbine à gaz	6
Figure I-1 : turbine industrielle à un seul arbre.....	7
Figure 1.2 : cycle Otto.....	8
Figure I-3 : cycle diesel.....	8
Figure I-4 : Cycle de BRAYTON.....	10
Figure I-5 : Cycle fondamental de la turbine a gaz.....	10
Figure 1-6 : Ecoulement des gaz dans une turbine à cycle.....	13
simple et un seul arbre	
Figure 1-7 : Ensemble du rotor.....	15
Figure I-8 Corps du compresseur (moitié inférieure).....	17
Figure I-9 : Schéma d'une chambre de combustion.....	18
Figure I-10 : Ensemble du tube de flamme et son chapeau.....	19
Figure I-11 : Flux d'air dans la chambre de combustion.....	20
Figure I-12 : Vue en bout d'une chambre de combustion.....	21
Figure I-13 : bougie d'allumage.....	22
Figure I-14 : Disposition de la pièce de transition.....	23
Figure I-15 : Disposition de la pièce de transition et de la directrice.....	24
Figure I-16 : Disposition de blocage et d'étanchéité	26

De la directrice du premier étage

Figure I-17 : Disposition des roues de la turbine	
et des directrices premier et deuxième étage.....	27
Figure I-18 : Rotor typique de turbine	30
Figure I-19 : Roue typique de deuxième étage.....	31
Figure I-20 : Détails d'une aube.....	31
Figure I-21 : Montage des aubes.....	31

Chapitre II : la maintenance des turbines à gaz

Figure II-1 : les facteurs de maintenance en fonction.....	42
De nombre de démarrage par heure	
Figure II-2 : les facteurs de maintenance en fonction de la charge.....	43
Figure II-3 : les facteurs de maintenance en fonction.....	44
des types de combustible.	

Chapitre III : les opérations de réparation du rotor.

Figure III-1: Machine de sablage.....	48
Figure III-2: Micromètre d'extérieur.....	50
Figure III-3: Pied à coulisse.....	51
Figure III-4: Application de ressuage.....	52
Figure III-5: Application de pénétrant.....	54
Figure III-6: Installation du rotor sur un tour parallèle.....	55
équipé d'une meule	
Figure III-7: Coupe d'une pièce chromée.....	59

Figure III-8: Présentation des plans des masselottes.....	60
Figure III-9: Représentation du Balourd statique.....	61
Figure III-10: Représentation du Balourd dynamique.....	62
Figure III-11: Représentation du Balourd de couple.....	62
Figure III-12: Rotor installer sur l'équilibreuse.....	64

Résumé

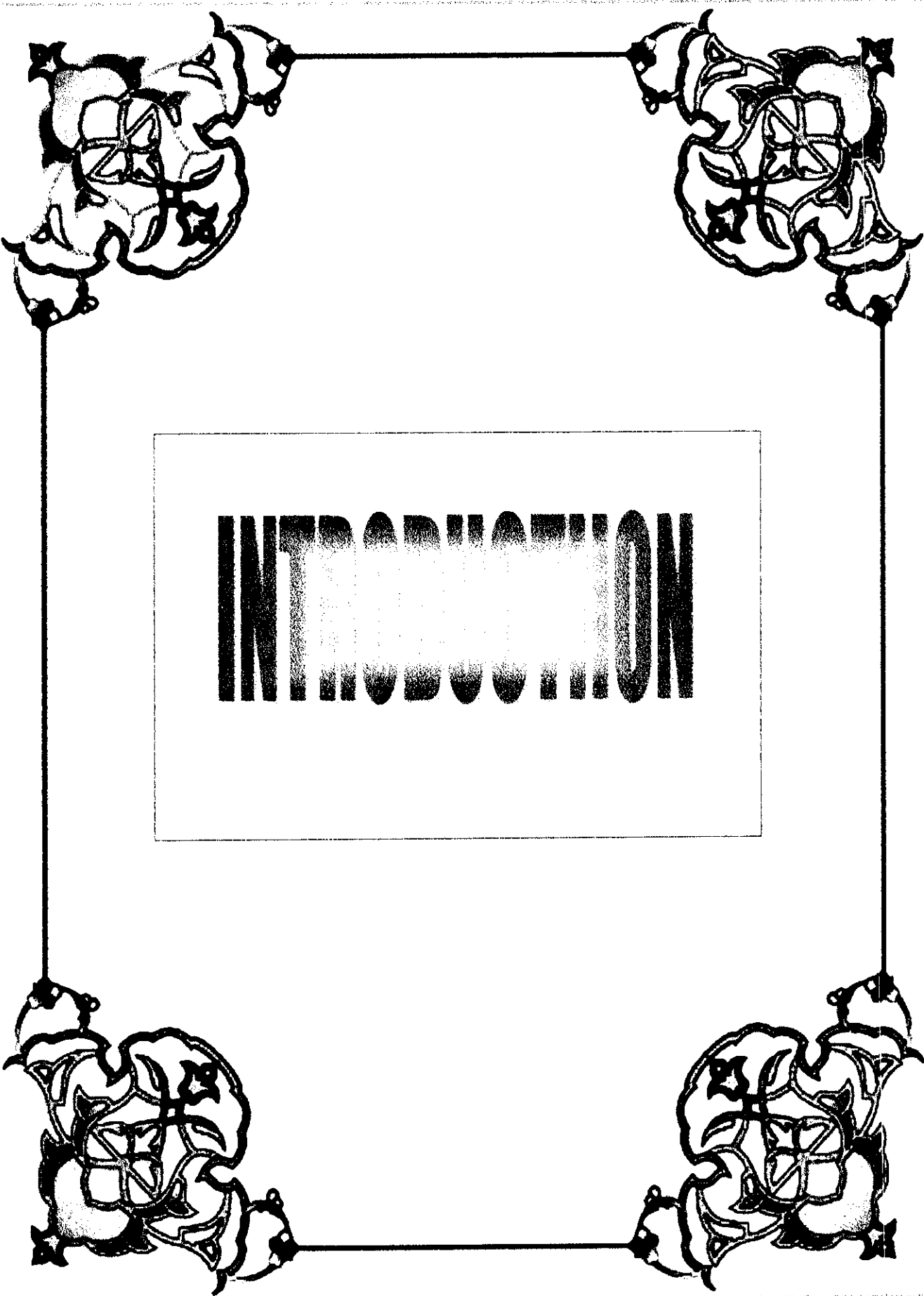
Le travail proposé, consiste au début a la définition des différents composants et équipements de la turbine à gaz et leurs fonctionnements, avec les détails de sa maintenance, et on termine notre travail par l'étude des opérations nécessaires pour la réparation du rotor de la turbine à gaz avec description de chaque opération.

Abstract

Work suggested, consists at the beginning has the definition of the deferent component and equipment of the their operation and gas turbine, with the details of its maintenance, and one completes our work by the study of the operations necessary for the repair of the rotor of the gas turbine with description of each operation.

ملخص

العمل المقترح، يتضمن مختلف الوظائف لعناصر و مكونات العنفة الغازية مع تفاصيل صيانتها و انهينا عملنا بدراسة العمليات الضرورية لتصليح الجزء الدوار للعنفة الغازية مع شرح كل عملية.

The page features four decorative floral corner ornaments, each with intricate, swirling patterns and leaf-like motifs, positioned at the corners of a rectangular frame. The frame is composed of thin lines connecting these ornaments. In the center of this frame is a white rectangular box containing the word "INTRODUCTION" in a bold, black, serif font.

INTRODUCTION


Introduction

La turbine à gaz contribue dans une large mesure aux motorisations actuelles. Son avantage de légèreté en impose l'usage dans l'aéronautique, tandis que dans le domaine des fortes puissances (production d'électricité) elles se démarquent par leur adaptation à des cycles combinés ou de cogénérations très performantes.

Nous avons essayé dans ce travail d'exposer le cas de réparation d'un rotor de turbine à gaz et démontré les différentes opérations de réparation.

Cette réparation du rotor est faite dans le cadre de la révision de la turbine à gaz et un groupe turbo- alternateur au niveau de la BCL, au profit de la raffinerie d'Alger NAFTEC. Compte tenu des difficultés d'exploitation du réseau très instable de SONELGAZ qui pouvait occasionner l'arrêt général de la raffinerie et qui pouvait aussi avoir des conséquences de perturbation de distribution des carburants de la région centre du pays, il est recommandé la réparation du rotor.

Pour mener à bien notre travail, nous avons divisé l'étude en trois chapitres : le premier concerne des généralités sur la turbine à gaz, le deuxième chapitre va se porter sur la maintenance de la turbine à gaz, et le dernier chapitre sera consacré à la réparation d'un rotor de turbine à gaz, enfin une conclusion est tirée de ce travail.



CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LES

TURBINES À GAZ



I-I-GENERALITES :

Du fait que les plus grands besoins en puissance des installations industrielles concernent l'entraînement des différents équipements, le sujet des moteurs d'entraînement s'impose sur tous les plans.

Ces moteurs doivent remplir certaines obligations qu'on ne rencontre pas chez tous les moteurs surtout lorsqu'il s'agit d'équipements puissants, tels qu'on les rencontre aux stations de compresseur, de réfrigération, ou les centrales thermiques, et stations nucléaires.

Il existe plusieurs types de moteurs, c'est à dire, de source de puissance qui peut être employée pour l'entraînement :

- Les moteurs à piston (diesel, essence, ...).
- Les moteurs électriques.
- Les turbines à vapeur.
- Les turbines à gaz.
- Les machines à détente.

Pour des questions économiques, en raison des grandes quantités de puissance nécessaires, seules les turbines on été utilisées dans les grandes installations.

Les moteurs à piston ne sont généralement pas assez puissants, et s'ils l'étaient, leur grandes dimensions et les conséquences qui en découlent, les rendraient peu pratiques, de plus, leur vitesse décrois nécessairement à mesure que leur taille augmente, par suite, de l'augmentation des masses en mouvement et de l'encombrement.

La dimension et la vitesse des moteurs électriques sont également limitées, en particulier la vitesse constante des gros moteurs à courant alternatif qui les rend inutilisable pour les emplois ou les vitesses varient, ainsi que la production et le transport du courant électrique sont assez élevés.

Un autre type de moteur, les machines à détente sont utilisables pour les petites installations de distribution et de stockage. Ce sont des turbines bien que des modèles à piston aient été réalisés et utilisés. Ces machines sont appelées moteur à expansion.

I-II-CHOIX D'UN MOTEUR D'ENTRAINEMENT :

- ✓ raisons économiques.
- ✓ bilan de chaleur et la récupération.
- ✓ puissance.
- ✓ sécurité d'exploitation.
- ✓ simplification de construction.
- ✓ facilité d'intervention.

I-III- HISTORIQUE DES TURBINES A GAZ :

- Première turbine à gaz employée industriellement en **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

I-IV- DEFINITION DE LA TURBINE A GAZ :

Une turbine à gaz, appelée aussi turbine à combustion, est une machine tournante thermodynamique appartenant à la famille des moteurs à combustion interne dont le rôle est de produire de l'énergie mécanique (rotation d'un arbre) à partir de l'énergie contenue dans un hydrocarbure (fuel, gaz...).

Le turboréacteur est une turbine à gaz particulière qui utilise le principe de la réaction pour propulser certains types d'avions rapides.

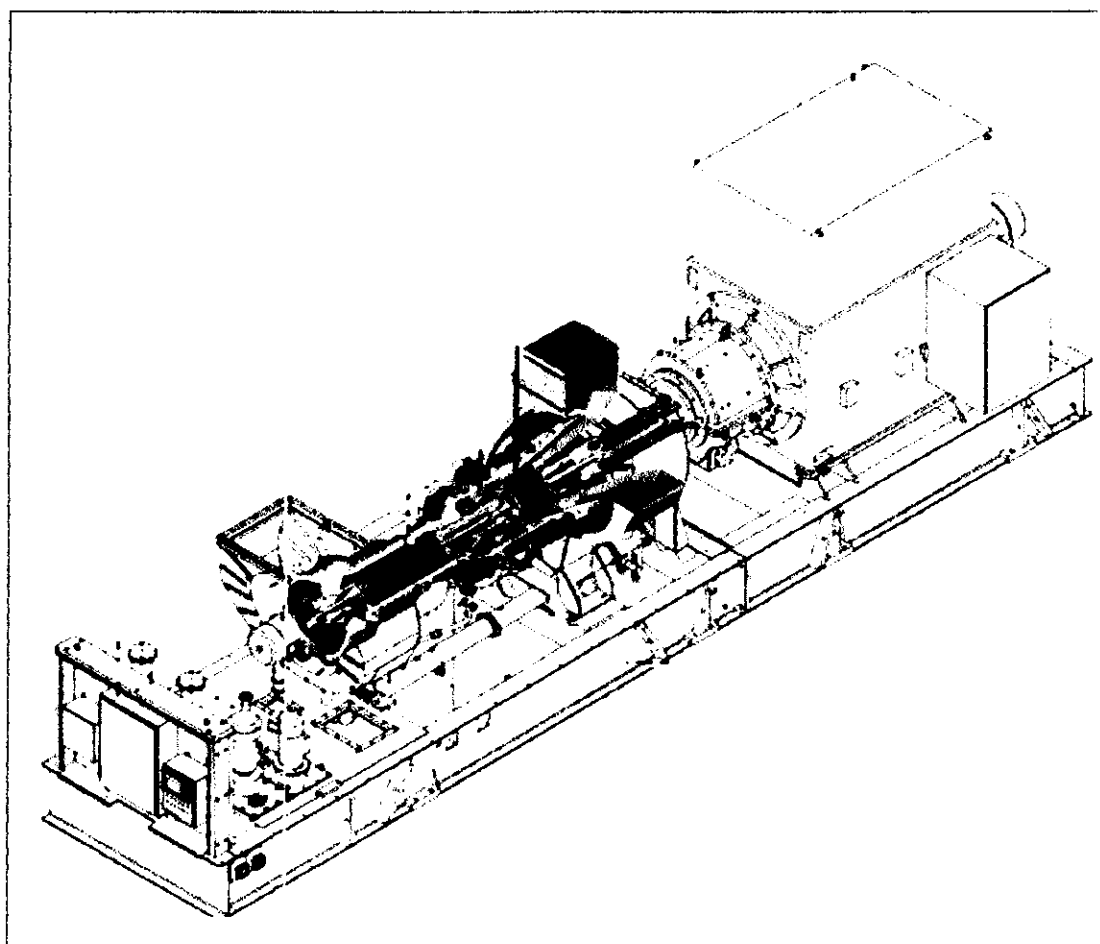


Figure I-0 : Turbine à gaz

I-V- DESCRIPTION DU CYCLE :

I-V-1- Généralité :

La (*Figure 1-1*) montre une turbine à gaz industriel à cycle simple et un seul arbre construite par la General Electric. C'est un moteur à combustion interne qui produit de l'énergie suivant un cycle similaire aux cycles Otto ou Diesel, dans la mesure où ces trois cycles comprennent les mêmes quatre étages : compression, combustion, détente, et échappement. Toutefois, il y a des différences de détails qu'il est bon d'examiner.

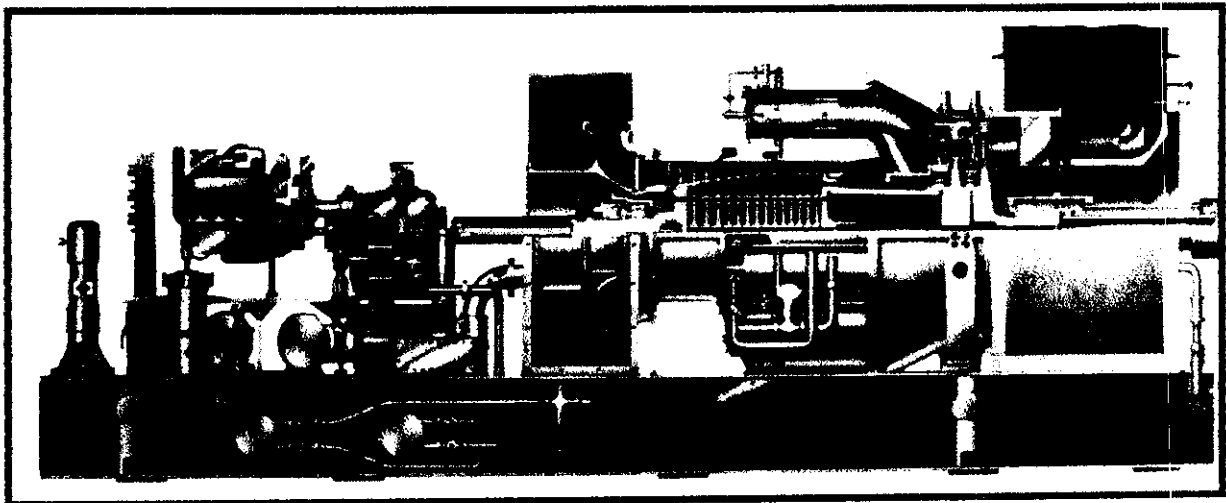


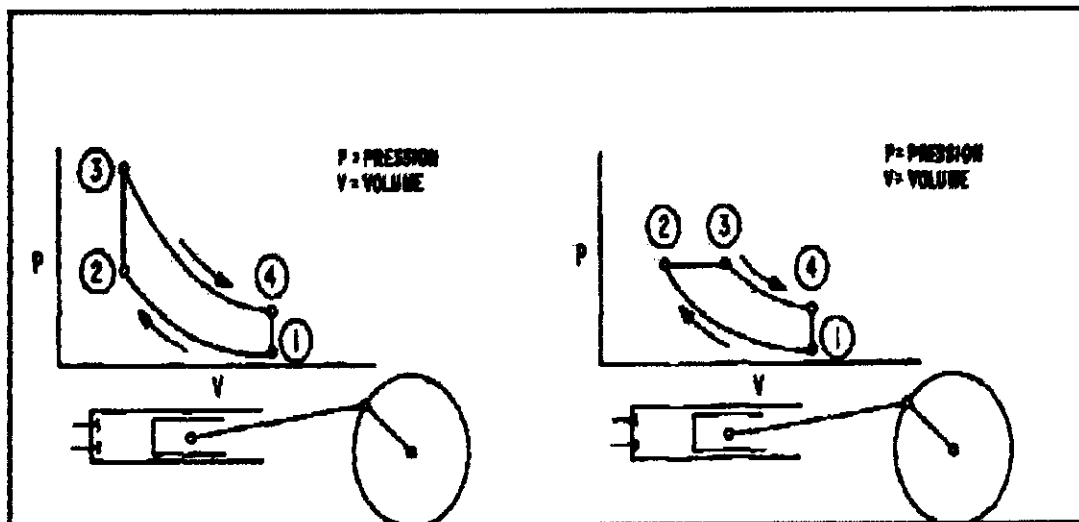
Figure 1-1 : turbine industrielle à un seul arbre

I-V-2- Cycle OTTO :

Dans le Cycle Otto (*figure 1-2*), la course de compression (de 1 à 2) est suivie par une combustion à volume constant (2 à 3), ce qui augmente la pression, La pression force le piston vers la droite (3 à 4) avec échappement se produisant entre les points 4 et 1.

I-V-3- Cycle DIESEL :

Le Cycle Diesel (*Figure 1-3*) est similaire, sauf que la combustion se produit à pression constante (2 à 3), Ceci est obtenu en injectant le combustible à un taux suffisant pour compenser le changement de volume. La détente et l'échappement se produisent alors de la même façon que dans le Cycle Otto.

*Figure. 1-2 : cycle Otto**Figure 1-3 : cycle diesel*

I-V-4- Cycle BRAYTON :

Dans le Cycle Otto comme dans le Cycle Diesel, une perte se produit due à la chute de pression mise en cause lors de la course d'échappement, Cette perte est évitée en créant un cycle dans lequel la course d'échappement est plus longue que la course de compression, ce qui permet au fluide de travail de se détendre jusqu'à la pression atmosphérique. Un tel cycle a été établi sous le nom de Cycle Brayton (*Figure 1-4*), on l'appelle aussi Cycle à Pression Constante car la combustion et l'échappement se produisent tous deux à pression constante. Si on applique le cycle de Brayton à un processus à écoulement constant, on obtient le cycle de la turbine à gaz simple, dans le cycle turbine à gaz simple, la combustion et l'échappement se produisent à pression constante, et la compression et la détente se produisent de façon continue, plutôt que de façon intermittente comme c'est le cas des cycles Otto et Diesel.

Ceci veut dire que la puissance de la turbine à gaz est disponible de façon continue, tandis que dans un moteur alternatif la puissance n'est disponible que lors de la course de détente. La (*Figure 1-5*) donne un schéma des éléments nécessaires pour réaliser le cycle. Les points sur la (*Figure 1-4* et *1-5*) se correspondent. Au point (1), l'air entre dans le compresseur (C). L'air refoulé à haute pression par le compresseur au point (2) est mélangé avec du combustible dans le brûleur (b). Les produits de cette combustion continue au point (3) Entrent dans la turbine (t) et se détendent jusqu'à la pression atmosphérique point (4). La turbine fournit la puissance mécanique pour entraîner le compresseur et la charge (un générateur ou un compresseur).

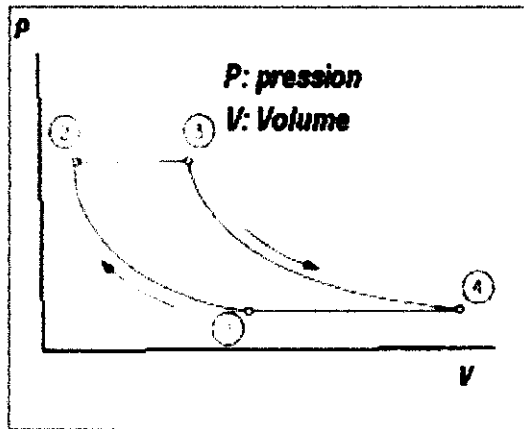


Figure I-4 : Cycle de BRAYTON

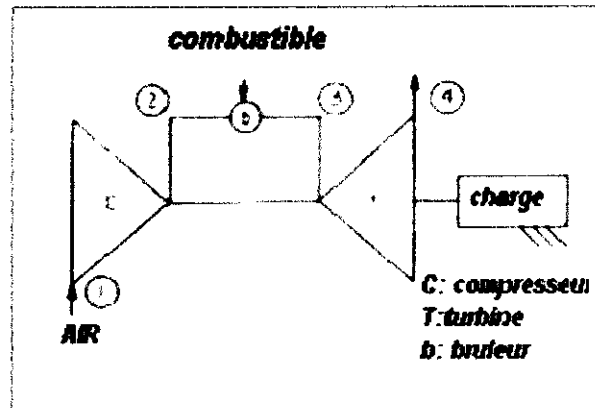


Figure I-5 : Cycle fondamental de la turbine à gaz

I-VI-COMPOSANTS PRINCIPAUX DE LA TURBINE :

Les composants principaux de la turbine à gaz sont les composants du rotor, essentiellement le compresseur axial et les roues de la turbine; les composants stationnaires, principalement les corps, le corps turbine, et les directrices; et les composants de combustion.

I-VI-1- Compresseur :

La fonction du compresseur axial est de fournir de l'air à haute pression aux chambres de combustion pour produire les gaz chauds nécessaires pour entraîner la turbine. Le compresseur sert aussi de source d'air de refroidissement (car une portion seulement de son air de sortie est employée à la combustion) pour les directrices de la turbine, les roues de la turbine, les pièces de transition, et les autres pièces dans la veine des gaz chauds.

L'air entre à l'admission du compresseur à étages multiples où il est comprimé de la pression atmosphérique jusqu'à environ 6 à 10 bar (90-150 psig). Ceci donne un rapport de pression du compresseur égal à :

$$\frac{\text{(Pression Atmosphérique + Pression de refoulement du Compresseur)}}{\text{(Pression Atmosphérique)}}$$

De l'ordre de 6:1 à 8:1, l'air qui est refoulé de façon continue du compresseur occupe un volume plus petit au refoulement du compresseur qu'à son entrée. Du fait de l'échauffement correspondant à la compression, la température de l'air augmente de plusieurs centaines de degrés pendant le passage à travers le compresseur.

I-VI-2- Turbine :

Les roues de la turbine sont extrêmement importantes, car c'est le point auquel l'énergie cinétique des gaz chauds est convertie par les aubes de la turbine en énergie mécanique de rotation, produisant la puissance nécessaire pour entraîner la charge et le compresseur axial.

I-VI-3- Corps :

Les corps (pièces du stator) réalisent l'ossature de la turbine à gaz. Cette structure soutient les éléments tournants grâce aux paliers, sert d'enceinte de pression pour contenir les fluides de travail de la turbine, et fournit une surface de révolution pour les aubes avec un jeu minimum assurant la performance optimum.

I-VI-4- Directrices :

Les directrices jouent le rôle important de convertir l'énergie de chaleur et de pression des gaz chauds, produits pendant la combustion, en énergie cinétique à grande vitesse, qui est communiquée aux aubes de la turbine.

I-VI-4- Système de combustion :

La fonction d'ensemble du système de combustion est de fournir l'énergie calorifique nécessaire au cycle de la turbine à gaz. Ceci est obtenu en brûlant du combustible dans le courant d'air en aval du compresseur puis en diluant les produits de combustion avec un excès d'air pour obtenir la température de gaz désirée à l'admission de la directrice premier étage.

Le système de combustion comprend un certain nombre des chambres de combustion similaires. L'air refoulé par le compresseur est réparti sur ces chambres où il est soutiré dans un tube de flamme cylindrique. Cet air sert de couverture pour protéger les tubes de flamme de la chaleur de combustion, le combustible est injecté à l'axe central des tubes de flamme, où il est allumé de façon convenable produisant la combustion, créant ainsi les gaz chauds avec des températures dépassant 1650°C (3000°F).

En plus de la protection des tubes de flamme, l'air de refoulement du compresseur relativement frais (seulement quelques centaines de degrés, comparé à 1650°C (3000 °F)) est mélangé avec les gaz de combustion chauds et les refroidit jusqu'à 810 à 980 C (1500°F à 1800°F) à des pressions allant de 6 à 10 bars (90-150 psig)

Selon la charge de sortie et la conception particulière de la turbine. Les gaz refroidis et dilués passent alors dans les pièces de transition pour arriver à directrices premier étage de la turbine.

Le schéma de fonctionnement d'une turbine à gaz à cycle simple et un seul arbre est indiqué à la (Figure I-6).

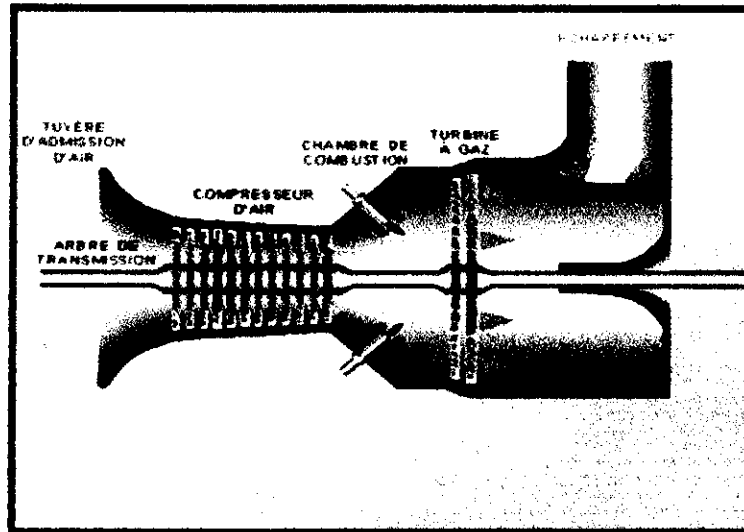


Figure I-6 : Ecoulement des gaz dans une turbine à cycle simple et un seul arbre

I-VII- EQUIPEMENTS DE LA TURBINE :

I-VII- 1- Entrée d'air :

L'air d'alimentation de la turbine passe à travers un ensemble des conduits avant d'entrer dans le compresseur. Cet ensemble des conduits contient un silencieux à air et un grillage arrêtant les corps étrangers.

Le silencieux à air est constitué par des panneaux insonorisants et forme une section de l'ensemble des conduits. Il sert à atténuer les sons de haute fréquence produits par les aubages du compresseur.

Le grillage empêche l'entrée du corps étrangers des grandes dimensions dans le compresseur. Certains groupes, en particulier Les groupes

turboalternateurs autonomes, comprennent une enceinte avec filtre d'entrée dans la partie avant des conduits d'air.

I-VII- 2- Compresseur :

I-VII- 2-1- Rotor de compresseur :

L'ensemble du rotor du compresseur à flux axial (*Figure 1-7*) comprend plusieurs ensembles des roues et d'aubes ainsi qu'un bout d'arbre servant au palier N° 1.

L'ensemble des aubes et du bout d'arbre et les ensembles des aubes et des roues sont emboîtés et boulonnés concentriquement autour de l'axe du rotor. Les trous des boulons sont chambrés dans le bout d'arbre afin que les têtes des boulons et des écrous soient à fleur avec la surface de la roue, ce qui réduit les pertes par brassage d'air.

Le bout d'arbre est usiné a fin de réaliser les faces d'appui avant et arrière, la fusée pour l'ensemble du palier (N°1), les surfaces des étanchéités à huile du palier (N° 1), et l'étanchéité à air basse pression du compresseur.

L'ensemble du rotor du compresseur est équilibré dynamiquement avant d'être monté avec l'ensemble du rotor de la turbine , ce dernier étant lui même équilibré à l'avance, l'ensemble complet est alors équilibré dynamiquement, ces corrections d'équilibrage sont faites à des emplacements judicieusement choisis pour compenser un déséquilibre interne de l'ensemble complet.



Figure 1-7 : Ensemble du rotor

I-VII- 2-2- Corps du compresseur :

Le corps du compresseur (*Figure 1-8*) entoure la partie compresseur du rotor, il est divisé en quatre sections :

- corps d'admission.
- corps avant.
- corps arrière.
- corps de refoulement.

Toutes ces sections sont coupées horizontalement en vue de faciliter les travaux d'entretien.

Le corps d'entrée dirige vers les aubages du compresseur le flux d'air aspiré à l'entrée. Cette section du corps contient le palier N° 1, et les étanchéités d'air basse pression.

La partie avant du corps du compresseur, située en aval de la section d'entrée, contient les aubes du stator des étages (0 à 3). De l'air de soutirage du quatrième étage du rotor (entre les étages 3 et 4 du rotor) est extrait à travers quatre lumières ménagées autour de la section arrière du corps du compresseur.

La section arrière, située en aval de la section avant, contient les aubes du stator des étages (4 à 9), de l'air de soutirage du dixième étage du rotor (entre les étages 9 et 10 du stator) est extrait à travers quatre lumières alignées radialement avec des lumières utilisées pour le soutirage de l'air du quatrième étage.

La section refoulement du corps du compresseur, située en aval de la section arrière, contient les aubes du stator des étages (10) et suivants ainsi que deux rangées d'aubes de refoulement, une partie de cette section est élargie en direction radiale et forme une cloison permettant de monter les chambres de combustion, dix entretoises profilées sont situées à intervalles égales autour de la surface arrière de la cloison, et servent à tenir l'ensemble du corps interne (tambour intérieur). L'espace compris entre la partie avant de ce tambour intérieur et la section de refoulement du corps extérieur forme un passage annulaire pour l'air haute pression se dirigeant vers la section de combustion. Cette partie est réalisée en forme de diffuseur afin de ralentir le débit d'air, ce qui augmente sa pression statique.

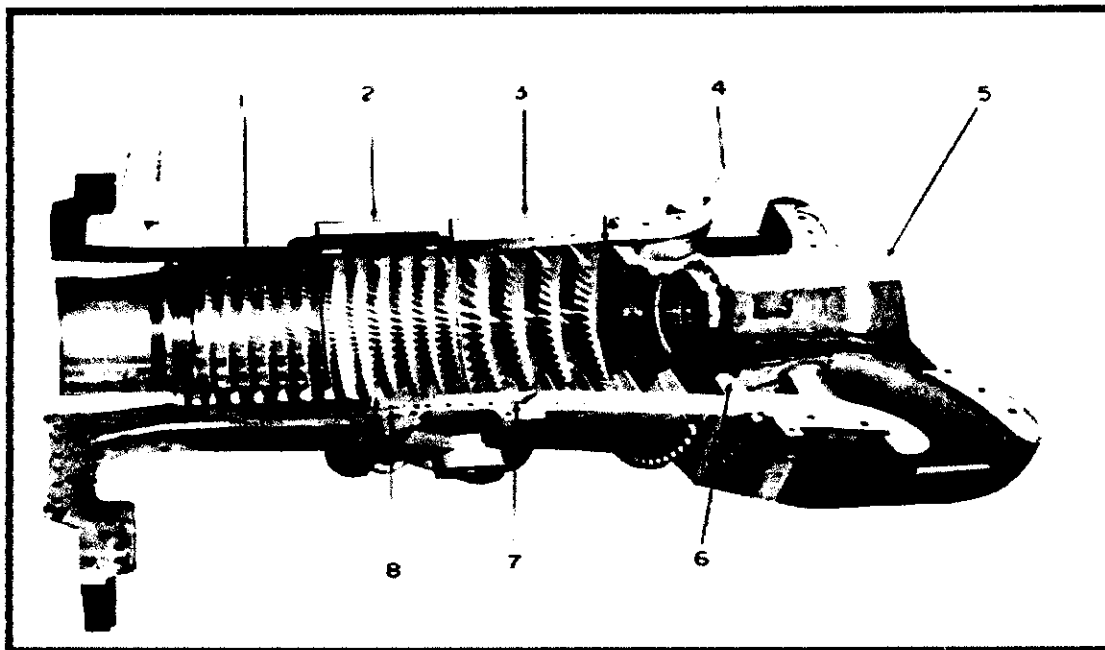


Figure I-8: Corps du compresseur (moitié inférieure)

- | | |
|---------------------------|--|
| 1. Section de refoulement | 5. Carter du palier No. 1 |
| 2. Section arrière | 6. Aubes variables à l'admission |
| 3. Section avant | 7. Espace annulaire de soutirage 4ème étage |
| 4. Section d'entrée | 8. Espace annulaire de soutirage 10ème étage |

I-VII- 2-3- Aubages:

Les aubes du stator sont munies d'embases en queue d'aronde qui s'emboîtent dans les ouvertures correspondantes d'un anneau semi-circulaire en deux pièces.

Cet anneau s'emboîte dans une rainure de profil correspondant usinée dans la paroi de, corps du compresseur. Des clavettes de blocage empêchent la rotation.

Des anneaux d'aubes. Les aubes du rotor sont également munies d'embases en pied de sapin qui s'emboîtent dans les ouvertures en queue d'aronde des roues. Après avoir été installées dans les roues, les aubes du rotor sont bloquées par déformation du métal.

I-VII- 3- Section de combustion :

I-VII- 3- 1- Généralités :

La section de combustion comprend les chambres de combustion, les injecteurs de combustible, les appareils de détection de flamme, les bougies d'allumage et les pièces de transition.

Les chambres de combustion (*Figure I-9*) sont disposées concentriquement autour du compresseur à flux axial, et elles sont boulonnées sur la cloison de la section refoulement du compresseur. L'air nécessaire à la combustion est fourni directement aux chambres de combustion par le compresseur à flux axial, le combustible est injecté dans les chambres par les injecteurs de combustible passant à travers le chapeau du tube de flamme de chaque chambre.

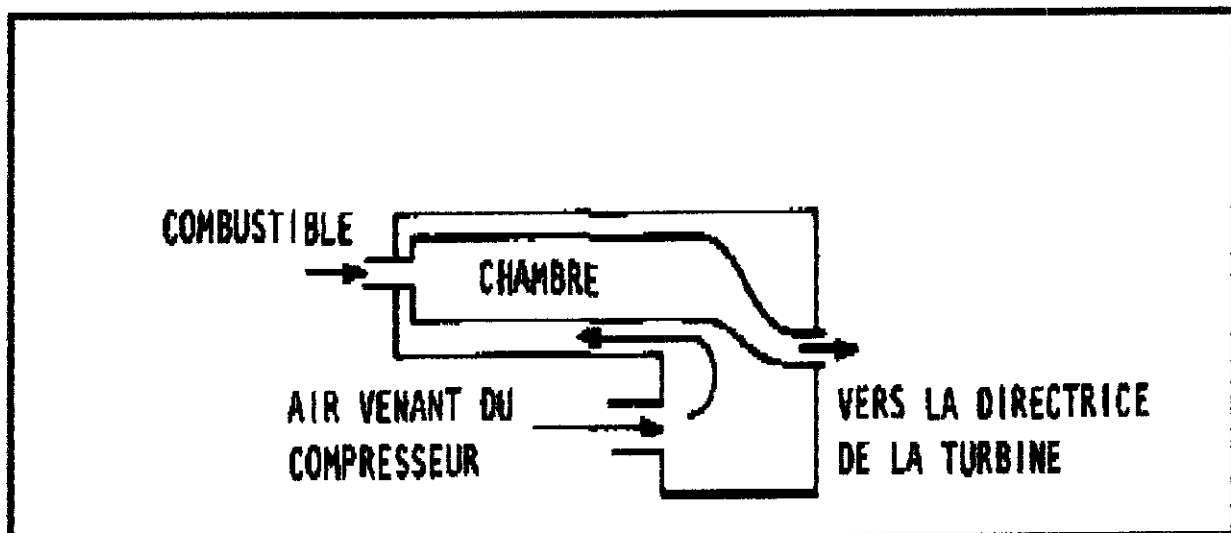


Figure I-9 : Schéma d'une chambre de combustion

I-VII- 3- 2- Chambre de combustion :

Le flux d'air à haute pression provenant du compresseur est refoulé dans l'espace annulaire établi à l'arrière du corps de refoulement entre le corps et la section avant du corps de la turbine, jusqu'à ce point, le flux d'air se dirige vers l'arrière, mais cette direction s'inverse alors. L'air pénètre dans l'enveloppe extérieure de la chambre de combustion et s'écoule vers l'avant en entrant dans le tube de flamme (*Figure I-10*) par les trous et les ouïes du tube de flamme et de l'ensemble du chapeau. Une certaine partie de l'air atteint la tête de la chambre de combustion et y entre par le chapeau du tube de flamme.

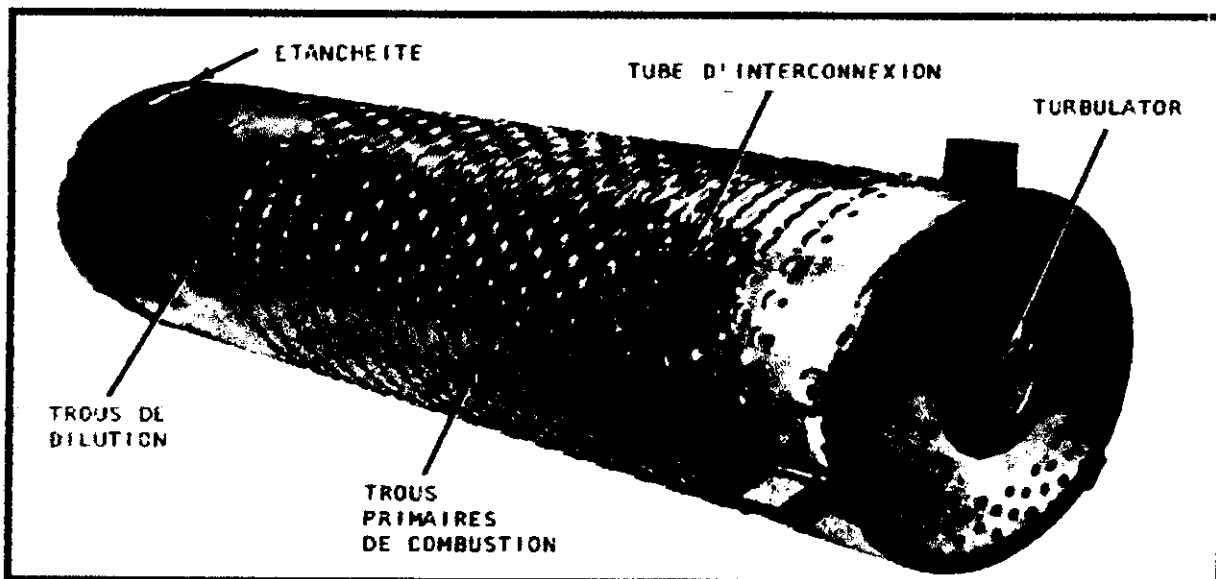


Figure I-10 : Ensemble du tube de flamme et son chapeau

Le flux d'air (*Figure I-11*) traversant les chambres de combustion remplit trois fonctions : oxydation du combustible, refroidissement des pièces métalliques et dilution des produits de combustion très chauds pour les amener à la température désirée à l'admission de la turbine.

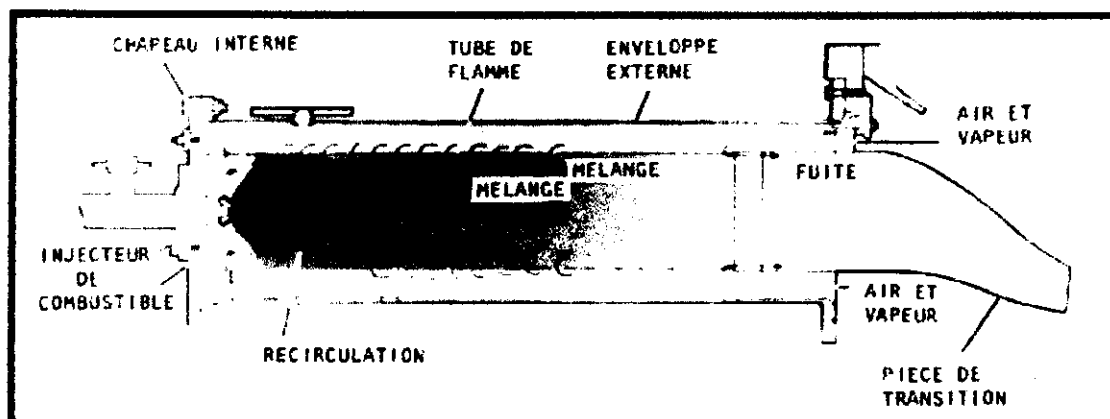


Figure I-11 : Flux d'air dans la chambre de combustion

Les tubes de flamme et les corps des chambres de combustion n'ont pas la même conception et ne sont pas tous interchangeables entre les différents modèles et séries des turbines à gaz.

Les corps des chambres de combustion sont munis des pattes usinées permettant le montage des bougies d'allumage et des détecteurs de flamme ; les tubes de flamme comportent des trous à travers lesquels passent la bougie d'allumage et le détecteur de flamme.

Les chapeaux des enveloppes qui sont boulonnés et supportent l'injecteur de combustible comportent dans le cercle des boulons deux boulons plus grands afin de faciliter la remise en place de l'injecteur de combustible lorsqu'on installe la tuyauterie d'arrivée du combustible (*Figure I-12*).

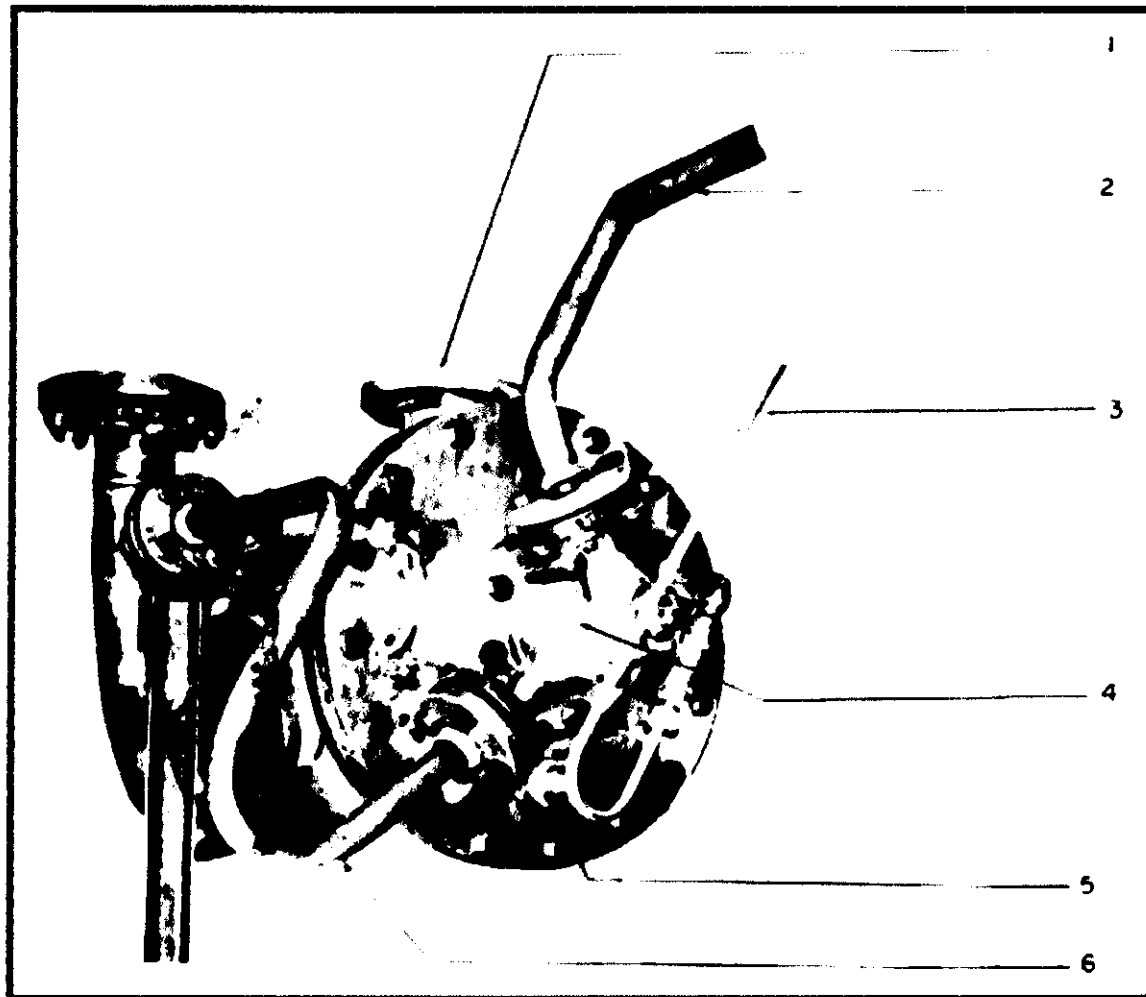


Figure I-12 : Vue en bout d'une chambre de combustion

1. Tube d'interconnexion
2. Tuyau d'arrivée de combustible gazeux
3. Tuyau d'arrivée de combustible liquide
4. Injecteur à deux combustibles
5. Regard (avec capuchon de sécurité en place)
6. Tuyau d'arrivée de l'air d'atomisation

I-VII- 3- 3- *Bougie d'allumage :*

La combustion du mélange de combustible et d'air est amorcée par des bougies d'allumage à électrodes rétractiles (figure I-13). Les bougies installées dans deux des chambres de combustion sont alimentées par des transformateurs d'allumage. Les chambres de combustion ne comportant pas des bougies sont allumées par l'intermédiaire des tubes d'interconnexion provenant des chambres déjà allumées.

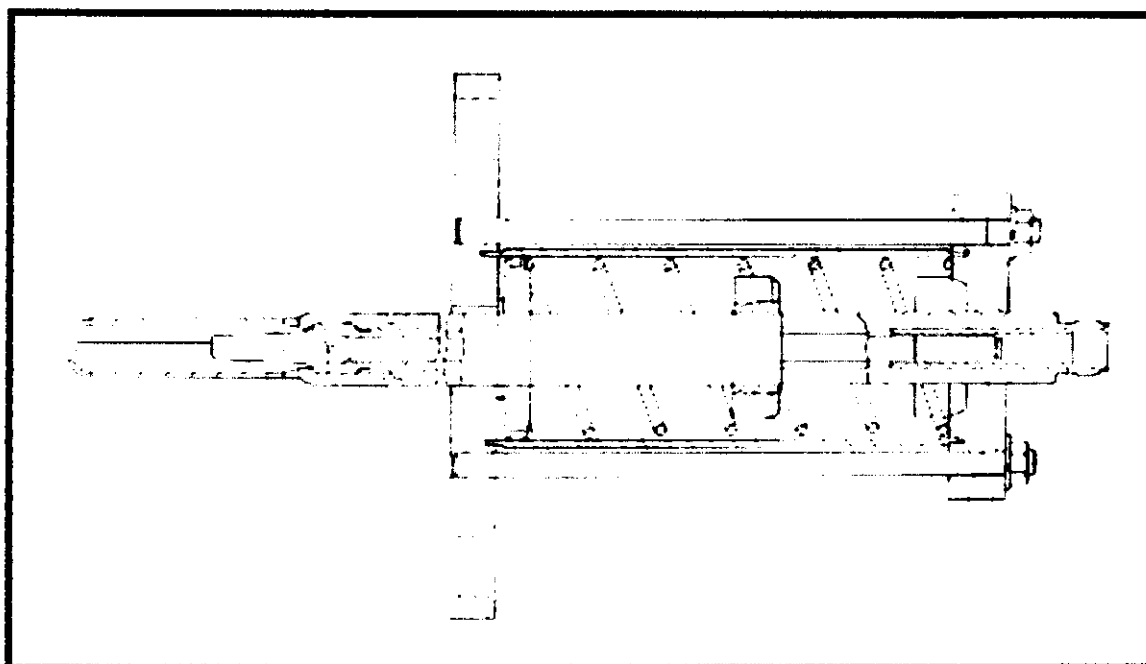


Figure I-13 : bougie d'allumage

I-VII- 3- 4- *Pièces de transition :*

Les pièces de transition constituent la veine des gaz chauds entre les chambres de combustion et la directrice du premier étage de la turbine (Figure I-14), ces pièces sont tenues par des brides sur le côté avant de l'ensemble directrice (Figure I-15), cet ensemble est muni des joints sur sa périphérie interne et sa périphérie externe afin d'éviter des fuites des

gaz Chauds du coté extérieur de la directrice, l'espace de transition est fermé par les segments de protection de la roue turbine sur lesquels l'ensemble directrice est fixé, du coté intérieur de la directrice l'espace de transition est fermé par des segments d'étanchéité clavetés installés entre la paroi latérale interne de la directrice et l'ensemble de support de la directrice premier étage, l'ensemble de la directrice et son support maintiennent ces pièces de transition alignées dans la veine des gaz, tout en permettant la dilatation thermique, l'air refoulé par le compresseur circule autour des pièces de transition avant de passer dans la chambre de combustion, assurant ainsi leur refroidissement.



Figure I-14 : Disposition de la pièce de transition

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. Corps de la turbine | 5. Boulon de fixation de la pièce de transition |
| 2. Support de pièce de transition | 6. Ensemble de la directrice 1er étage et anneau support |
| 3. Pièce de transition | |
| 4. Corps refoulement compresseur | |

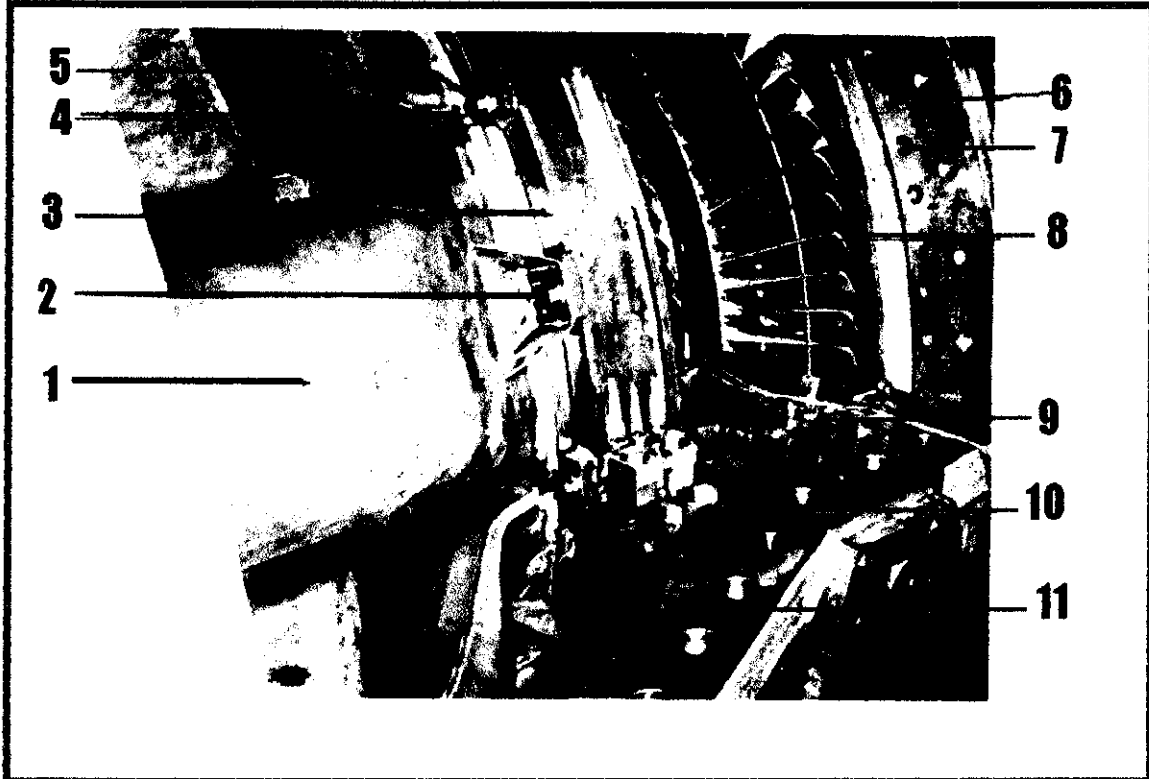


Figure I-15 : Disposition de la pièce de transition et de la directrice.

- | | |
|--|--|
| 1. Pièce de transition | 6. Diffuseur d'échappement |
| 2. Boulon de fixation de la pièce de transition | 7. Passages de l'air de refroidissement vers le diffuseur d'échappement (venant de la turbine) |
| 3. Anneau de support de la directrice 1er étage | 8. Roue de la turbine 2ème étage |
| 4. Joint d'extrémité de la pièce de transition étage | 9. Directrice et diaphragme 2ème étage |
| 5. Boulon et rondelle de la Patte de Fixation du Joint | 10. Brides horizontales (directrice premier étage) |
| | 11. Corps de la turbine |

I-VII- 4- Section turbine :**I-VII- 4- 1- Généralités :**

La section turbine est la partie dans laquelle les gaz à haute température provenant de la section de combustion produisent la puissance développée à l'arbre. La puissance nécessaire pour entraîner la charge et le compresseur est fournie par le rotor de la turbine à deux étages. Le premier étage dit "**roue haute pression**" et le second étage dit "**roue basse pression**" sont boulonnés ensemble afin de former une seule unité à travers laquelle les directrices du premier et du deuxième étage dirigent le flux des gaz de combustion. Ces composants ainsi que les étanchéités d'air et déflecteurs associés, sont contenus dans le corps de la turbine.

De l'air extrait du quatrième étage du compresseur est canalisé vers le corps de la turbine, il est injecté à l'arrière du corps en vue de refroidir la surface arrière de la roue de turbine deuxième étage.

I-VII- 4- 2- Directrice premier étage :

L'ensemble de la directrice premier étage (*Figure I-16*) comprend des cloisons profilées situées entre la paroi latérale intérieure et la paroi latérale extérieure. L'ensemble est divisée en segments, les segments étant fixés dans un anneau de support, lui-même tenu dans le corps de la turbine par un anneau de serrage. l'anneau et les cloisons de la directrice sont refroidis par de l'air de refoulement du compresseur soutiré de l'espace de transition de la chambre de combustion, Les cloisons de la directrice sont creuses et comportent des trous d'évent pratiqués dans leur bord de fuite afin d'assurer le refroidissement, l' air de refroidissement circule autour des parois latérales de

l'anneau de support, passe dans les cloisons creuses de la directrice, sort par les trous d'évent et rejoint la veine, des gaz. La construction du support de la directrice permet d'enlever la moitié inférieure de l'ensemble de la directrice sans avoir à déposer le rotor.

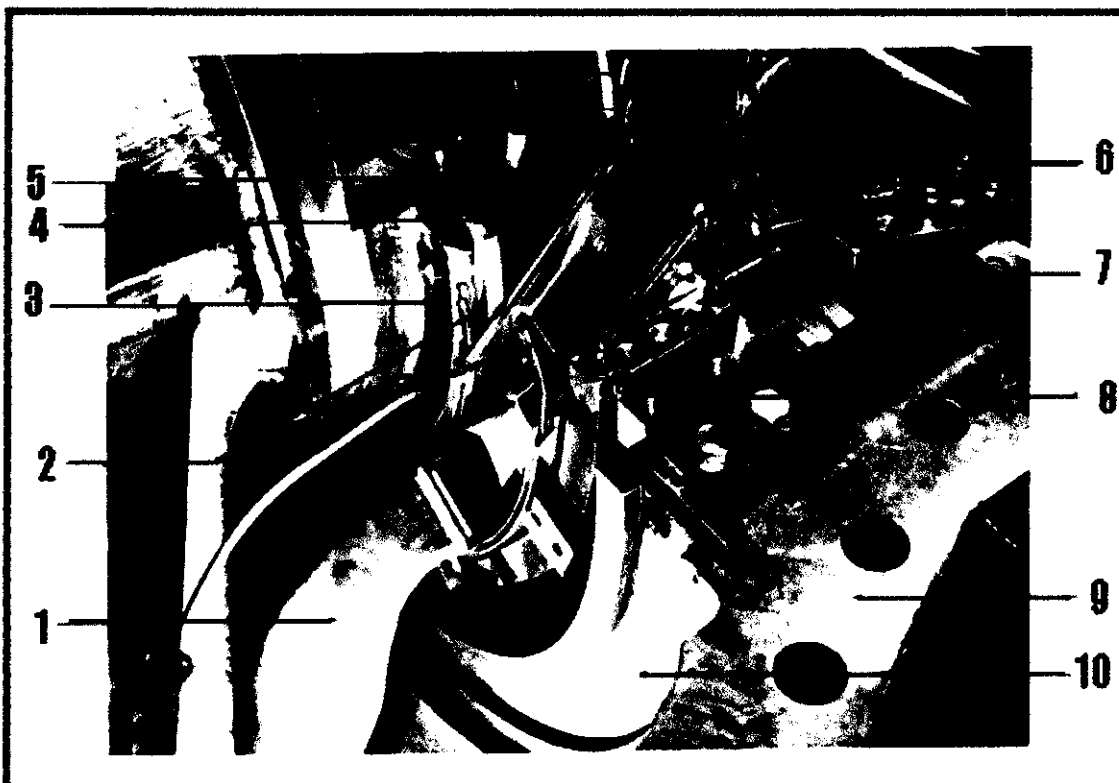


Figure I-16 : Disposition de blocage et d'étanchéité de la directrice du premier étage

- | | |
|---|---|
| 1. Pièce de transition | 7. Segment de protection de la turbine premier étage |
| 2. Bande d'étanchéité | 8. Brides horizontales de la directrice premier étage |
| 3. Anneau de serrage du joint | 9. Corps de la turbine |
| 4. Joint en L | 10. Fermeture de la cavité d'air de |
| 5. Anneau de support de la directrice premier étage | |

I-VII- 4- 3- Directrice deuxième étage et diaphragme :

L'ensemble de la directrice deuxième étage et du diaphragme est situé entre les roues de la turbine premier et deuxième étages (*Figure 1-11*), cet ensemble est tenu par serrage dans le corps de la turbine, l'ensemble comprend des cloisons profilées situées entre la paroi interne et la paroi externe, elles dirigent le flux de gaz vers les aubes du deuxième étage de la turbine, des tubes isolants sont installés dans les trous percés dans les cloisons afin de réduire au minimum l'échange de chaleur entre les cloisons de la directrice et le flux d'air se dirigeant vers l'espace des roues de la turbine.

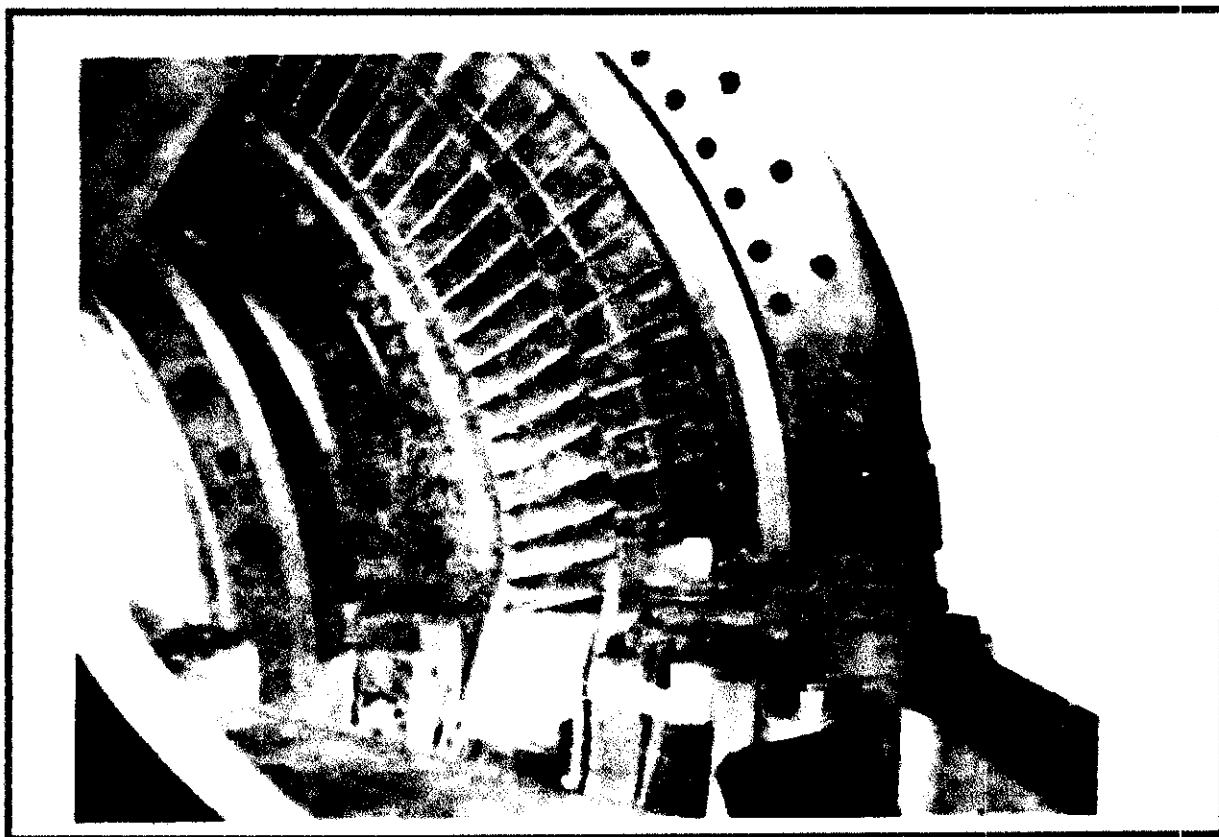


Figure I-17 : Disposition des roues de la turbine et des directrices premier et deuxième étage

L'ensemble du diaphragme dépasse vers l'intérieur de l'ensemble directrice jusqu'au rotor de la turbine afin de diviser l'espace entre les deux roues en une zone haute pression et une zone basse pression, cet ensemble contient les déflecteurs de refroidissement de la roue et les garnitures assurant l'étanchéité entre les espaces des roues du premier et du deuxième étage.

L'ensemble de la directrice et le diaphragme sont chacun divisés en deux moitiés à l'axe horizontal afin de faciliter l'entretien, la partie inférieure de l'ensemble du diaphragme est tenue en place et supportée par trois goupilles radiales dans la moitié inférieure de l'ensemble directrice, de cette façon, les moitiés inférieures des deux ensembles peuvent être manipulées d'un seul bloc pendant l'installation et la dépose, les deux moitiés supérieures sont manipulées séparément, cette conception permet d'enlever du corps de la turbine les deux moitiés inférieures sans avoir à déposer l'ensemble du rotor.

L'ensemble de la directrice deuxième étage et du diaphragme est tenu en position latérale dans le corps de la turbine par des goupilles excentriques installées dans les moitiés supérieure et inférieure du corps, ces goupilles excentriques sont cachées sous la bride de raccordement au corps de la tuyauterie d'air de refroidissement, la position verticale de l'ensemble est déterminée par un jeu de brides rectifiées situées au joint horizontal de chaque côté du corps de la turbine, afin de bloquer le déplacement de l'ensemble de la directrice lors de l'expédition et de l'installation, quatre goupilles de maintien sont installées dans le corps de la turbine, ces goupilles sont situées de façon à s'emboîter dans un logement usiné à l'arrière de l'anneau de la paroi externe de la directrice, ces goupilles (deux pour chaque moitié du corps) sont situées à 44 degrés à droite et à gauche de l'axe vertical du corps de la turbine.

L'anneau d'étanchéité limite les fuites d'air et dirige l'air de refroidissement à grande vitesse vers la zone des queues d'aronde de la roue deuxième étage. Cette grande vitesse est produite par le passage de l'air à travers les petits trous pratiques dans l'anneau d'étanchéité situe en vis à vis des queues d'aronde.

I-VII- 4- 4- Ensemble du rotor de la turbine :

L'ensemble du rotor de la turbine (*Figure 1-18*) comprend une rallonge reliant la turbine au compresseur et les roues et aubes du premier et du deuxième étage.

Les roues de la turbine sont des pièces forgées en alliage d'acier spécial pour hautes températures, la roue du deuxième étage (*Figure 1-19*) est forgée avec un bout d'arbre intégral sur lequel la fusée et la surface des étanchéités pour le palier (N° 2) et son étanchéité à huile sont usinées, le bout d'arbre comprend une bride pour l'accouplement de la machine entraînée, les aubes (*Figure 1-20*) ont des queues d'aronde de type axial et de type en sapin montées dans la jante de la roue qui comporte des rainures correspondantes en pied de sapin (*Figure 1-21*).

Les composants de l'ensemble du rotor sont équilibrés à l'avance, puis assemblés de telle sorte que l'ensemble complet du rotor demande un minimum de correction. L'ensemble du rotor est équilibré dynamiquement, toutes les corrections nécessaires étant faites à des emplacements judicieusement choisis pour compenser un déséquilibre interne.

L'ensemble du rotor de la turbine est boulonné sur l'ensemble du rotor du compresseur déjà équilibré, cet ensemble complet du rotor est alors équilibré dynamiquement, toutes les corrections nécessaires étant faites à des emplacements judicieusement choisis pour compenser un déséquilibre interne.

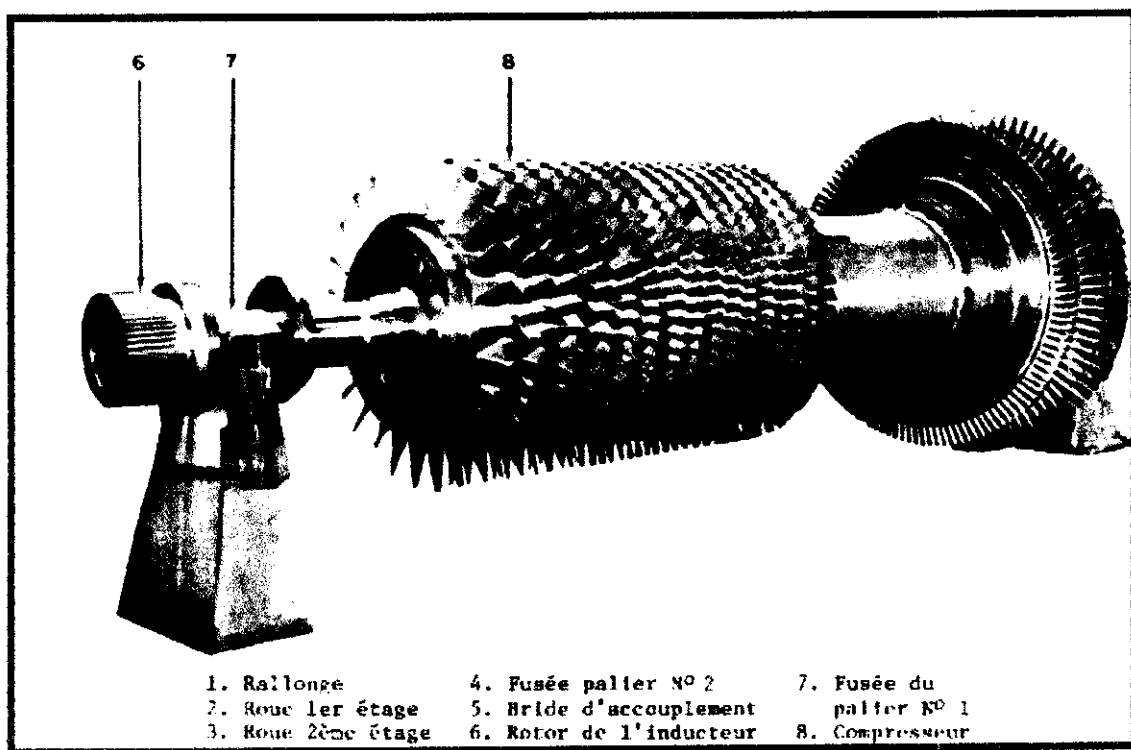
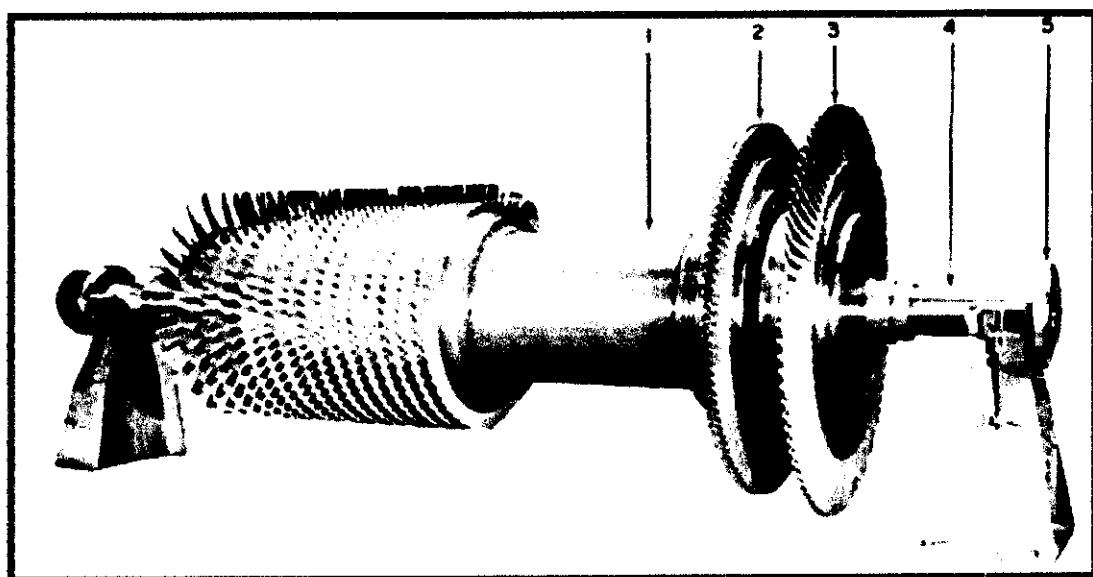


Figure I-18 : Rotor typique de turbine

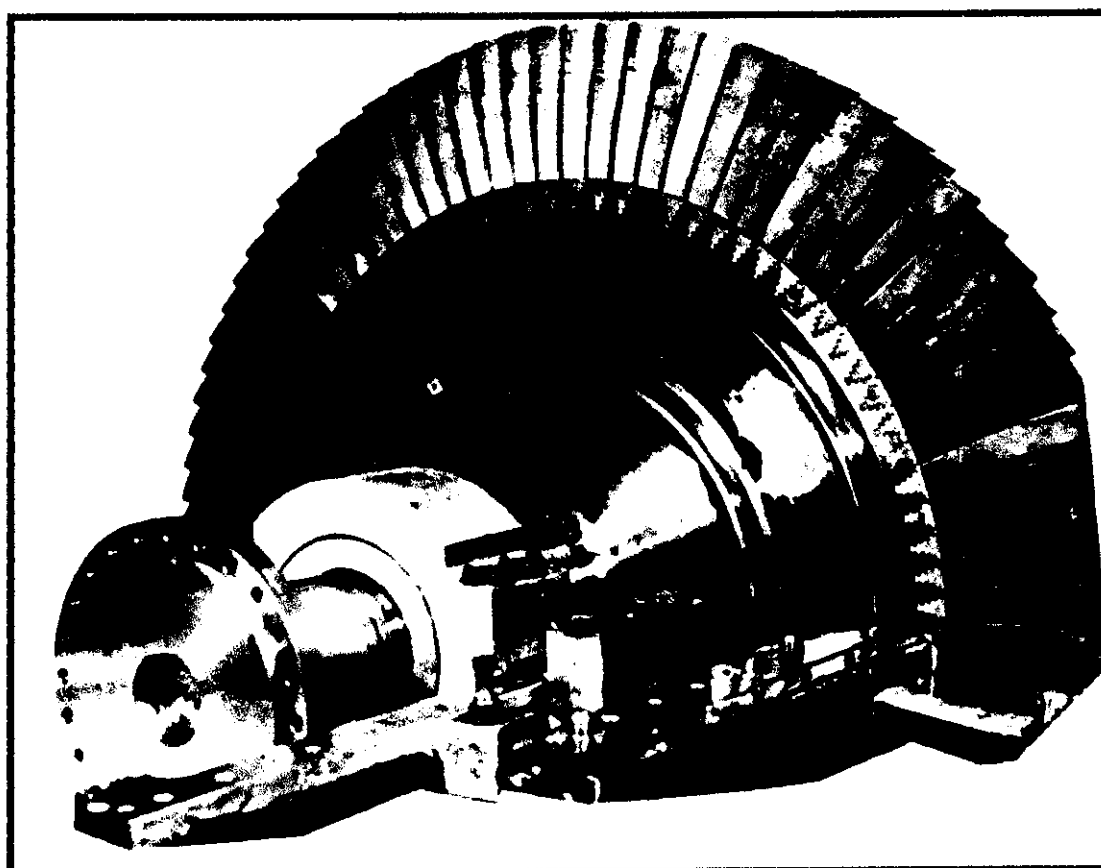


Figure I-19: Roue typique de deuxième étage.

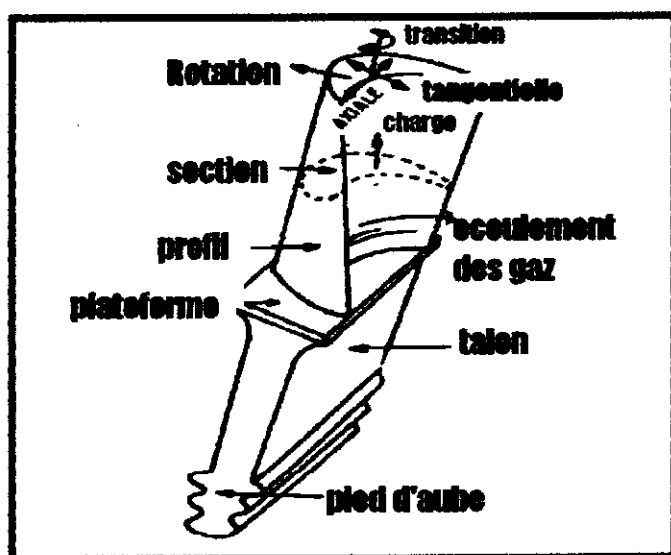


Figure I-20 : Détails d'une aube

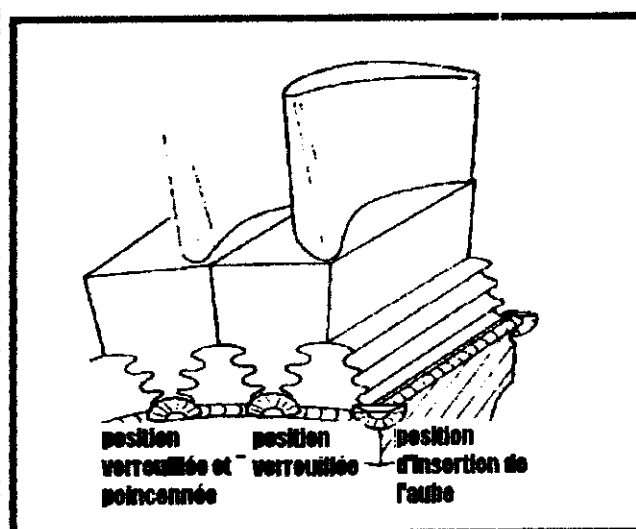


Figure I-21 : Montage des aubes

I-VII- 4- 5- Section d'échappement :

Les produits de combustion de la turbine à gaz sont refoulés dans le caisson d'échappement où ils se diffusent, ils passent ensuite à l'atmosphère par une cheminée.

Le caisson d'échappement est boulonné à l'extrémité arrière du compartiment de la turbine et il est monté sur l'extrémité arrière du socle de la turbine. Ce caisson garni de matériaux insonorisant entoure le diffuseur d'échappement et les déflecteurs.

Le diffuseur d'échappement est boulonné sur la bride arrière du corps de la turbine, il tient l'ensemble du palier N° 2, le diffuseur de gaz et les déflecteurs, ce diffuseur est isolé du caisson par des joints de la dilatation en segments, installés entre le caisson et l'anneau de support du diffuseur ainsi qu'entre le caisson et l'arrière du tambour interne des déflecteurs, ces joints de dilatation permettent la dilatation en direction radiale et en direction axiale.



CHAPITRE II

MAINTENANCE DE LA

TURBINE À GAZ



II-1- LA MAINTENANCE :**II-1- 1- Introduction :**

La maintenance vise à maintenir ou à rétablir un bien dans un état spécifié, afin que celui-ci soit en mesure d'assurer un service déterminé.

La maintenance regroupe ainsi les actions de dépannage et de réparation, réglage, révision, contrôle et de vérification des équipements matériels.

Un service de maintenance peut également être amené à participer à des études d'amélioration du processus industriel, et doit , comme d'autres services de l'entreprise, prendre en considération de nombreuses contraintes comme la qualité, la sécurité, l'environnement, le coût, ...etc.

II-1-2- Typologie de la maintenance :

Il existe (02) façons complémentaires d'organiser les actions de maintenance :

II-1-2-1- La maintenance corrective :

Qui consiste à intervenir sur un équipement une fois que celui-ci est défaillant, elle se subdivise en :

- ***Maintenance palliative :***

Dépannage (provisoire) de l'équipement, permettant à celui-ci d'assurer tout ou partie d'une fonction requise ; elle doit toutefois être suivie d'une action curative dans les plus brefs délais.

- ***Maintenance curative :***

Consistant en une remise en l'état initial.

II-1-2-2- La maintenance préventive :

Qui consiste à intervenir sur un équipement avant que celui-ci ne soit défaillant, afin de tenter de prévenir la panne. On interviendra de manière préventive soit pour des raisons de sûreté de fonctionnement (les conséquences d'une défaillance sont inacceptables), soit pour des raisons économiques (cela revient moins cher) ou parfois pratiques (l'équipement n'est disponible pour la maintenance qu'à certains moments précis). La maintenance préventive se subdivise à son tour en :

- ***Maintenance systématique, périodique ou programmée :***

Ces trois termes sont synonymes. Ils désignent des opérations effectuées systématiquement, soit selon un calendrier (à périodicité temporelle fixe), soit selon une périodicité d'usage (heures de fonctionnement, nombre d'unités produites, nombre de mouvements effectués, etc.).

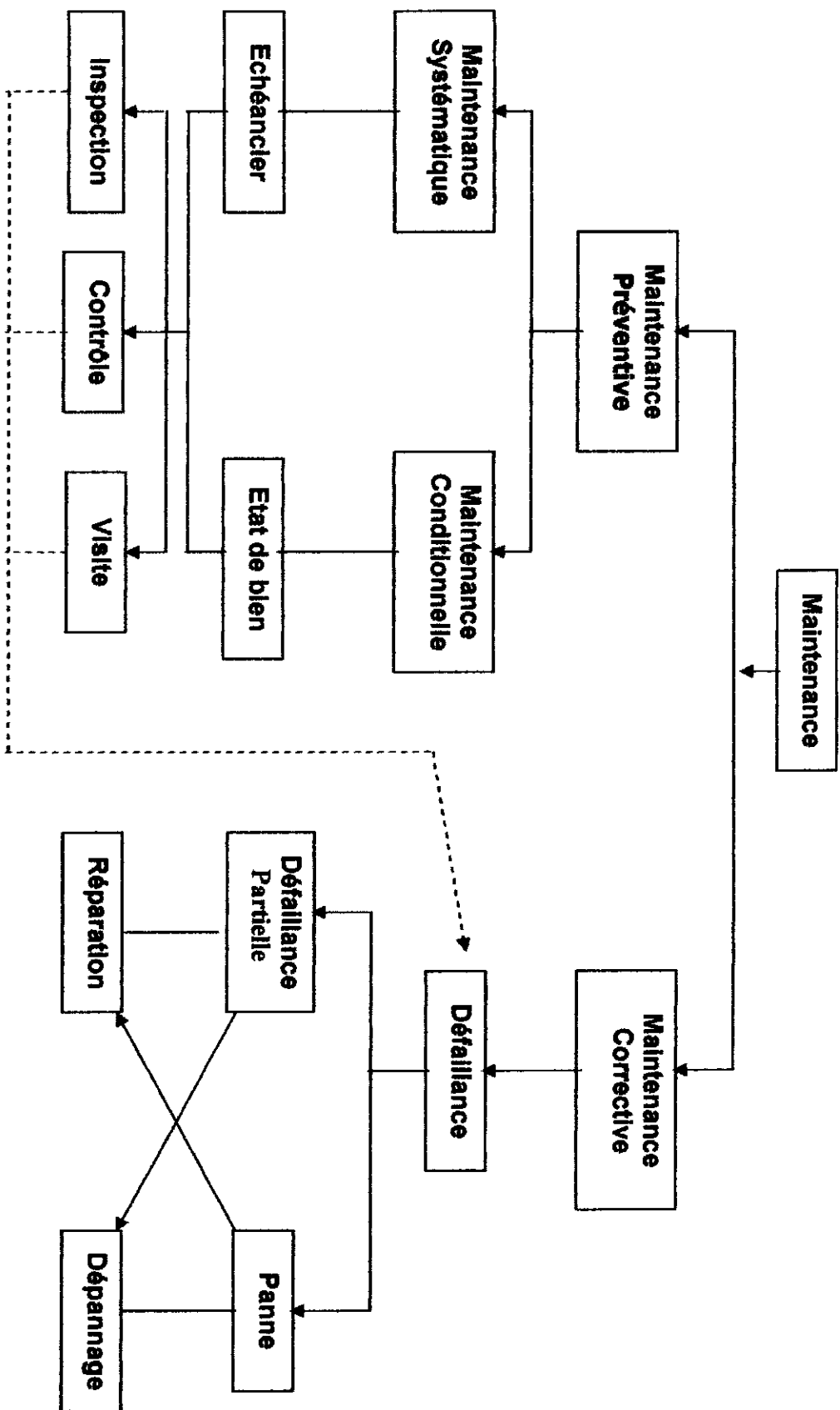
- ***Maintenance conditionnelle :***

Réalisée à la suite de relevés, de mesures, de contrôles révélateurs de l'état de dégradation de l'équipement.

- ***Maintenance prévisionnelle :***

Réalisée à la suite d'une analyse de l'évolution de l'état de dégradation de l'équipement.

II-1-3- Organigramme de maintenance.



II-2- LES TYPES DE DEFAILLANCE :

Un équipage d'opération n'est pas souvent en mesure de rapporter une défaillance comme telle. Il constate plutôt une condition d'opération insatisfaisante, un symptôme. Cette condition peut toutefois être conforme aux normes ou être une réelle défaillance. Sachant qu'une défaillance se définit par une condition insatisfaisante du fonctionnement des équipements. Il y a deux types de défaillances :

II-2- 1- Défaillance fonctionnelle :

Une défaillance fonctionnelle est l'inhabilité d'un article (ou de l'équipement qui le contient) à rencontrer au niveau de la performance spécifique.

II-2- 2- Défaillance potentielle :

Une défaillance potentielle est une condition physique identifiable, indiquant qu'une défaillance fonctionnelle est imminente. Le seuil de la défaillance potentielle est fonction de l'intervalle entre les inspections.

II-3- PROCEDURE DE SURVEILLANCE :

Les procédés de surveillance regroupent l'ensemble des techniques de contrôle non destructif qui ont été développées afin de rendre possible les inspections très complètes avec des démontages très limités:

- Contrôle endoscopique.
- Contrôle de vibrations.
- Contrôle de dispositif d'allumage.
- Contrôle des sondes de température.

- Contrôle de pression, température et carburant.
- Contrôle de survitesse et de déclenchement.
- Analyse d'huile de graissage.

II-4- ANALYSE DES DEFAUTS DE TURBINE À GAZ :

II-4- 1- Les avaries :

ELEMENTS	AVARIES par an %
Aubes de turbine	16
Paliers cotés compresseur	15
Paliers cotés turbine	14
Carter d'entrée des gaz	25
Carter de sortie des gaz	16
Anneau et aubes de tuyère	8
Diffuseur	3
Autres éléments	7

II-4- 2- Défaillance de fatigue :

Fissures et fractures dans les composant de la turbine à gaz apparaissent comme le résultat des 4 mécanismes différents :

- a. mise en forme rapide de la charge, la progression des fissures apparaît rapidement pour se terminer en fractures.
- b. Fatigue.
- c. fluage.
- d. fragilisation.

II-4-3- Taux de défaillance des éléments de la turbine :

ELEMENT	TAUX %
Rotor turbine	16
Stator	11
Circuits d'air	13
Chambre de combustion	7,1
Rotor compresseur	6,4
Paliers	7,7
Carter	3,9
autres	35

Les défaillances de fatigue sont indépendantes de la vie de la turbine à gaz, elles consistent en :

- fatigue du cycle.
- fatigue thermique.
- fatigue de corrosion.

Et elles provoquent :

- fractures (rapides/par impact).
- Ruptures.
- défaillances dus au pompage.
- Frottements.

II-4- 4- Défaillances des composants de la turbine à gaz :

composants	éléments	Défaillances
compresseur	Disque	<ul style="list-style-type: none"> • Fatigue a grand nombre des cycles • Fatigue a faible nombre des cycles
	Aubes mobiles	<ul style="list-style-type: none"> • Fatigue a haute fréquence des vibrations
	Aubes fixes	<ul style="list-style-type: none"> • Fatigue a haute fréquence de pompage (battements) • Résonance au pompage
Chambre de combustion	parois	<ul style="list-style-type: none"> • Fatigue thermique • surchauffé
turbine	Disque	<ul style="list-style-type: none"> • fatigue à faible nombre de Cycles aggravée par gradients thermiques • Fatigue a haute fréquence des vibrations
	Aubes	<ul style="list-style-type: none"> • battements • Ruptures de fluage
	Vannes directrices	<ul style="list-style-type: none"> • fatigue thermique • Déflexion par fluage • Surchauffe

II-5- ENTRETIEN :

Le fonctionnement de la turbine à gaz, comme toute les machines motrices tournantes, doit comprendre un programme de contrôle périodique, avec les réparations correspondantes et les éventuels remplacement des pièces, pour garantir une disponibilité et une fiabilité maximale du groupe.

II-5- 1- Facteurs de fonctionnement influant sur l'entretien :

Les effets des facteurs de fonctionnement pour le combustible, le démarrage et la charge sont cumulatifs, si tous les facteurs précités sont présents, ainsi que lorsque l'intervalle entre les contrôles et les réparations diminuent : la fréquence de remplacement des composants augmente.

Les facteurs qui influent sur la durée de vie des pièces pour n'importe quelle turbomachine sont :

a) Fréquences de démarrage :

Chaque arrêt et démarrage de la turbine à gaz soumettent le circuit des gaz d'échappement à des contraintes thermiques considérables, les systèmes de contrôles sont conçus pour minimiser ces effets. Toutefois, la nécessité du démarrage et d'arrêt fréquents de la turbine entraînera une durée de vie plus courte des pièces par rapport à celles des machines similaires en fonctionnement régulier et conforme aux normes d'utilisation.

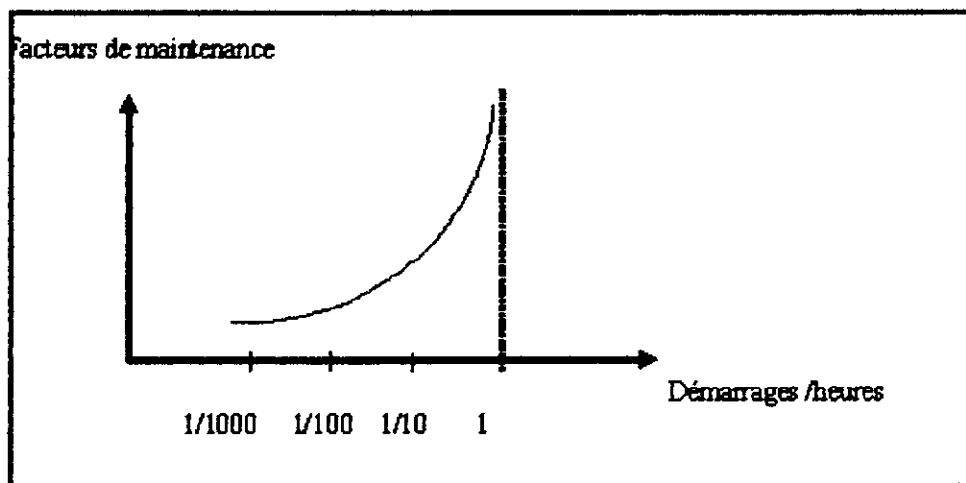


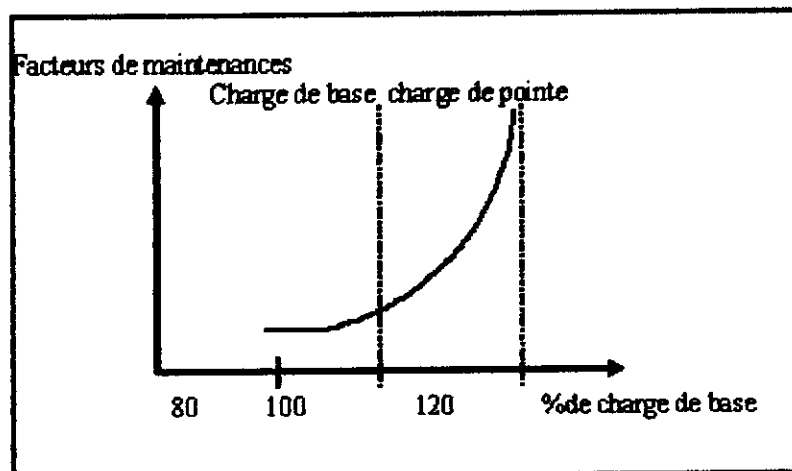
Figure II-1 : les facteurs de maintenance en fonction de nombre de démarrage par heure.

b) Milieu ambiant:

Les caractéristiques de l'air d'admission de la turbine peuvent avoir une influence négative sur le coût et les intervalles d'entretien, si l'air est abrasif ou corrosive. Si l'air d'admission contient des substances abrasives (sable) il faut faire très attention au filtrage afin de limiter cet effet ; et si la turbine doit fonctionner dans un milieu corrosif, il faut prêter attention au positionnement du système d'admission d'air et l'utilisation des revêtements de protection et des matériaux corrects.

c) Cycle de fonctionnement :

Le cycle de fonctionnement de la turbine, jusqu'à son régime continu, n'a qu'un effet limité sur la durée de vie des pièces, pourvu qu'il ne nécessite pas de variation de charges rapides et fréquentes.



figureII-2 : les facteurs de maintenance en fonction de la charge

e) Méthodes d'entretien :

Les informations sur l'état des pièces se base uniquement sur des estimations qui changeront selon les machines et les conditions de fonctionnement spécifiques. Ces estimations sont basées sur des expériences précédentes et peut s'avérer très utiles pour l'établissement d'un programme d'entretien. Le planning de contrôle initial peut se baser sur le programme de contrôle de la combustion et le contrôle majeur adapté au groupe ainsi que la liste des estimations des conditions d'indisponibilités.

f) Type de combustible :

Vue à l'énergie rayonnée dans la procédure de combustion et la capacité d'atomiser les différents combustibles liquides.

L'emploi du gaz naturel qui ne nécessite pas d'atomisation, présente le plus faible niveau d'énergie rayonnée et augmentera donc la durée de vie des pièces.

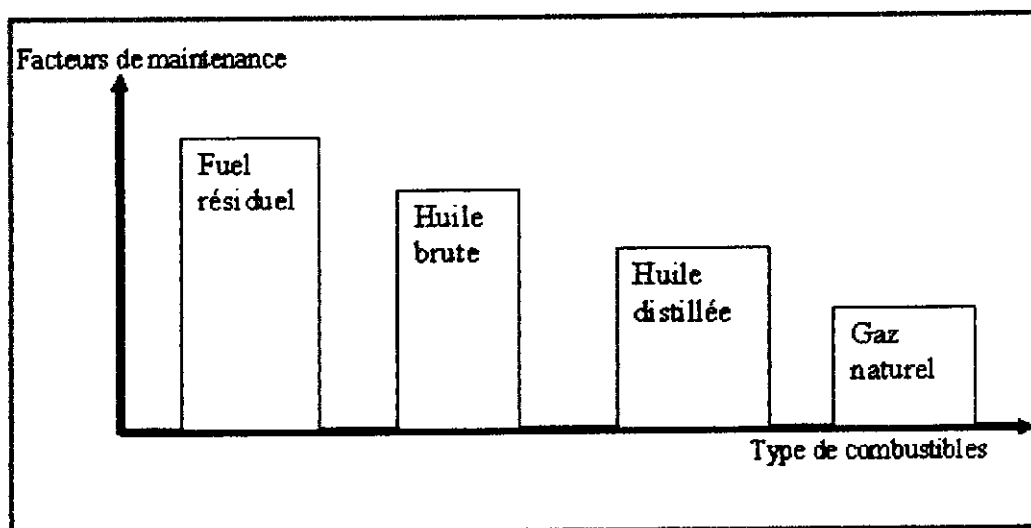


Figure II-3 : les facteurs de maintenance en fonction des types de combustible.

II-5- 2- types de contrôles:

Les types de contrôles peuvent être classés principalement en terme de contrôle en marche et à l'arrêt. Les contrôles en marche sont effectués pendant le démarrage et pendant le fonctionnement du groupe, ils indiquent l'état général de la turbine à gaz et des équipements qui y sont associée. Le contrôle à l'arrêt est effectué lorsque le groupe est immobilisé, il comprend les contrôles de : combustion, parcourt des gaz chauds, majeur et cela nécessite le démontage de la turbine à différents degrés.

Type de contrôle	Combustible	Intervalles d'intervention (heures)
Combustion	Gaz	12000
Parcourt gaz chauds	Gaz	24000
Majeur	Gaz	48000

a). Vérification avant lancement:

- 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.

b). 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.

c). Révision :

La préparation d'une révision se fait en plusieurs étapes et selon un planning bien déterminé, quelques jours avant l'arrêt programmé de l'unité. La planification de révision consiste à vérifier la disponibilité des pièces de rechanges, contrôle de l'outillage, constitution des équipes et la distribution du travail, ce sont les opérations les plus importantes pour la réalisation de la révision dans de bonnes conditions de travail et l'élimination des obstacles qui entravent le bon déroulement de la révision dans les délais préconisés par le planning de révision des équipes principales et auxiliaires, de la station de compression.



CHAPITRE III

**RÉPARATION D'UN
ROTOR DE TURBINE À
GAZ**



III-1- LES OPERATIONS DE REPARATION:

Tous les rotors de turbines de différentes tailles et de poids, sont réparés et révisés à la BCL qui comprend ainsi différentes opérations de réparations à effectuer au niveau de l'atelier de réparation turbines 3/1.

III-1- 1- Nettoyage:

Cette opération consiste à éliminer la calamine ou la rouille du rotor, le meilleur moyen de nettoyage est le sablage ou le grenailage.

a) *Le sablage* : c'est la projection des grains de sable par pression qui donne un bon nettoyage. Avant de commencer le sablage il faut couvrir les parties fonctionnelles ou sensibles du rotor, par des morceaux de caoutchoucs pour les protéger.

b) *Le grenailage* : c'est la projection de petites graines métalliques sous pression. Avant de faire le nettoyage à la grenailleuse, il faut protéger les parties sensibles du rotor avec des morceaux de caoutchoucs.



Figure III-1: Machine de sablage

III-1- 2-contrôle visuel :

Après la réception du rotor on fait l'inspection de toutes les parties du rotor, et on contrôle l'état général du rotor pour vérifier s'il n'y a pas d'endommagements pendant le transport et la manutention.

III-1- 3- Le contrôle géométrique:

En utilisant les moyens de manutention, pont roulant bipoutres 20/40T, pour poser le rotor sur les galets de la machine à équilibrer, le contrôle géométrique se fait dans le but de constater toutes les déformations géométriques tel que le saut, voile, flèche, battement radial en utilisant un comparateur à montre avec précision au centième et un micromètre (palmer).

III-1- 4- Le micromètre ou « palmer » :

Est un appareil de mesure des longueurs. Il est très utilisé en mécanique pour mesurer des épaisseurs, des diamètres de portées cylindriques (micromètre d'extérieur) ou des diamètres de perçage ou d'alésage (micromètre d'intérieur).

Son avantage réside dans la vis micrométrique qui lui donne une bonne précision ainsi qu'une bonne fidélité.

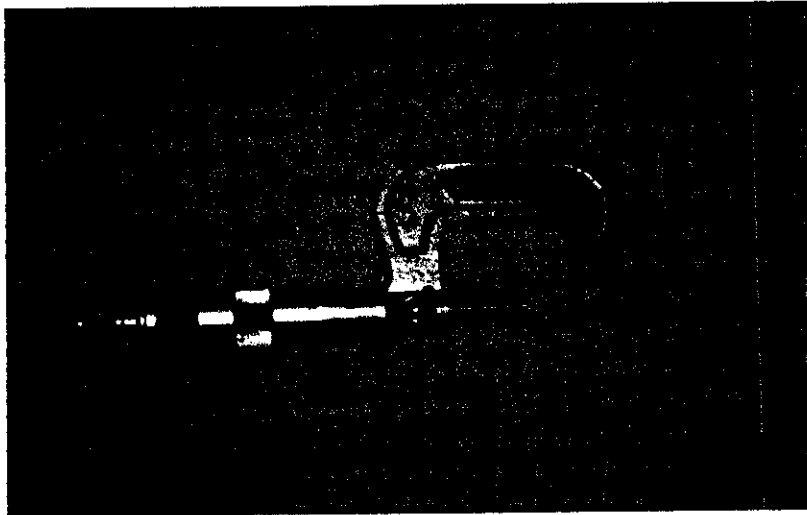


Figure III-2: Micromètre d'extérieur.

III-1- 5- Le contrôle dimensionnel:

Le contrôle dimensionnel se fait dans le but de relever toutes les cotes fonctionnelles. Les valeurs mesurées par les instruments de mesures (pied à coulisse, micromètre) sont notées pour les comparer par la suite avec les cotations mentionnées sur le plan du rotor donné par le client.

- **Pied à coulisse :**

Est un instrument de mesure destiné à la détermination et au contrôle de petites distances. Cet instrument est très utilisé en mécanique, permettant ainsi de mesurer facilement les cotes extérieures d'une pièce ou le diamètre d'un trou.

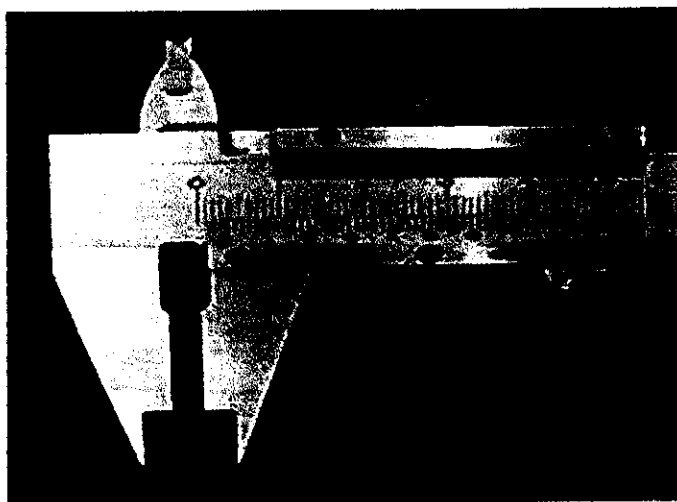


Figure III-3: Pied à coulisse.

III-1- 6- Le contrôle par le ressuage:

Le contrôle par ressuage se fait pour contrôler d'éventuelles fissures sur le rotor, par exemple : contrôler s'il y a des fissures au niveau des aubes, impulseur et portées fonctionnelles.

III-1- 6-1- Le ressuage:

Le contrôle par ressuage (Penetrant Testing en anglais, d'où son abréviation officielle : PT) est une méthode de contrôle non destructif, très utilisée dans l'aéronautique, l'industrie de production d'énergie, les transports, les prothèses chirurgicales.

Cette méthode permet de mettre en évidence des discontinuités débouchant sur tout métal, de nombreuses céramiques et de nombreuses pièces composites.

Cette méthode de contrôle non destructif (C.N.D.) est utilisée dans les fonderies, les forges et les unités d'usinage.

III-1- 6-2- Principe :

Depuis cette époque, la technique de ressuage a été perfectionnée et codifiée. On utilise actuellement, des pénétrants plus perfectionnés que l'huile. Ce sont généralement des produits pétroliers colorés (Sensibilité S1) ou fluorescents (Sensibilité S2 à S4) ; mais le principe reste le même.

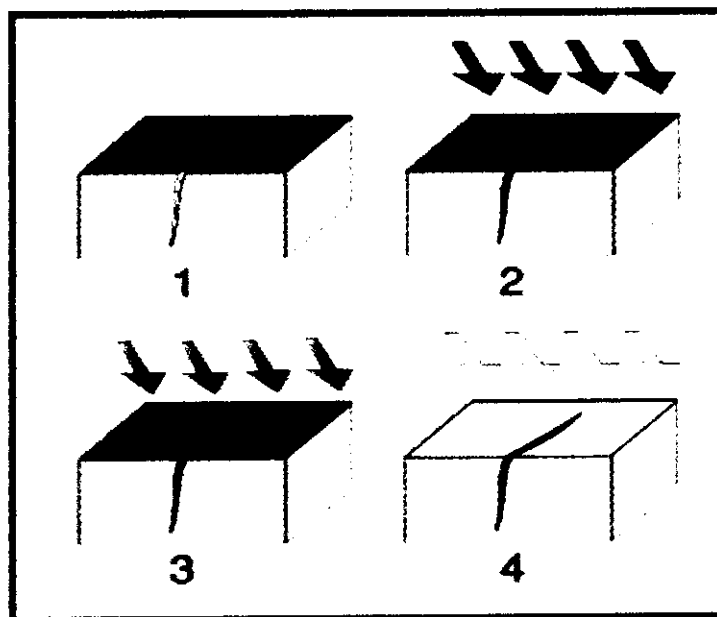


Figure III-4: Application de ressuage.

1. Coupe d'un matériau comportant un défaut débouchant, type fissure.
2. La surface du matériau est enduite de pénétrant.
3. Le pénétrant est éliminé par lavage.
4. Le matériau est enduit de révélateur, le défaut devient visible.

- On enduit la pièce à contrôler de pénétrant, par pulvérisation électrostatique ou par immersion (parfois par pulvérisation de pénétrant en aérosol, notamment dans le cas de ressuage localisé sur une ou plusieurs zones désignées d'une pièce volumineuse).
- On lave la pièce pour éliminer le pénétrant qui est déposé en surface. Les conditions de lavage (pression, température, durée) sont déterminées par la gamme de ressuage, afin de laver soigneusement le produit en surface sans éliminer celui qui a pénétré dans les éventuels défauts débouchant de la pièce.
- On sèche la pièce à l'étuve, parfois par à l'aide d'air comprimé (air sec) ou de chiffons propres, secs et non pelucheux.
- On applique ensuite le révélateur, en poudre, en suspension ou en solution.
- Et enfin, on examine la pièce, en lumière naturelle dans le cas de pénétrant coloré (S1), sous éclairage UV (ultraviolet) dans le cas de pénétrant fluorescent (S2 à S4), dans les délais impartis par la méthode de contrôle.
- On établit ensuite un rapport de contrôle et/ou une déclaration de conformité.



Figure III-5: Application de pénétrant.

III-1- 7- Contrôle de l'équilibrage :

C'est un contrôle de pré-équilibrage pour vérifier l'état d'équilibrage du rotor et déterminer tous les défauts d'équilibrage pour connaître aussi la cause de l'usure au niveau des deux portées de palier. Est-ce que cette usure est due à un mauvais équilibrage ou à un mauvais alignement du rotor.

III-1-8- Diagnostic

Après les différentes opérations de contrôle et inspection on établit un diagnostic pour définir les opérations de réparations (gamme de réparation) à faire sur le rotor.

Le diagnostic de réparation est fait par le chef de bureau technique à la base de toutes les informations données par le chef de service inspection et contrôle et le chef de section montage démontage et équilibrage.

III-1-8- 1- Rectification :

L'opération de rectification est faite par l'adaptation d'un dispositif de rectification cylindrique sur le tour parallèle. Après le centrage du rotor et le réglage de la machine on entame l'opération de rectification du rotor pour le préparer au chromage dur. Cette opération consiste à nettoyer les deux portées de paliers, pour éliminer l'usure.

Etapas de rectification sont :

- Installation du rotor sur le tour parallèle.
- Centrage du rotor sur la machine et contrôler avec un comparateur (alignement, axialité).
- Rectifier les deux portées de palier.
- Relever des cotes pour limiter la valeur de dépôt de chrome dur (0.2 à 0.3mm au diamètre).



Figure III-6: Installation du rotor sur un tour parallèle équipé d'une meule.

III-1-8- 1- 1- Définition de la rectification:

La rectification d'une pièce mécanique est une opération destinée à améliorer son état de surface.

La rectification s'effectue sur une machine-outil conçue à cet effet : la rectifieuse. Il s'agit de rectifier donc, d'uniformiser la surface voulue de façon à éliminer la friction qu'elle pourrait engendrer en entrant en contact avec une autre pièce.

La rectification plane consiste en un meulage horizontal de la pièce de façon à éliminer à plusieurs reprises des couches de matériaux allant de 20 à 40 micromètres (0,0005 à 0,001 pouce). Ici, la pièce est fixe et effectue un mouvement de va et vient uni-axial (gauche droite).

De même, la rectification double face consiste à rectifier les deux faces de la pièce en même temps.

Dans le cas de la rectification cylindrique, la pièce tourne sur elle-même en effectuant sa course le long de la meule.

Aujourd'hui avec l'apparition des nouveaux procédés d'usinage à grande vitesse, on voit également apparaître un nouveau procédé appelé rectification grande vitesse.

Contrairement à l'usinage traditionnel (enlèvement de copeaux par outils coupant), la rectification permet des usinages de précision dimensionnelle élevée grâce aux principes de l'abrasion.

III-1-8- 1- 2- Avantages de la rectification :

- Possibilité de s'attaquer aux matériaux les plus durs.
- Pouvoir atteindre des tolérances dimensionnelles de l'ordre du micromètre (0,001 mm).
- Obtenir des états de surface poussés ($< 0,1 \text{ Ra}$).
- Permet d'être moins précis sur l'usinage.

III-1-8- 1- 3- Matériaux :

Il est possible de rectifier :

- Acier classique non trempé.
- Acier trempé jusqu'à 70 HRC.
- Acier chromé dur.
- Céramique.
- Carbure.
- Plastique.

III-1-8- 2- Chromage dur :

C'est un procédé de réparation par rattrapage de cote. Parfois on utilise d'autres procédés de réparation comme le chargement par soudure. Dans le cas ou l'usure sur les portées des paliers est importante, on utilise aussi la métallisation (c'est une projection de poudre à l'aide d'un pistolet oxyacétylène).

A la fin, on transfère le rotor à l'atelier de traitement chimique pour effectuer l'opération du chromage dur.

III-1-8-2-1- Chromage :

Le chromage a la brillance métallique de couleur belle. Cette brillance ne s'obscurcit pas, ni se décolore. Le chromage étant très dur, son épaisseur est suffisante.

Le chromage est classé en deux types selon son usage :

III-1-8-2-2- Chromage décoratif :

Le chromage décoratif a pour but de donner une belle apparence avec une belle couleur, en général son épaisseur est très mince (0.15 à 0.25).

III-1-8-2-3- Chromage dur :

Le chromage dur est un procédé pour compenser des usures importantes qui nécessitent des épaisseurs de plusieurs millimètres. Traditionnellement, la dureté des métaux projetés n'est pas suffisante pour certaines utilisations. Le chromage dur a compensé ce manque par un apport de chrome final de l'ordre de 2/10ème d'épaisseur apportant des duretés de 70 Rockwells ou 1000Vickers.

III-1-8-2-4- Les avantages du chromage dur :

Le chromage dur est un dépôt électrolytique appliqué sur l'acier, la fonte les alliages d'aluminium, les alliages cuivreux, etc... Avec une épaisseur variant de quelques microns au millimètre, permettant d'exploiter les propriétés du chrome :

- dureté très élevée.
- résistance à l'usure.
- faible coefficient de frottement.
- non mouillabilité.
- résistance à la corrosion.

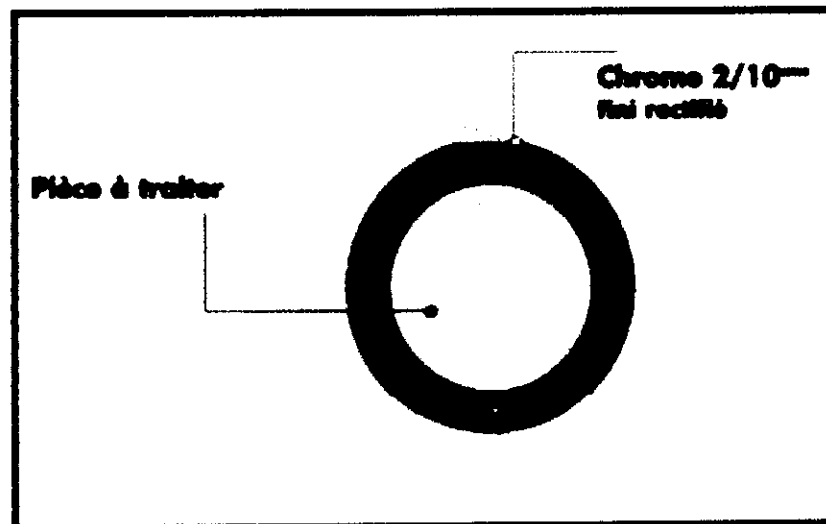


Figure III-7: Coupe d'une pièce chromée.

III-1-8- 3- Rectification des cotes finales :

Après le chromage dur des portées de palier on fait le dégazage (c'est un chauffage au four pour abaissement de la tension du chrome à 200°C).

Montage et centrage du rotor sur le tour parallèle pour la rectification des portées de palier à la cote d'origine (cotes finales).

Avant de désinstaller le rotor doit être contrôlé par le chef de service inspection et contrôle pour vérifier toutes les cotes fonctionnelles.

III-1-8- 4- L'équilibrage :

- Démontez tous les masselottes d'équilibrage.
- Posez le rotor sur l'équilibreuse et réglez les différents paramètres sur la machine.
- Corrections des défauts d'équilibrage par élimination du balourd sur les deux plans de correction P1 et P2.
- Mentionnez les valeurs des balourds pour établir un rapport d'équilibrage (voir le rapport d'équilibrage rotor turbine GTA 6 MW de NAFTEC ALGER).

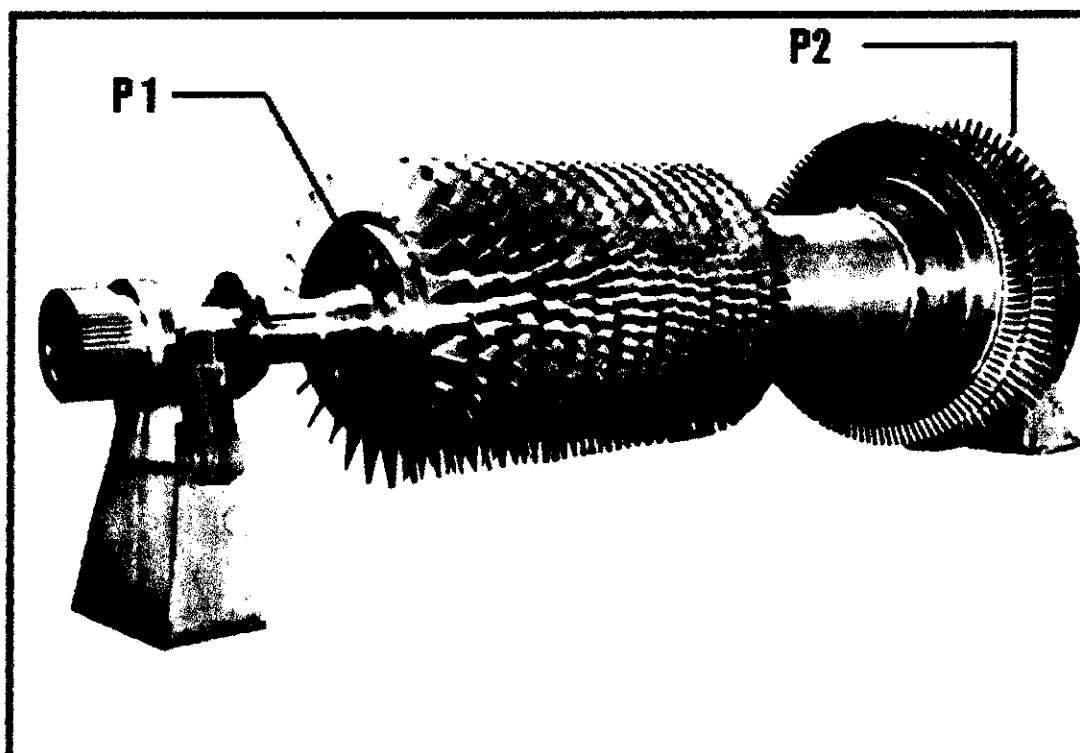


Figure III-8: Présentation des plans des masselottes.

III-1-8- 4- 1 Notion sur l'équilibrage :

L'équilibrage est une technique pour équilibrer un solide en rotation, c'est-à-dire de faire en sorte que sa rotation n'induisse pas d'efforts perpendiculaires à l'axe de rotation.

a) Le balourd :

Le balourd est un terme de mécanique classique caractérisant une masse non parfaitement répartie sur un volume de révolution entraînant un déséquilibre.

L'axe d'inertie n'est plus confondu avec l'axe de rotation.

• Balourd statique :

L'axe d'inertie est parallèle à l'axe de rotation.

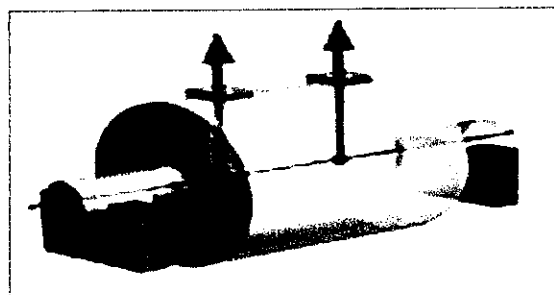


Figure III-9: Représentation du Balourd statique.

- **Balourd de couple :**

L'axe d'inertie et l'axe de rotation sont séquents.

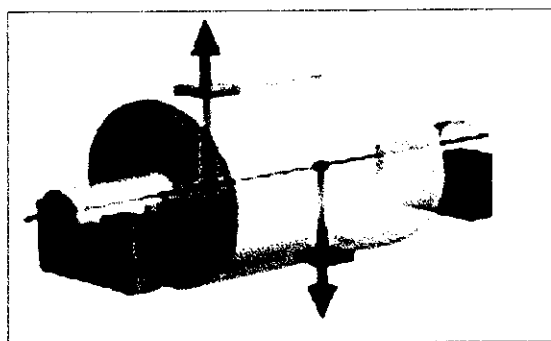


Figure III-11: Représentation du Balourd de couple.

- **Balourd dynamique :**

Le balourd dynamique est une combinaison des deux précédents.

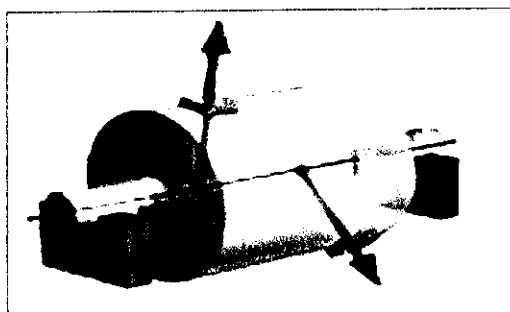


Figure III-10: Représentation du Balourd dynamique.

b) Types d'équilibrages :

- **Équilibrage statique :**

Un solide est équilibré statiquement si, quelle que soit la position angulaire à laquelle il est lâché, la gravité ne le fait pas bouger. Un cylindre de section circulaire est équilibré statiquement par rapport à son axe. Ce même cylindre n'est pas équilibré statiquement par rapport à un autre axe.

- **Équilibrage dynamique :**

Définition générale d'équilibrage : un solide est dit équilibré lors de sa rotation autour d'un axe fixe si et seulement si son centre de masse est sur l'axe de rotation et l'axe de rotation est un axe principal d'inertie pour ce solide.

L'équilibrage statique consiste à placer le centre de gravité sur l'axe de rotation.

L'équilibrage dynamique consiste à faire coïncider l'axe de rotation avec un des axes principaux d'inertie.

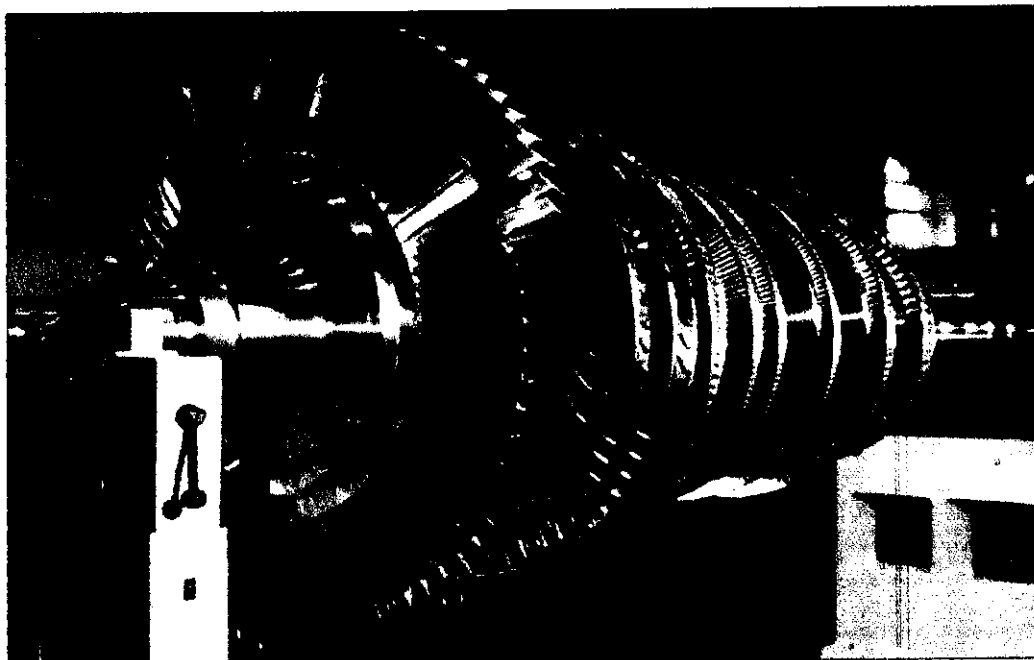


Figure III-12: Rotor installer sur l'équilibreuse.

III-2- Exemple d'un rapport d'équilibrage :

**REPUBLIQUE ALGERIENNE
DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

MINISTERE DE LA DEFENSE

NATIONALE

1ère REGION MILLITAIRE

B.C.L

N°/ TURBINES/ BCL /02.

EQUILIBRAGE

DOSSIER / 4799

COMMANDE N° : 02.10.09.20

DESIGNATION ROTOR TURBINE G.T.A 6 MW

CLIENT : NAFTEC ALGER.

**BALOURD INITIAL APRES ENLEVEMENT DE TOUTES LES MASSES SUR LES
502° PLANS PLAN1 COTE BP 150 GRS A 242° PLANT2 COTE HP 35 GRS A 70°**

CORRECTION POSE DE MASSELOTES SUR LES DEUX PLANS

REPARTITION DES MASSES DANS LES TROUS

**PLAN1 COTE BP 71GRS AU N°5, 71 GRS AU N°6, 50GRS AU N°4, 30GRS AU
N°10.**

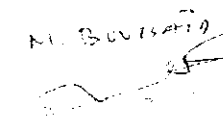
PLAN2 COTE HP 50GRS AU N°11 ET 30GRS AU N°5

BALOURD RISIDUEL

PLAN1 COTE BP 12 GRS À 220°.

PLAN2 COTE HP 7 GRS À 260°.

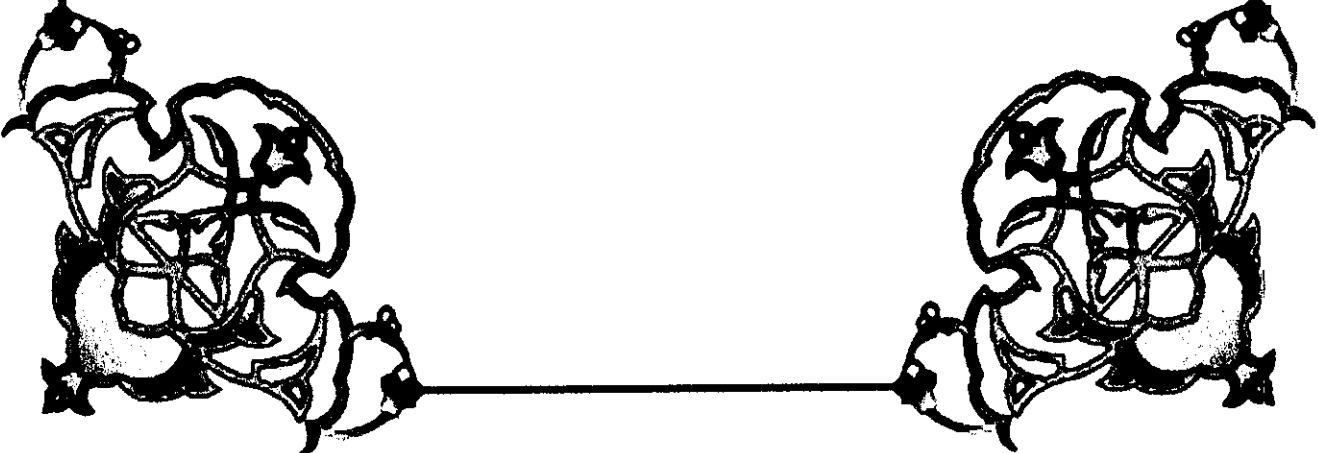
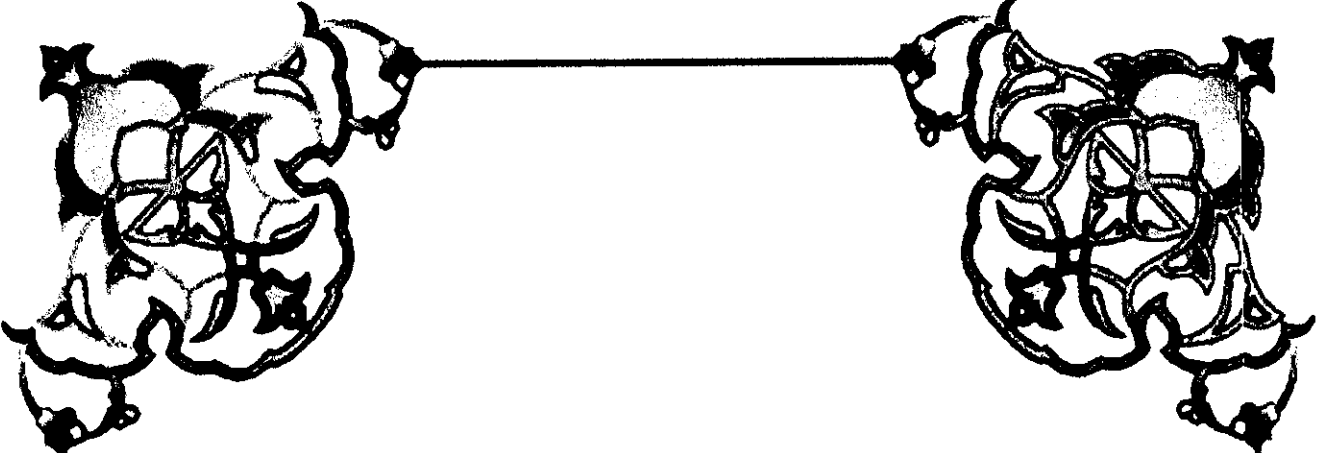
CHEF D'ATELIER

M. BOUISAFIA


III-3- Recommandations :

A la fin des opérations de réparation et après la décision des techniciens de maintenance de l'atelier de réparation turbine 3/1 et le responsable de maintenance de NAFTAC ALGER, nous avons essayé d'analyser les causes d'usure constatées au niveau des portées de palier du rotor.

- l'usure au niveau des paliers est due à des vibrations où a un déséquilibre du rotor.
- il faut inspecter soigneusement tous les paliers et veiller au bon graissage des paliers.
- inspecter tous les joints d'étanchéité et les labyrinthes de deux cotés BP et HP.
- inspecter l'alignement du rotor.
- il faut bien appliquer les opérations de maintenance préventive (visite, contrôle,... etc.) prenant en compte le vieillissement du rotor (rotor TAG de NAFTAC ALGER exploité de puis 1963).



CONCLUSION

Conclusion

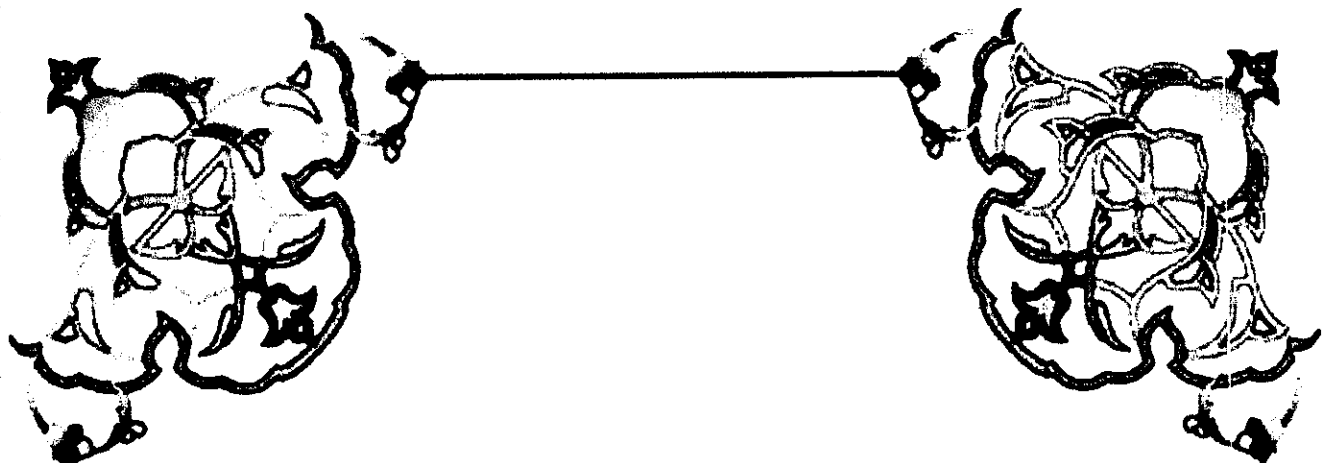
Au demeurant, il a été toujours admis et vérifié, que la pratique trouve sa source d'inspiration dans la théorie, alors que celle-ci peut faire l'objet d'aménagement au regard de l'expérimentation de l'idée première.

Ce stage, est l'occasion pour nous d'exploiter les connaissances acquises à l'université et découvrir l'ambiance du milieu industriel.

Ce stage nous a permis d'améliorer nos connaissances, afin de mieux percevoir les procédés théoriques.

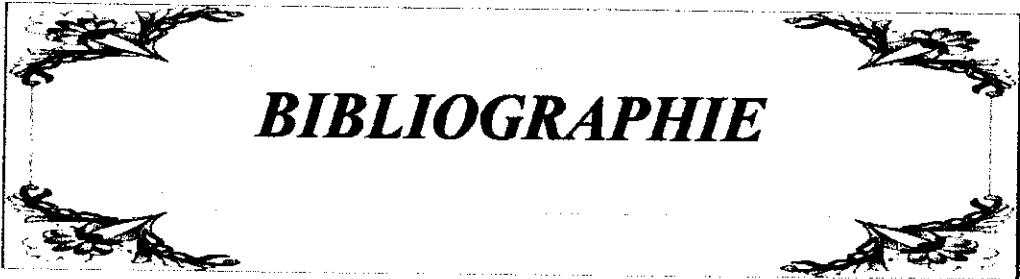
Ce qui nous a permis d'assister aux opérations de réparation et de connaître les procédures de réparation rotor.

Notre programme d'occupation pratique était d'assister à l'opération de réaillage, mais ce ne fut le cas avec regret, sachant que cette opération ne se réalise au niveau de la **BCL**.



THE
MIDDLE
SECTION
OF
THE
PAGE
CONTAINS
A
RECTANGULAR
FRAME
WITH
FADING
TEXT
INSIDE.





BIBLIOGRAPHIE

Les Manuels :

- **Turbine a gaz AEG-KANIS.**
- **Instructions d'utilisation et d'entretien (SOILARTURBINE INTERNATIONAL).**
- **Description sur la turbine à gaz GE.**

Livres :

- **Régulation de la turbine
Ecole nationale de métiers 'électricité de France'
de GURCY-le-CHATEL-77.**
- **Turbine a vapeur type R.U.S.T (instruction pour
l'installation, la mise en route et l'entretien).**

Les sites internet :

- http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quilibrage_%28m%C3%A9canique%29 »
- http://www.equilibrage.net/warum_auswuchten/momentenunwucht.html
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Pied_%C3%A0_coulisse