

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique
Université Saad Dahleb de Blida
Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département d'Aéronautique



**Mémoire de Fin d'Etudes en Vue de l'Obtention
Du Diplôme d'Etude Universitaire Appliquée**

Spécialité : Propulsion

THEME

**ETUDE DESCRIPTIVE DE MOTEUR
CFM 56-7B et MAINTENANCE DU
COMPRESSUER BASSE PRESSION**

Réalisé par :

Mr: KOHIL Abdellah

Encadré par :

M^r: Allali Abdeerrazak

ANNEE UNIVERSITAIRE 2008 /2009

RESUME

- Nous travail est porté sur la maintenance du réacteur CFM 56-7B plus précisément sur le compresseur basse pression.

Nous avons proposé la gestion d'un service de maintenance constructive.

Une maintenance préventive et corrective a été proposée. Elle se fait selon les normes établies par le constructeur du réacteur CFM 56-7B et se fait au niveau de l'atelier et en ligne.

- Our study was done on the maintenance of the engine CFM 56-7B and more precisely its compressor low pressur.

His maintenance preventive and curective. The maintenance follows its's the rules established by the constructor and it's done in the shop and on line.

- العمل الذي قمنا به كان حول صيانة المحرك CFM 56-7B و بالتدقيق كان عملنا حول صيانة صيانة ت :

صيانة وقائية و صيانة علاجية. هذه الصيانة تخضع لقوانين مسطرة من طرف المصنع و تتم في الورشة أو في الميدان.

REMERCIEMENTS

Avant toute personne nous remercions Dieu qui nous à donné le courage et la patience pour la réalisation de ce modeste travail.

Ce travail est le résultat de nombreuses collaborations, il est agréable d'exprimer nos vifs remerciements à tous ceux qui ont aidée à le concrétiser.

Nous somme redevables pour l'élaboration de ce mémoire à notre :

- Promoteur **ALLALI ABDERZAK.**
- Co-promoteur **BEN OUMAR ABDERKADER.**
- Pour ses précieux conseils et pour la clarté de notre réalisation.

Enfin, à tous les professeurs du département d'AERONAUTIQUE de l'université de BLIDA.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail de fin d'étude à :

Mes parent, les plus chers dans ma vie, eux qui ont souffert sans se plaindre à

M'élever, afin que j'atteigne ce niveau, eux qui m'ont soutenue dans ma joie,

Dans ma tristesse, dans ma fatigue et dans mes moments de faiblesse.

*A mes frères : **Houssine, Khaled, Outhmaine**
Sans oublier mes chers sœurs : **Liela, Salma, Amina, Hadjer, Mariam.***

*A toutes mes amies, en particulier, **yassine et Fouad, Farouk, Rachid, Felag, Texasse saifdene***

A toute mes familles « parentales et maternelles » sans exception.

Enfin, Je tien à remercier tout ceux et celles qui ont contribué de près et de

loin à l'élaboration de ce travail.

ABDELLAH

LISTES DES FIGURES

FIGURE I.1 : MOTEUR CFM 56-7B

FIGURE I.2 : DESCRIPTION DES ELEMENTS DE CONE

FIGURE I.3 : LES ACCESSOIRES DE MOTEUR SUR L'AGB

FIGURE I.4 : LE CARTER FAN

FIGURE I.5 : LA POSITION DE LA VANNE DE DECHARGE

FIGURE I.6 : LA POSITION DE LA VANNE DE DECHARGE

**FIGURE I.7 : CAMPE TRANSVERSALE ET LONGITUDINALE DE
CGAMBRE ANNULAIRE**

FIGURE I.8 : PHOTO TRANSVERSALE D'UN CHAMBRE ANNULAIRE

**FIGURE I.9 : LES DIFFERENTS ELEMENTS QUI CONSTITUE LA
CHAMBRE DE COMBUTION**

FIGURE I.10 : L'ENTREE DE L'AIR PRIMAIRE

FIGURE I.11 : L'ENTREE DE L'AIR SECONDAIRE

FIGURE I.12 : LES FORCES APPLIQUEES SUR LES AUBES

FIGURE I.13 : LIMITATIONS

FIGURE I.14 : CHOCS THERMIQUE

FIGURE I.15 : DIAGRAMME DE POINT DE FUSION DE METAL

FIGURE I.16 : DIAGRAMME THERMODYNAMIQUE

FIGURE II.17 : LE DIAGRAMME DE VITESSE

FIGURE II.18 : LES FORCES AERODYNAMIQUES, THERMIQUES

FIGURE I.19 : AUBE ROTORIQUE

FIGURE I.20 : AUBE STATORIQUE

FIGURE I.21 : CIRCUIT CARBURANT

FIGURE I.22 : CIRCUIT DE GRAISSAGE

FIGURE I.23 : CIRCUIT D' AIR

FIGURE I.24 : LA POSITION DES STATIONS A CALAGE VARIABLE

FIGURE II.25 : REPARATION TYPE DES TROIS (03) ZONES

FIGURE II.26 : LES DIFFERENTES PHASES

FIGURE II.27 : DIAGRAMME DE LA DEFORMATION

FIGURE III.28 : CONE DE PENETRATION AVANT

FIGURE III.29 : CONE DE PENETRATION (AVANT/ARRIERE)

FIGURE III.30 : MODULE FAN ET BOOSTER

FIGURE III.31 : INSPECTION BOROSCOPIQUE

FIGURE III.32 : INSPECTION BOROSCOPIQUE DU 2^{eme} ETAGE

COMPRESSEUR BASSE PRESSION

FIGURE III.33 : INSPECTION BOROSCOPIQUE 2^{eme} ET 3^{eme} ETAGE

COMPRESSEUR BASSE PRESSION

FIGURE III.34 : INSPECTION BOROSCOPIQUE 4^{eme} ETAGE

COMPRESSEUR BASSE PRESSION

FIGURE III.25 : INSPECTION DES AILETTES REDRESSEUR FAN (OGV)

FIGURE III.26 : PANNEAU ACCOUSTIUE AVANT

FIGURE III.27 : PANNEAU ACCOUSTIQUE ARRIERE

FIGURE III.28 : PANNEAU ACCOUSTIQUE

FIGURE III.29 : INSTALATION AILETTES FAN

FIGURE III.30 : DEPOSE AILETTES FAN

FIGURE III.31 : DEPOSE AILETTES FAN

FIGURE III.32 : DEPOSE AILTTES FAN

I.1.HISTORIQUE:

I.1.1.Naissance:

Le CFM est issu du réacteur General Electric F101 destiné au bombardier stratégique Rockwell B-1 Lancer.

Au sien de CFM International, GE Aircraft Engines est chargé de la partie haute pression du moteur, aussi appelé corps (compresseur haute pression, chambre de combustion et turbine haute pression) et Snecma de la partie basse pression (la soufflante ou fan, compresseur basse pression et turbine basse pression) ainsi que des accessoires et de la tuyère d'éjection.

Chacune des entreprises a sa propre ligne d'assemblage et produit donc des réacteurs complets. Le nom CFM-56 n'est pas un acronyme, c'est un clin d'œil aux noms des moteurs les plus importants que fabriquaient General Electric (Le CF6) et la SNECMA (le M5) au moment du lancement du projet.

-CFM56-2 :

C'est la première version du réacteur qui fut conçu pour remotoriser les McDonnell Douglas DC-8. Ce fut un succès et le CFM56-2 fut également choisi pour remotoriser les avions de la famille Boeing C-135 (la plupart sont des ravitailleurs). Environ 1800 CFM56-2 ont été produits, d'une puissance qui va de 98 à 108 KN.

-CFM56-3 :

Après le succès du CFM56-2 sur le marché de la modernisation d'avions anciens, le CFM56-3 consacrera la réussite en étant choisi par Boeing comme motorisation exclusive pour sa nouvelle gamme de Boeing 737, les Boeing 737-300, 400 et 500, également appelés *Boeing 737 Classique*.

Plus de 4500 CFM56-3 ont été construits depuis sa certification en 1984, ce qui en fait le réacteur le plus largement produit de toute l'histoire de l'aviation dans une gamme de puissance de 82 à 105 KN.

Le Boeing 737 ayant été conçu à la base avec un réacteur de plus petit diamètre, il a fallu réduire la hauteur du réacteur pour qu'il ne frotte pas par terre. Les ingénieurs ont donc conçu une nacelle dont la base est aplatie, ce qui lui donne un aspect caractéristique. De ce fait, on surnomme parfois affectueusement le Boeing 737 «*couilles plates*».

-CFM56-5A et CFM56-5B :

Sur la lancée du modèle précédent, le CFM-56-5A fut conçu pour le grand rival du Boeing 737, l'Airbus A320.

Le CFM56-5A a été certifié en 1987, et est disponible dans des puissances de 98 à 118 KN.

C'est également le premier modèle de CFM-56 à disposer d'un système de régulation électronique pleine autorité (FADEC).

Le CFM56-5A équipera également l'Airbus A319 à sa sortie en 1996.

Le CFM56-5B est une évolution du CFM56-5A qui entre en service en 1994 et équipe toute la gamme des Airbus A318, A319, A320 et A321. Il est disponible dans une gamme de puissance de 98 à 142,50 KN.

Contrairement au Boeing 737 où il est la seule motorisation possible, les CFM56-5A et CFM56-5B sont en concurrence avec l'International Aero Engines V2500 (A319, A320 et A321) ainsi qu'avec le Pratt & Whitney PW6000 (A318) et équipent environ 60% des avions de la famille A320. Plus de 2500 exemplaires ont été produits à ce jour.

-CFM56-5C :

Après le succès sur les biréacteurs court et moyen courriers des versions précédentes, le CFM56-5C conçu pour l'Airbus A340 marque un retour aux quadriréacteurs long courriers.

Le CFM56-5C équipe en exclusivité les versions A340-200 et A340-300 et dispose de puissances comprises entre 139 et 151 KN.

Pour le CFM56-5C, CFM International fournit un ensemble complet spécialement optimisé comprenant le moteur, la nacelle et la tuyère d'éjection.

Le choix d'un si petit moteur sur un avion de la taille de l'Airbus A340 peut paraître surprenantes et certaines mauvaises langues l'appellent «*l'avion aux quatre sèche-cheveux*» et prétendent même que son taux de montée est si faible qu'il ne décolle que parce que la terre est ronde.

Pour les versions A340-500 et A340-600, le CFM56 ne sera plus assez puissant, et Airbus aura recours à quatre Rolls-Royce Trent 500 d'une taille mieux proportionnée à l'avion.

-CFM56-7B

Le CFM56-7B est le réacteur qui équipe en exclusivité les dernières évolutions du Boeing 737, les version B737-600, 700, 800 et dites Boeing 737 NG pour nouvelle génération.

Il a été certifié en 1996, dispose des dernières avancées technologiques et est disponible dans des puissances de 87 à 121 KN

I.1.2. Statistiques CFM56 :

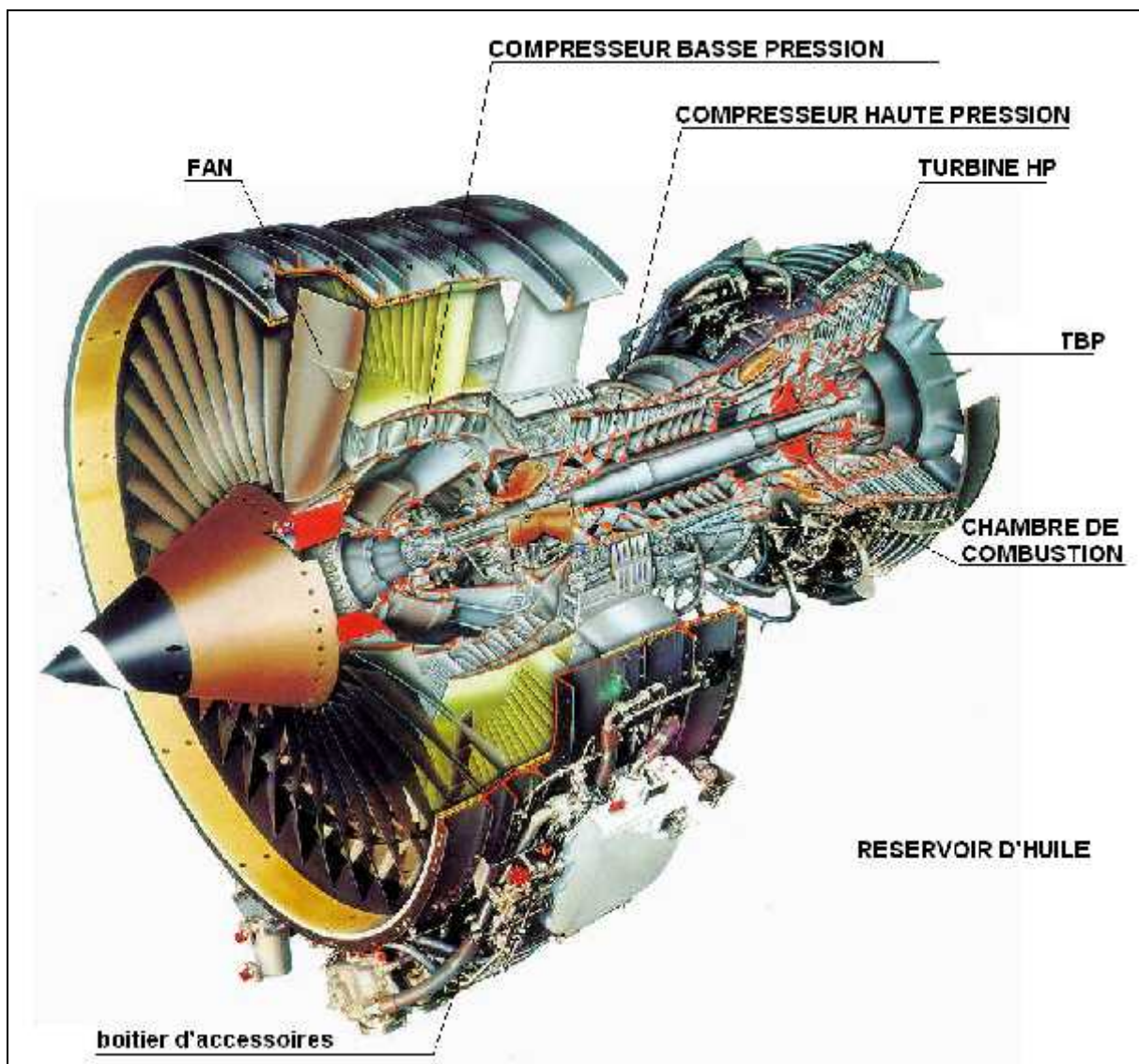
État de la flotte CFM56 au 31 Octobre 2005.						
Moteur	Avion	Nombre d'avions en service	Nombre de moteurs en service	Nombre d'opérateurs	Heures de vol cumulées	Nombre de cycles cumulés
CFM56-2A	E3/KE3/E6	41	193	4	1 699 068	675 442
CFM56-2B	KC/RC135	465	1 952	4	10 396 285	4 558 681
CFM56-2C	DC8-70	105	524	19	15 065 815	6 300 086
CFM56-3	B737-300/400/500	1 969	4 498	188	148 275 327	106 275 559
CFM56-5A	A319/A320	527	1 178	47	30 404 162	18 552 610
CFM56-5B	A319/A320/A321	952	2 006	90	21 870 627	12 909 192
CFM56-5C	A340	235	1 083	40	31 083 084	4 789 887
CFM56-7B	B737 NG	1 789	3 794	152	44 157 229	23 018 435
Total	6 083	15 228	544	302 951 597	177 079 892	Total

I.2. Description du réacteur CFM56-7B :

Le réacteur CFM56-7B équipe le Boeing 737-800 NG un moteur double flux double corps et à taux de dilution élevé.

Un autre objectif important pour le CFM56-7B consistait à offrir aux compagnies une réduction de 15 % des coûts de maintenance par rapport au CFM56-3C1 à sa poussée maximale de 105 KN.

I.3. ELEMENTS CONSTITUTIFS DU MOTEUR :



MOTEUR CFM56-7B

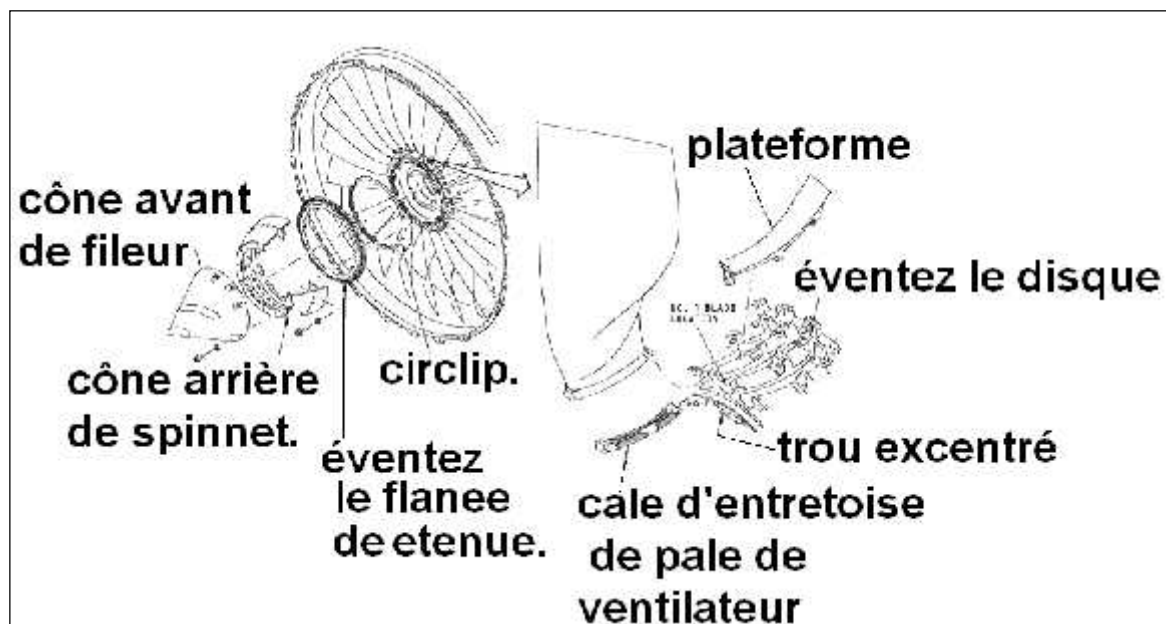
I.3.1. Entre d'air :

L'entrée d'air se présente sous la forme d'un conduit, son rôle est de raccorder le plus avantageusement (champ de vitesse le plus homogène possible) les filets d'air avec l'entre du compresseur et cela le domaine de vol.

Forme d'entrée d'air :

Un avion commercial évoluant en subsonique $M=0.8$ doit être doté d'une entrée d'air simple divergente est également nommée entrée d'air annulaire de type **Pitot**. C'est un conduit dans lequel le fluide subit un ralentissement adiabatique où température totale est constante. D'autre part, si le nombre de mach diminue la température statique augmente du moment que la température totale est constante.

I.3.2. Cônes :



DESCRIPTION LES ELEMENTS DE CONE

Cônes avant et arrière de fileur :

Les cônes avant et arrière de fileur sont les capots aérodynamiques quel flux d'air direct de prise de moteur.

Pales de ventilateur :

Il y a 24 larges cordes, pales de ventilateur titaniques. Une cale d'entretoise sous chaque pale de ventilateur la tient en position radiale correcte. Vous enlevez la cale d'entretoise pour la faciliter pour enlever le ventilateur lame. Les plateformes entre les lames font le flux d'air lisse. La bride de retenue de ventilateur et le circlip juge cales et plateformes d'entretoise de pale de ventilateur.

Vous avez lu cette information gravée sous la racine du ventilateur lame :

- Numéro de la pièce
- Numéro de série
- Poids d'élan.

Quand vous enlevez ou remplacez des pales de ventilateur, enregistrez la position et le numéro de série des lames. Cela vous laisse faire ces dernières tâches :

- Installez les lames que vous avez enlevées en même position sur la subsistance le moteur dans l'équilibre
- Calculez la position disponible de lames et l'élan pesez la correction quand vous remplacez des lames.

Vis de contrepoids :

-Vous équilibrez un moteur avec des vis de contrepoids.

-Vous installez le contrepoids vis sur le fileur arrière.

Trous excentrés :

Les trous excentrés vous ont laissé installer les cônes de fileur et le ventilateur bride de retenue dans seulement une position angulaire correcte.

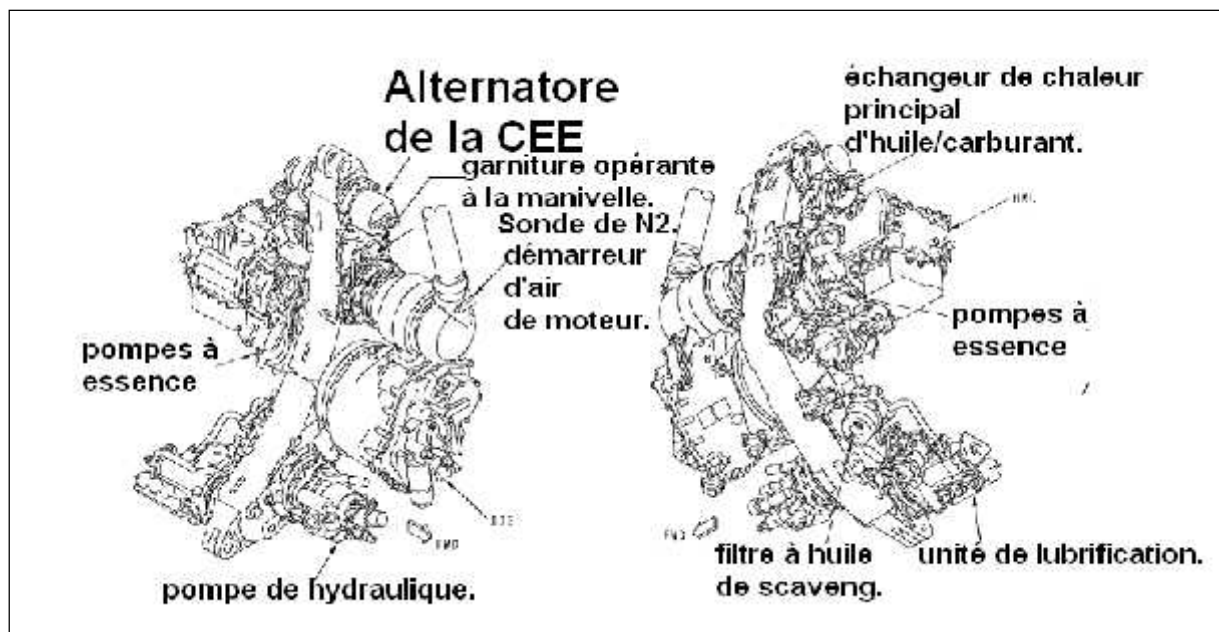
Sphérique les creux montrent les trous excentrés. Il y a les trous de boulon excentrés ou fils sur ces composants :

- Cône avant de fileur
- Cône arrière de fileur
- Éventez la bride de retenue
- Éventez le disque.

Point de l'information de formation :

Vous devez enlever le cône d'avant de fileur pour enlever le fileur cône arrière. Vous enlevez le cône d'arrière de fileur, éventez la retenue brident et le circlip pour obtenir l'accès aux pales de ventilateur. Vous doit enlever les plateformes adjacentes et l'entretoise de pale de ventilateur cale pour enlever une pale de ventilateur.

I.3.3. l'AGB



LES ACCESSOIRES DE MOTEUR SUR l'AGB

La boîte d'engrenages des accessoires (l'AGB) est sur du côté gauche du moteur, sur la caisse d'admission de ventilateur. L'AGB envoie le couple du

rotor de N2 par des pignons droits pour tourner les accessoires de moteur et d'avion. Ils sont ligne unités remplaçables. Vous obtenez l'accès à l'AGB et les accessoires quand vous ouvrez le capot gauche de ventilateur. Endroits d'accessoires.

Ces les accessoires de moteur et d'avion sont sur le visage plan de l'AGB :

- Alternateur de la CEE
- Sonde de N2
- Garniture opérante à la manivelle
- Démarreur d'air de moteur
- Générateur intégré d'entraînement (IDG)
- Pompe hydraulique.

Ces accessoires de moteur sont sur le visage arrière de l'AGB :

- Paquet de pompe à essence (pompes à essence, HMU, et huile/carburant principal échangeur de chaleur)
- Unité de lubrification
- Nettoyez le filtre à huile.

Point de l'information de formation :

Vous utilisez la garniture opérante à la manivelle pour faire tourner le rotor de N2 pendant endoscopie.

I.3.4. Fan (soufflante) :

a) Caractéristiques :

Le fan n'est autre qu'un compresseur à un étage débitant dans une tuyère annulaire.

Le fan fournissant la majeure partie de la poussée, son rendement aérodynamique est d'une extrême importance.

Etant donné ses dimensions, la vitesse en bout de pale est très élevée et l'écoulement y est en partie supersonique.

Afin d'éviter les vibrations, les pales sont généralement rendues solidaires par une cloison (snubber).

Cette cloison a pu être éliminée sur les fans sont constitués d'une structure en nid d'abeille soudée entre deux tôles en titanium. (fig2.24 page33)

Les aubes de sortie du fan sont destinées à redresser l'écoulement avant l'entrée de la tuyère.

Pour un moteur typique (CFM 56 p.ex.), le fan atteint au décollage un rendement de 0,89 avec un taux de 1,6 et un nombre de Mach en bout de pale de 1,5.

b) Le module :

L'étude porte sur la partie située à l'avant du moteur.

Elle comprend

- une partie tournante: le rotor
- une partie fixe: le stator

La pièce principale de l'étude est une pièce composante du stator: le carter de soufflante.

▪ Le rotor de soufflante :

C'est une roue mobile (un disque plus ses aubes) avec 24 aubes fan, fixées à un arbre tournant.

Cette soufflante accélère une masse d'air importante et fournit la plus grande partie de la poussée.

Elle se trouve à l'intérieur d'un carénage : le stator.

▪ Le stator :

Il est constitué du carter de soufflante (ou carter fan), celui-ci est assemblé à l'avant à la manche d'admission par une bride que l'on appelle "bride A1" et

assemblé à l'arrière au carter intermédiaire par une bride que l'on appelle "bride A'1".

Parmi toutes les pièces accrochées sur le carter fan, on considèrera la masse: a plus lourde d'entre- elles: la boîte d'engrenage dite aussi AGB a pour rôle de prélèvera de la puissance au moteur sous forme de rotation d'un arbre et de la distribuer à différents équipements (alternateurs, pompes à huiles...)

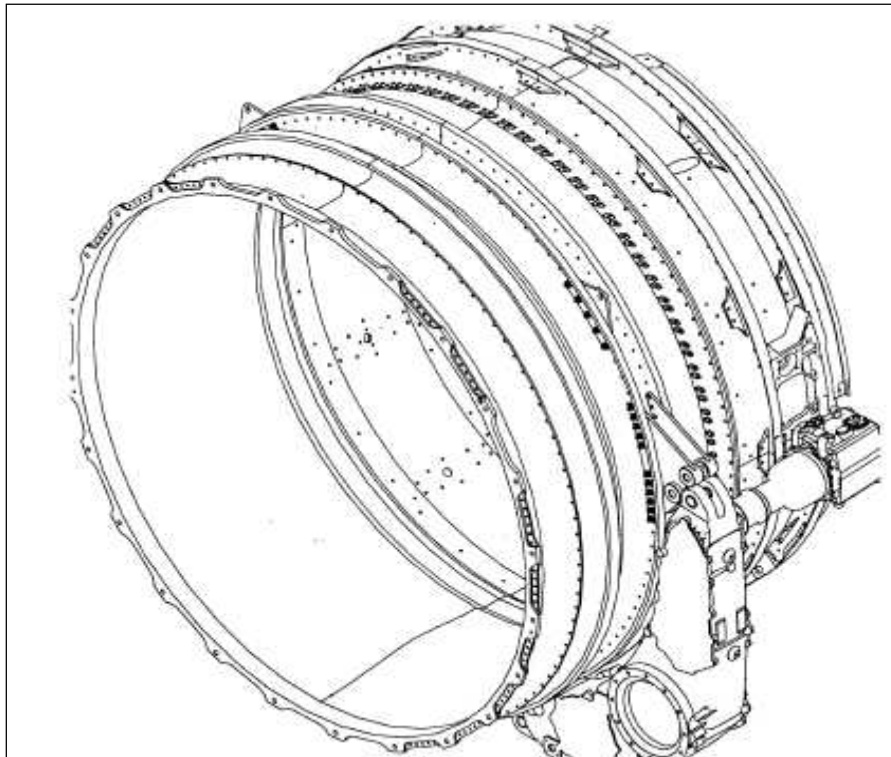
- **Manche d'admission :**

C'est le canal d'entrée à l'air capté. Ce fluide s'écoule dans tout le turboréacteur, depuis l'entrée d'air jusqu'à la tuyère d'éjection en passant par le compresseur, la chambre de combustion et la turbine.

- **le carter intermédiaire:**

C'est la principale structure du moteur qui supporte les rotors et stator à travers laquelle cheminent les principaux efforts: reprise de poussée, suspensions, efforts de balourds, efforts inertiels...

- **le carter fan**



LE CARTER FAN

On examine le carter au droit des aubes du rotor de soufflante entre lesquels il existe un jeu fonctionnel. Le jeu en bout d'aubes fan doit être le plus faible possible pour accroître la performance du moteur, c'est-à-dire éviter le retour du flux d'air provoqué par une pression plus faible à l'amont de l'aube qu'à l'aval .

Devant le faible jeu, le carter comporte au droit des aubes un matériau abradable permettant d'éviter le contact métal sur métal.

Ce jeu varie en fonctionnement selon les phases de vol (ralenti, décollage, croisières) compte tenu des évolutions des paramètres qui le pilote (vitesse de rotation, pressions, températures ...).

c) Résistance aux dégâts dus à des corps étrangers (foreign object damages, FOD) :

Le fan doit être particulièrement robuste pour résister aux oiseaux, pierres et grêlons sans risque de rupture. L'homologation du fan comprend le détachement délibéré d'un des pales.

Le carter qui entoure le fan doit être suffisamment solide pour ne pas être transpercé en tous cas, pour que des débris ne puissent abîmer des organes vitaux de l'avion.

Cette exigence entraîne un devis de poids important.

I.3.5. LE COMPRESSEUR :

a) But :

Le mélange air kérosène ne pouvant s'enflammer que dans certaines conditions de pressions et température, les constructeurs de moteurs font appel à des compresseurs ayant pour rôle d'amener le fluide dans la condition minimale d'inflammation.

b) Description :

Le compresseur est constitué d'une partie mobile appelée ROTOR et d'une partie fixe le STATOR. Le rôle du ROTOR est de fournir de l'énergie

cinétique au fluide, le STATOR transformant cette énergie en énergie de pression.

Le compresseur axial est constitué de :

- Un ROTOR formé par un empilage de disque à la périphérie desquels sont fixées des ailettes, deux disques consécutifs sont séparés par une virole.
- Un STATOR formant le carter du compresseur et à l'intérieur duquel sont implantés des anneaux recevant des ailettes.
- Chaque disque du ROTOR équipé de ses aubes forme une grille d'aubes ROTOR.
- Chaque anneau du STATOR avec ses ailettes constitue une grille d'aubes STATOR.

c) Définition d'un étage de compresseur :

Un étage de compresseur axial est constitué d'une grille d'aubes ROTOR suivie d'une grille d'aubes STATOR.

Il faut noter que le compresseur commence toujours par un ROTOR plus précisément par une grille d'aube ROTOR.

Nous remarquons sur la coupe longitudinale que la section entre ROTOR et STATOR est plus grande à l'entrée de compresseur qu'à la sortie.

d) Généralité sur le Compresseur axial double corps de moteur CFM56-7B :

L'ensemble est composé de deux compresseurs mono corps montés en série, chacun étant entraîné par son ou ses étages de turbine. Le ROTOR constitué des derniers étages de l'ensemble est appelé compresseur HP, celui situé en amont est appelé compresseur BP.

Cette disposition permet d'obtenir deux vitesses de rotation différentes surtout dans les bas régimes.

Bien que de conception et d'usinage plus délicate. Le compresseur double corps présente les avantages suivants :

- Démarrage du réacteur plus facile car on entraîne en rotation simplement le mobile HP, le mobile HP étant entraîné par l'écoulement du fluide au niveau des turbines.
- Accélération et décélération plus rapides car moins d'inertie.
- Poussée de ralenti plus faible.
- Meilleur rendement de compression aux faibles régimes.

e) Compresseur haute pression :

Le compresseur est du type dit «axial», car l'air y est propulsé parallèlement à l'axe de la machine.

Il comprend un grand nombre d'étages successifs, chaque étage étant constitué d'aubes tournant à grande vitesse et constituant le rotor, suivies d'aubes fixes formant le stator.

Les aubes du rotor sont implantées dans un tambour ; els aubes du stator dans un carter démontable.

Le premier étage est précédé d'aubes d'entrée (inlet guide Vanes) dont le but est d'orienter correctement l'écoulement vers le premier rotor.

f) Compresseur basse pression :

Il comprend quatre étages. Son taux de compression du décollage peut atteindre 2.9 sur certains moteurs.

Il n'est jamais équipé de stators orientables, la protection anti –pompage étant assurées part des vannes de décharge.

g) Avantage du compresseur double corps :

Le compresseur double corps présente de nombreux avantages liés à sa conception.

En effet, pour un même apport de carburant le mobile HP tournera à une vitesse de rotation plus élevée que le même compresseur simple corps, car il présente moins d'inertie. De ce fait, le bourrage sur les derniers étages est beaucoup plus faible, le compresseur double corps sera donc moins sensible au pompage aux bas régimes.

Le mobile BP tourne avec une vitesse beaucoup plus faible que le corps HP et cela d'autant que l'apport de carburant est faible, ce qui permet d'avoir des régimes de ralenti plus fiables et donc des consommations de carburant plus faibles.

De plus l'ensemble mobile double corps présentant moins d'inertie permettra des accélérations et décélérations plus rapides.

Nous retiendrons donc comme avantages de double corps comparé au simple corps :

- Moins sensible au pompage aux bas régimes.
- Rendement de compression aux faibles régimes amélioré.
- Poussée de ralenti plus faible.
- Facilités de démarrage (seul le HP est entraîné).
- Accélération et décélération plus rapides.

Le seul inconvénient réside évidemment en sa complexité technologique (arbres concentrique...) se traduisant par un coût plus élevé.

h) les aubes :

En général, les ailettes sont de la même nature que les disques sur lesquels elles sont fixées. Les disques sont soit en acier spécial (Z12 C13 ou A286) ou en titane. On rencontre aussi des montages disque acier spécial et aubages en alliage aluminium (AU 2 GN).

i) Fixation des aubes :

Les aubes sont fixées sur la roue mobile par différents moyens, une aube est représentée par une racine « nub » et un sommet « tip » la fixation se réalise sur

la roue pour éliminer le mouvement avant arrière haut, bas et rotation, dans le rotor les aubes sont fixées une cote de l'autre. Les pieds de fixation son en queue d'aronde en T et a baguette.

L'empilement de disques forme une gante ou on reçoit. Les aubes qui sont soumis à une force centrifuge. Les méthodes usuels qui sécurise *la fixation des aubes rotor aux disques peut être circonférentielle ou axial aussi.

J) Pompage :

Décrochage aérodynamique sur aubages ROTOR pouvant se traduire par l'inversion de l'écoulement.

Le pompage est un phénomène très dangereux pour les réacteurs, ainsi que l'un des problèmes qui s'opposent fréquemment aux pilotes. Dont il sera nécessaire de donner une description générale illustré par quelques définitions et remède concernant ce problème.

k) Principe de fonctionnement de VSV :

La variation de l'angle d'incidence de l'écoulement de l'air par rapport au profil des ailettes des rotors. Des compresseurs axiaux, dépendent des conditions d'écoulement à l'entrée de l'étage et de la vitesse de rotation des moteurs compresseur.

Quand l'angle d'incidence de l'écoulement est très petit, on aura une diminution du rendement du compresseur et de l'efficacité. Quand l'angle d'incidence augmente de l'épaisseur de la C.L, l'écoulement peut devenir tourbillonnaire et entraîner un décrochage aérodynamique de l'étage.

On peut faire une correction de l'angle d'incidence de l'écoulement dans le rotor par une variation commandée de l'angle de calage des aubes de station compresseur et des aubes de préparation.

Les VSV, maintiennent une valeur stable de l'angle d'incidence sur les ailettes du rotor par le CF6-80 :

-a tous les régimes du compresseur HP.

-quelques soient les conditions ambiantes.

La détermination de la position des aubes se fait grâce au régulateur anti-pompage en fonction :

-du régime N2.

- de la température de l'air à l'entrée du compresseur HP.

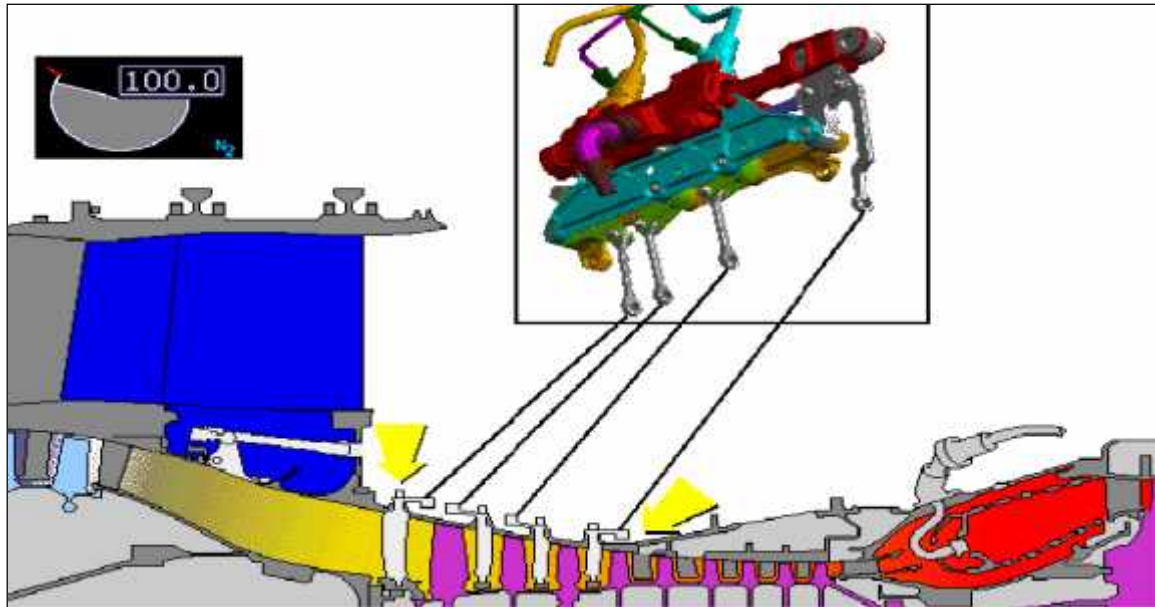
En grand régime du réacteur avec des conditions normales, le compresseur fonctionne à un régime d'adaptation qui lui assure un rendement optimum.

Les VSV sont en position « ouverte » à un régime bas, se compresseur ne concorde plus avec son régime d'adaptation.

Pour des vitesses des VSV sont « fermée » quand le calage est maximum et pour un régime N2 inférieur au ralenti. On élimine les risques de décrochage aérodynamique grâce aux ailettes du compresseur HP qui travaillent sous un angle d'incidence optimum. A faible régime, on aura une chute rapide que le débit des étages avant, afin d'éviter les perturbations dans l'étage arrière, on met les VSV en position « fermée » pour limiter le débit d'air.

A bas régime le VSV fermé et le VBV ouvert.

A haut régime le VSV ouvert et le VBV fermé.



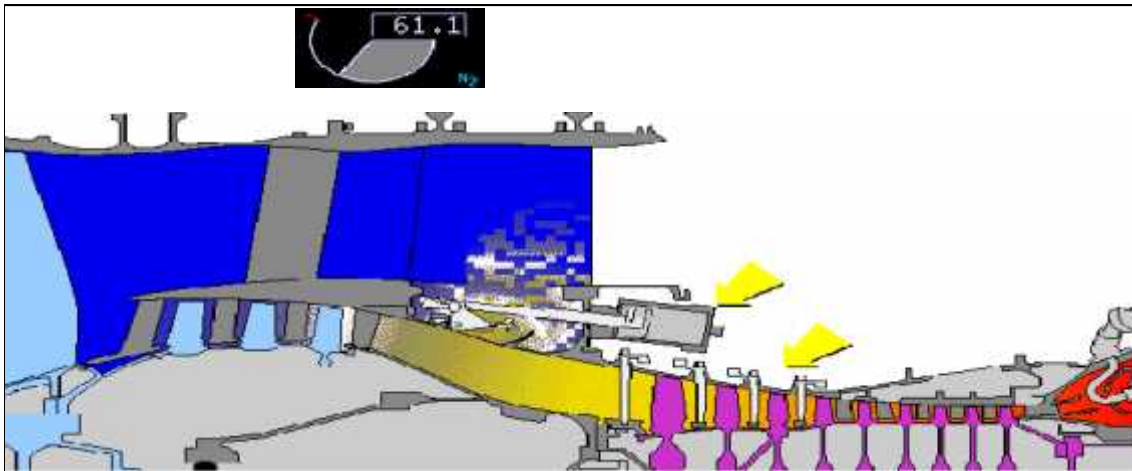
LA POSITION DE LA VANNE DE DECHARGE

1) PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES VBV :

Lorsque le débit d'air du compresseur est faible et le rapport manométrique de compression est élevé, les risques de pompages sont plus importants, et cela avec une variation en fonction des conditions ambiantes (T,P), et du régime de compresseur.

Nota : sur le CF6 80, il dépend aussi du compresseur HP et les conditions de son fonctionnement.

Une diminution du rapport manométrique du compresseur BP et une augmentation de son débit d'air sont provoquées par l'ouverture progressive des VBV, les risques de pompage du compresseur BP sont ainsi réduits. A bas régime réacteur et lors d'une réduction rapide de régime le régulateur des dispositifs anti-pompage commande l'ouverture progressive de VBV. A régime élevé et stabilisé, en condition standard, le réacteur fonctionne à son régime d'adaptation, les VBV sont fermées.



LA POSITION DE LA VANNE DE DECHARGE

Après la production d'un pompage prolongé, et si on aura une ou des cassures au niveau des aubes, on choisie parmi les méthodes suivante la plus simple :

1. Répartition en deux séries décroissantes.
2. Répartition en une série décroissante forte/faible.
3. Répartition en 4 séries décroissantes en sens opposées.
4. Répartition en 3 séries décroissantes forte/faible.

I.3.6. LA CHAMBRE DE COMBUSTION :

a) Le Rôle :

La chambre de combustion est un élément qui fournies de l'énergie calorifique à l'air provenant du compresseur à travers une combustion d'un combustible qui est assurée par un mélange kérosène –oxygène et à travers un allumeur qui crée la réaction dans le but de permettre la transformation de l'énergie chimique en énergie calorifique.

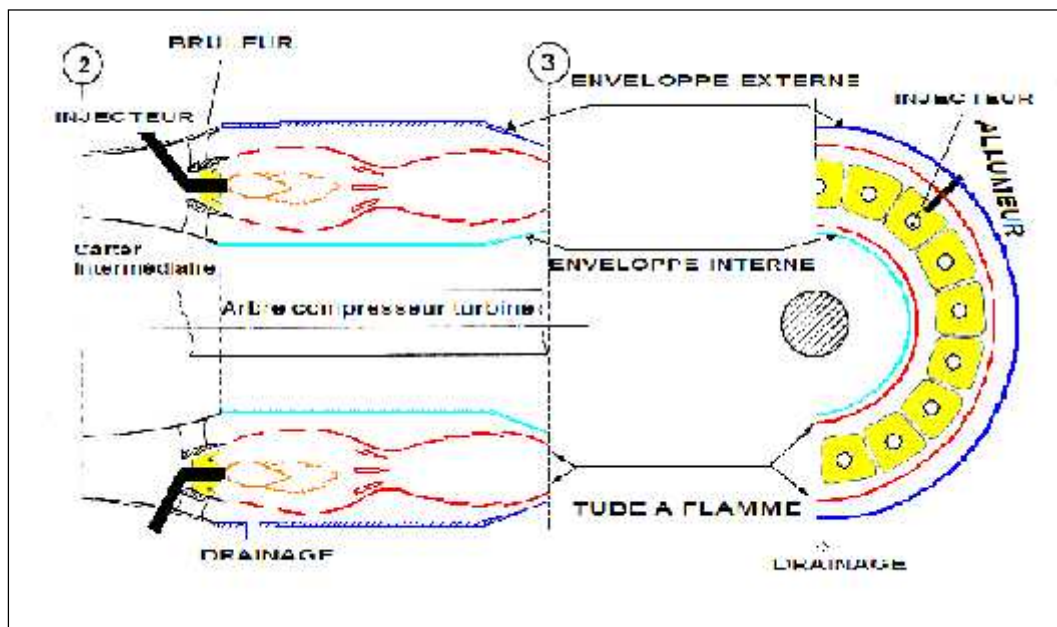
Les constructeurs cherchent la meilleure forme de la chambre de combustion pour :

- Avoir un encombrement minimal.

- Assurer la combustion la plus complète possible.
- Réduire les pertes de charge.
- Éviter les déformations a des influences thermiques.

b) Description :

Une chambre de combustion annulaire est composée de deux tubes concentriques recevant dans l'espace annulaire formé par les deux enveloppes internes et externe du tube a flamme ou se présente les injecteurs disposés tous autour de la section d'entrée du tube a flamme.



COUPE TRANSVERSALE ET LONGITUDINALE DE CHAMBRE ANNULAIRE.

Tube à flamme est enveloppé par le carter interne et externe. Pour assurer l'allumage, deux allumeurs sont disposés à 11 h et 1 heure entre deux injecteurs consécutifs pour assurer l'allumage et former un anneau de flamme dans la chambre de combustion



**. PHOTO TRANSVERSALE
D'UNE CHAMBRE ANNULAIRE**

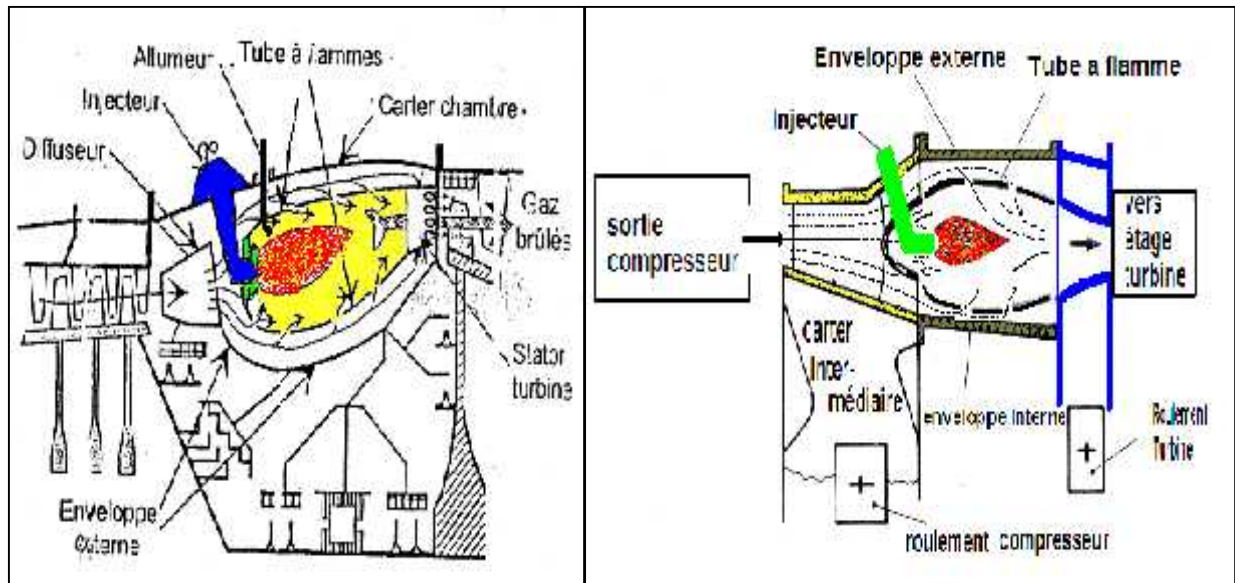
**PHOTO D'UNE COUPE
LONGITUDINALE DES
CHAMBRES ANNULAIRE (ATAR)**

La chambre de combustion annulaire est très difficile à réaliser car elle demande trop de moyens techniques d'autre part elle exige un personnel qualifié pendant les opérations de remise en état et d'entretien. Cependant son rendement est meilleur que celui de la chambre tubulaire puisqu'elle occupe le plus d'espace alloué à la combustion par la machine.

Elles se composent de façon générale de :

Un carter de raccordement à la veine d'air du compresseur (ce carter est souvent appelé carter intermédiaire) dans lequel se trouvent les éléments apportant le kérosène appelés injecteur :

- un ou plusieurs tube à flamme dans le ou lesquels séjourne la flamme
- une enveloppe externe et une autre interne dans lequel passe l'arbre compresseur turbine
- un carter de raccordement au premier étage de turbine.

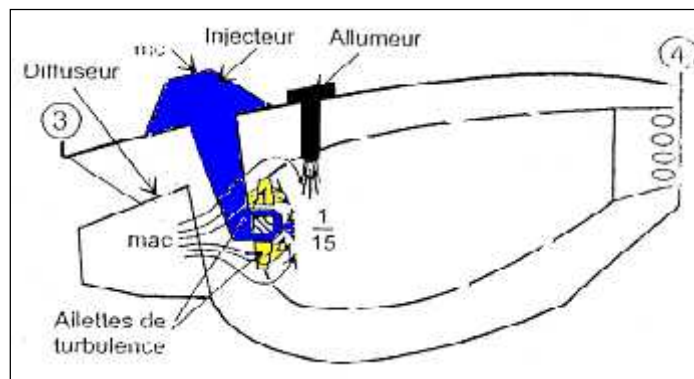


LES DIFFERENTS ELEMENTS QUI CONSTITUE LA CHAMBRE DE COMBUSTION

c) Le Fonctionnement :

Phase 1 :

L'air sous pression venant du compresseur entre dans la chambre elle se partage en un air primaire flux qui constitue l'air de combustion dosé de manière à ce que le rapport **combustible/air** est situé au environs de **1/15** richesse idéale pour une combustion.

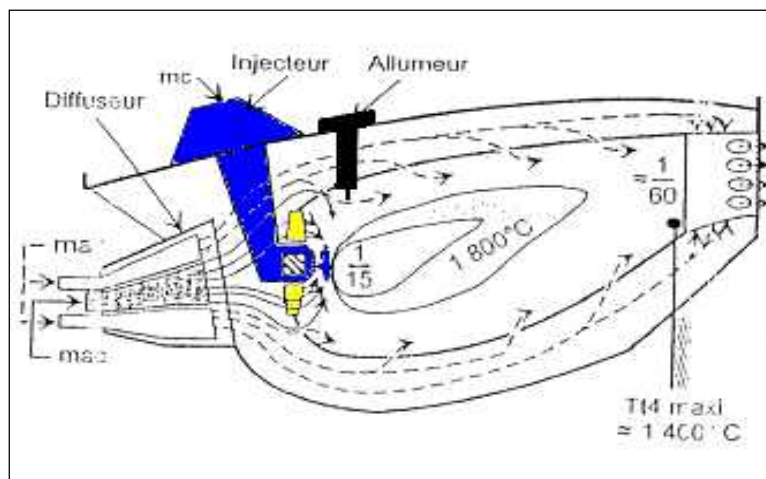


L'ENTREE DE L'AIR PRIMAIRE

Le carburant est injecté dans le tube par pulvérisation en fines gouttelettes ainsi pour un bon brasage air \ carburant l'air primaire est entraîné dans un mouvement tourbillonnaire a travers des aubes de turbulences autour de l'injecteur ceci améliore la combustion et diminue la quantité des imbrûlés.

Phase 2 :

Le deuxième flux est trois a quatre fois supérieur au flux primaire qui circule entre l'enveloppe interne et le carter de la chambre cet air est mélangé au primaire dans la zone secondaire et la zone de dilution correspondant a la quantité d'air secondaire et tertiaire.



L'ENTREE DE L'AIR SECONDAIRE

Les gaz en fin de combustion atteignent une température de **2200 °K** qui est trop élevée pour les aubes turbines il est donc nécessaire de refroidir les gaz ce qui est réalisé par les orifices d'air secondaire et tertiaire qui limitent la température a une valeur comprise entre **1100** et **1400°c**.

La disposition de ces orifices est très délicate et seul l'expérience peut mener à des bons résultats. Ces derniers créent un film d'air assurant la protection thermique des tôles constituant le tube a flamme. Cependant les orifices de grandes sections assurent la création de zones de circulations qui

permet de stabiliser la flamme à proximité de l'injecteur favorisant son auto inflammation et évitant l'extinction par décrochage de la flamme.

d) MATERIAUX UTILISE :

Dans toutes les chambres de combustion les matériaux utilisés sont des 'réfractaires'. Ces matériaux doivent résister aux fortes températures ainsi qu'aux chocs thermiques et conserver des caractéristique mécanique aussi bien aux températures ambiantes qu'aux hautes températures (régime de décollage).

En générale les tubes à flamme sont en aciers spéciaux réfractaires composés essentiellement de nickel chrome, ceux-ci devant aussi résister aux fortes corrosions dues aux hautes températures. Les aciers employés sont généralement des aciers spéciaux de la classe Niamic, ou alliage renié (78 ou 80). Nous donnons ci-dessous les matériaux constituant la chambre de combustion d'un moteur militaire.

- **Tube à flamme:**

Il en générale fait avec un alliage de **chrome nickel (NC 22 Fe D)** qui résiste a de très hautes température car le tube a flamme est le siège de la combustion

- **Brûleurs :**

Le brûleur, l'ensemble de l'injecteur plus le tourbillonnaire, ils sont en **acier** spécial, au chrome, nickel titane (Z 10 CNT 18)

- **Porte Brûleurs :**

Il est en alliage d'aluminium (AU 5N)

- **Enveloppe externe :**

L'enveloppe externe est le carter qui couvre le tube a flamme de l'extérieur, lui aussi subit a de température élevé, il est en **acier spécial, nickel, chrome et titane** (Z3 NCT 25)

- **Enveloppe interne :**

C'est celui qui couvre le tube a flamme de l'intérieur et dans le quelle passe l'axe du compresseur, turbine il est en titane (T50)

- **Carter intermédiaire :**

Il fait le raccordement entre le compresseur et la chambre de combustion, il résiste a des températures moyenne il est en alliage, titane (ZTI).

I.3.7. La turbine :

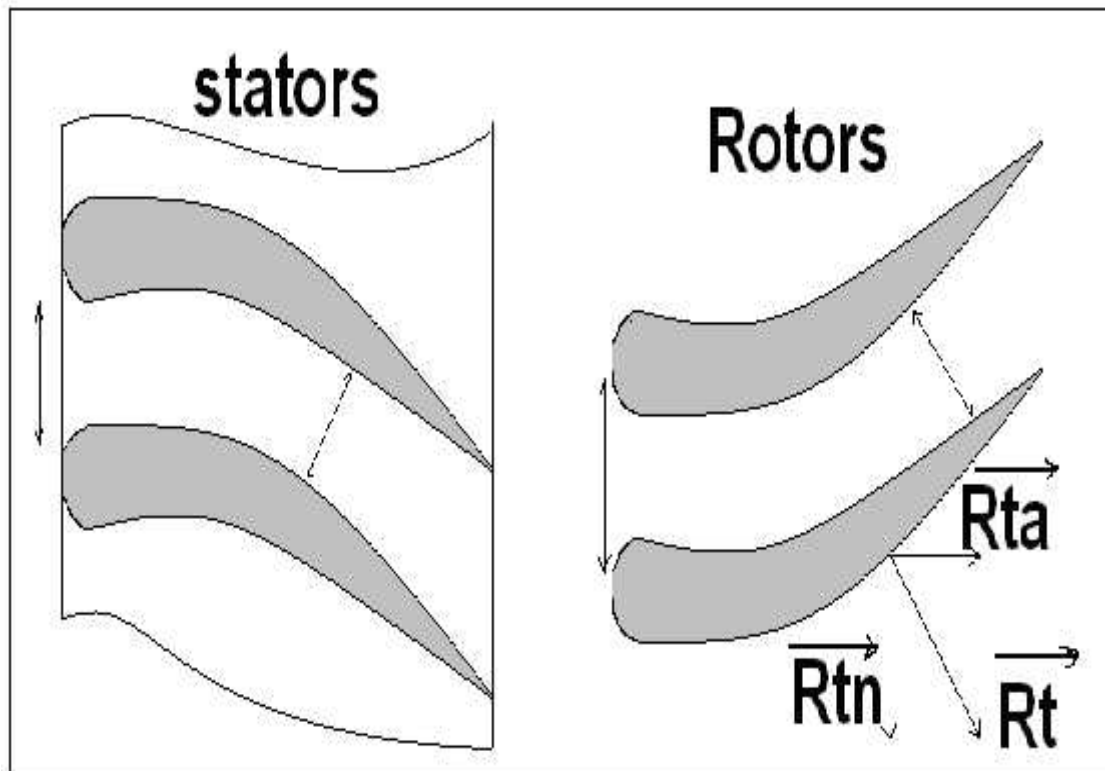
a) Rôle :

La turbine est un élément qui assure l'entraînement du compresseur et ces accessoires (GTR) ou réducteur. En général un étage de turbine est constitué d'un stator turbine de type axial.

Point de vue énergétique, la turbine prélève alors de l'énergie des gaz chaud venant de la chambre de combustion pour les transformer en énergie mécanique servant à tourner la roue turbine.

b) fonctionnement

L'air provenant de la chambre de combustion s'écoule dans les aubes fixes stators ce qui fait transformer en vitesse l'énergie de pression du fait que le passage formé par deux aubes stators consécutives sont convergent .d'autre part les filets d'air seront dévié d'un certain angle pour attaquer la roue turbine ou il vont prendre naissances les forces aérodynamiques provoqua la rotation de l'attelage.



LES FORCES APPLIQUEES SUR LES AUBES

c) Turbine haute pression

Généralités

La turbine haute pression est du type axial.

A divers points de vue, la turbine n'est autre qu'un compresseur inversé.

En effet :

- un étage de turbine se compose d'un stator équipé d'aubes fixes (distributeur, nozzle guide vanes) suivi d'un rotor fig. 2.17 p28
- entre les aubes, la section de passage est convergente.
- il y a transformation d'une partie de l'énergie cinétique de l'écoulement en énergie mécanique.
- il y a chute de pression et de température.

Le trajet de l'air s'analyse comme dans le cas du compresseur fig. 2.18

De même, la force aérodynamique sur les aubes se décompose en un effort tangentiel créant la couple moteur et un effort axial partiellement équilibré par celui, opposé, du compresseur.

Pour des vues détaillées d'une turbine on se reportera aux figures 2,23 et 2,27.

Influence du débit sur la pression :

Le couple fourni par la turbine est peu sensible aux modifications d'angle d'incidence de l'écoulement.

La tendance au pompage, caractéristique importante du compresseur, n'existe pas dans la turbine car l'écoulement dans des sections convergentes n'a aucune tendance au découlement.

Il est donc possible d'obtenir le taux de détente prescrit avec un seul étage (parfois deux).

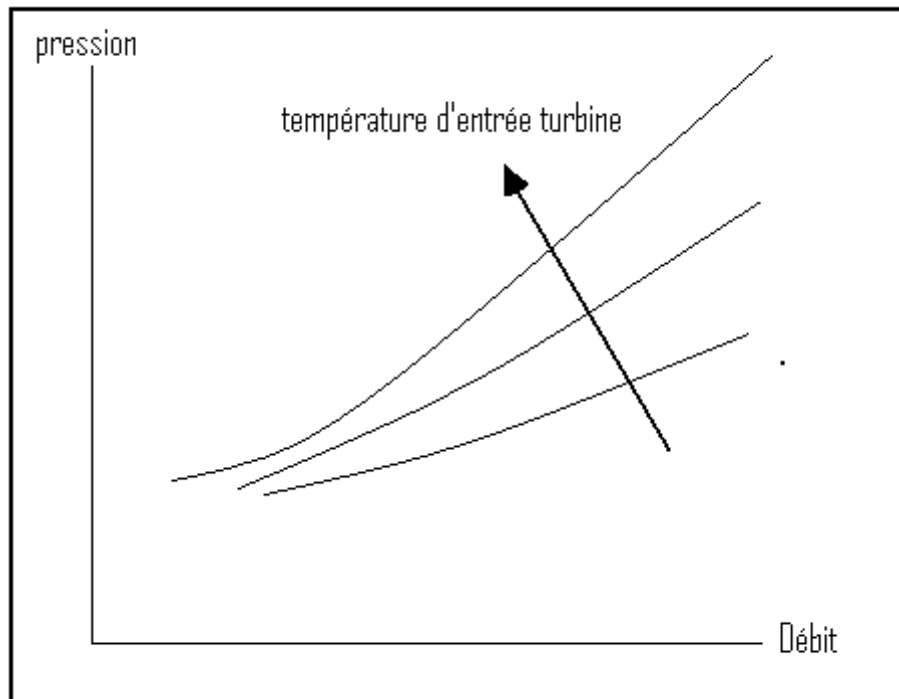
Comme pour le compresseur, la section de passage de la turbine est adaptée à la variation de volume d'un étage à l'autre (ici le volume augmente).

En pratique ceci est réalisé en augmentant la hauteur des aubes d'un étage à l'autre.

Au point de vue physique, en simplifiant beaucoup, on peut considérer la turbine comme une section annulaire saturée c'est-à-dire dans laquelle l'écoulement se fait à la vitesse du son.

Cela signifie que la pression à l'entrée de la turbine est proportionnelle au débit (massique) d'air qui la traverse et dépend fortement de la température. (fig.2.13).

On remarquera que pour un débit donné, une variation rapide de température, comme pendant une accélération rapide, se manifesterait par une augmentation immédiate de pression d'entrée.



LIMITATIONS

La température d'entrée de la turbine haute pression influence le rendement du moteur.

La poussée maximum du moteur est également limitée par cette température.

De nombreuses études on permit d'augmenter la température maximum que les aubes sont à même de supporter.

Elle est les moteurs les plus modernes de l'ordre de 1400°.

Les deux phénomènes qui limitent l'utilisation de la turbine sont : le fluage (creep) et les chocs thermiques.

- **fluage (creep)**

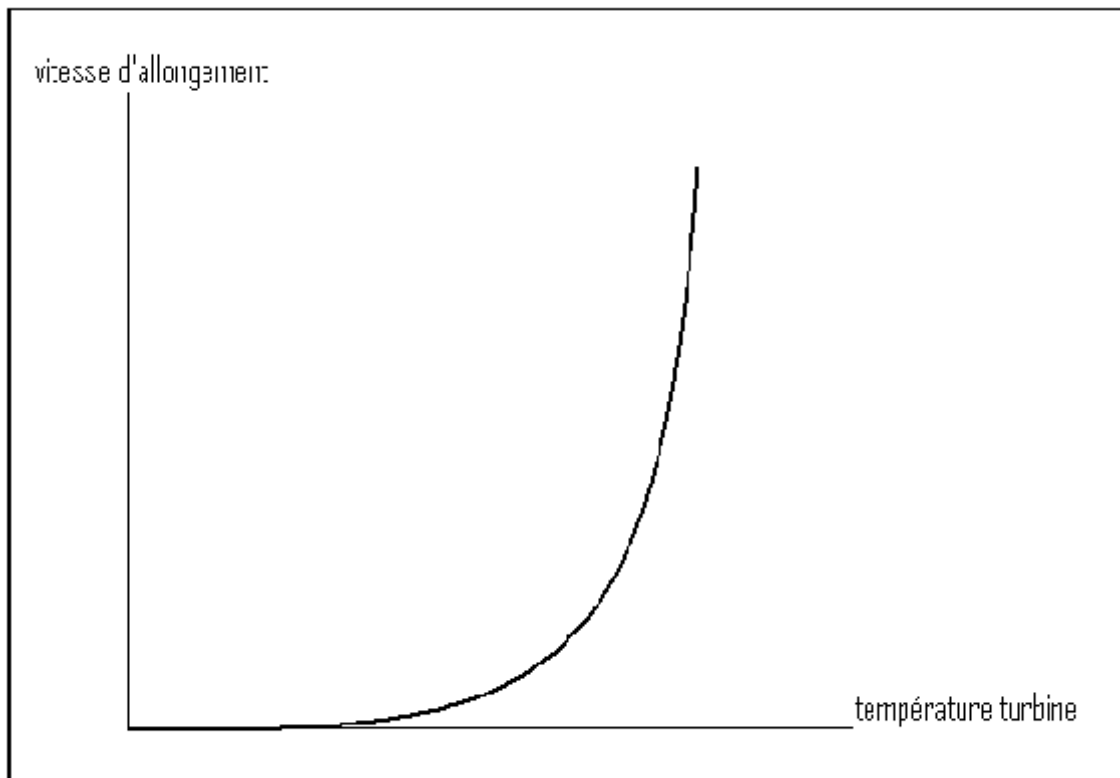
Aux régimes élevés, les aubes du rotor sont soumises simultanément à des forces centrifuges, des aérodynamiques et des températures importantes.

Ces aubes s'allongent proportionnellement au temps de fonctionnement.

Cet allongement reste admissible tant que les températures limites déterminées par le constructeur n'est pas dépassé (fig.2.20).

Ceci signifie que la vie de la turbine est surtout liée au nombre d'heures passées aux régimes les plus élevés (décollage, montée).

(Fig2.20 page30).



- **chocs thermiques**

Pendant la phase de démarrage, ainsi que pendant les accélérations et décélérations, les variations de températures provoquent des dilatations inégales des diverses parties de la turbine.

Bien que régulateur de carburant tienne compte de ce phénomène, le pilote doit être conscient que toute accélération ou décélération brutale provoque des sollicitations préjudiciables, invisibles et non comptabilisées, mais qui répétées abrègent la vie du moteur.

d) aubes :

Ces dernières années, la température d'entrée de la turbine a pu être augmentée grâce à deux approches complémentaires (fig.II.15) :

- la recherche de matériaux résistant aux hautes températures.
- l'introduction d'un système de refroidissement des aubes.

On remarquera que les turbines modernes peuvent travailler à des températures de gaz supérieures au point de fusion du métal.

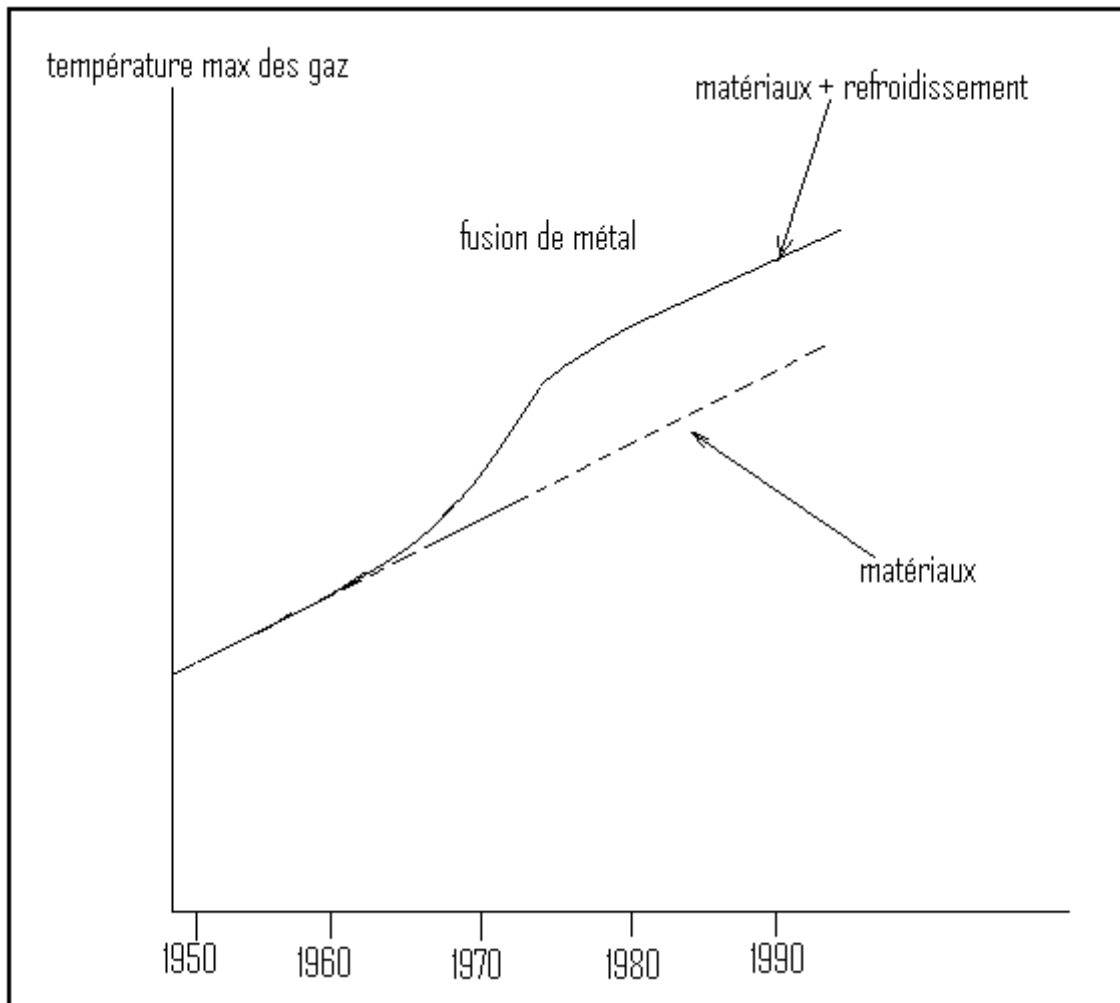


DIAGRAMME DE POINT DE FUSION DE METAL

Métal et procédés de fabrication

Les aubes des moteurs de la première génération étaient généralement obtenues par forgeage d'aciers spéciaux.

La tendance actuelle, du moins pour la turbine haute pression, est une coulée progressive sous vide (pour éviter l'oxydation).

Cette technique consiste en un refroidissement contrôlé de l'aube pendant la coulée permettant d'obtenir un alignement axial des cristaux.

Une autre technique, apparentée, permet d'obtenir des aubes monocristallines.

De plus, les aubes sont souvent enduites d'un vernis céramique (thermal barrier coating).

Les aubes les plus critiques sont celles du distributeur (nozzle guide vanes) qui sont fixes mais supportent les températures les plus élevées et bien entendu celles du premier étage rotorique.

e) Etude Thermodynamique :

Le fluide comme gaz parfait subit une détente adiabatique et réversible dans la turbine dans la station de 4 à 5 ce qui nous permet d'écrire le rapport de pression de détente turbine et la puissance.

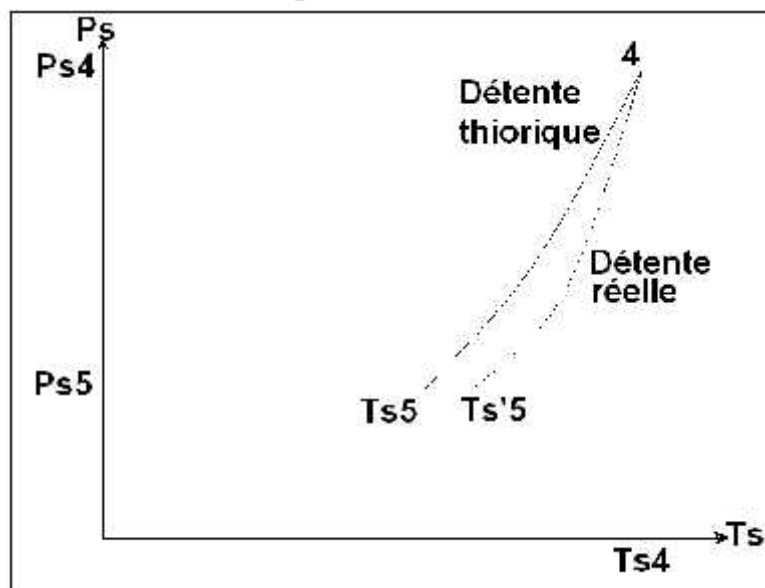


DIAGRAMME THERMODYNAMIQUE

$$\pi_t = \frac{P_{15}}{P_{14}} = \left(\frac{T_{15}}{T_{14}} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$\dot{W}_t = (\dot{m}_0 + \dot{m}_{fuel}) \cdot C_p \cdot (T_{14} - T_{15})$$

Comme pour le compresseur, la détente réelle n'est pas rigoureusement réversible ce qui nous donne une puissance réelle qui s'écrit :

$$W_{t \text{ réelle}} = (m_o + m_{\text{fuel}}) \cdot C_p \cdot (T_{14} - T'_{15})$$

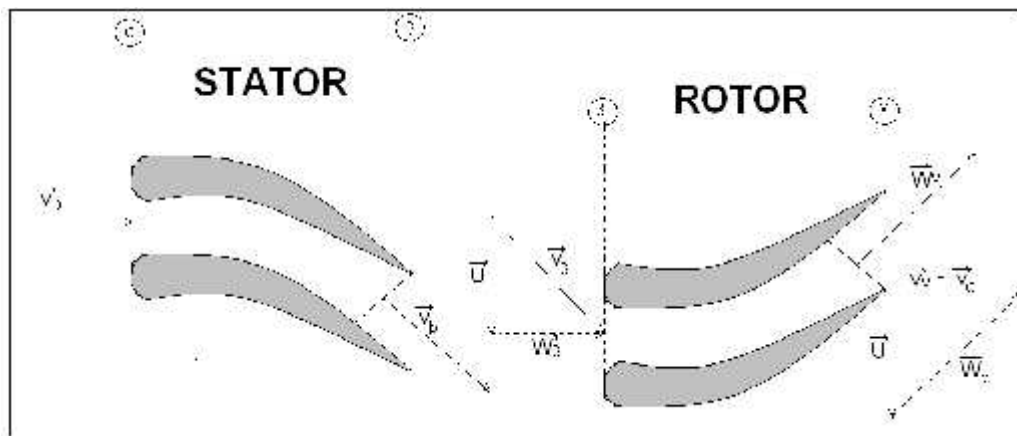
Le rendement de la turbine bien entendu est le rapport de la puissance réelle cédée par le fluide à la puissance théorique soit par :

$$\eta_t = \frac{T_{14} - T'_{15}}{T_{14} - T_{15}}$$

Le rendement de la turbine caractérise l'irréversibilité de la transformation elle est de l'ordre de $\eta_t = 0.88$ à N_{max} .

f). Fonctionnement Aérodynamique D'un Etage de turbine :

En caractérisant respectivement la station entrée et sortie des éléments d'un étage turbine avec les indices 1 et 2. Le diagramme de vitesse est représenté sur la **figure ci-dessous** ;



LE DIAGRAMME DE VITESSE

On peut donc que la détente des gaz est partagée ente le stator et le rotor et qu'elle est obtenue par augmentation de la vitesse absolue dans le stator, et par accroissement de la vitesse relative dans la partie rotor.

Le taux de détente d'un étage de turbine est par définition le rapport de l'entrée à la pression de sortie ;

$$\tau = \frac{P_{ta}}{P_{ty}} \approx 2.5$$

Pour un étage de turbine HP a $N_{2 \text{ max}}$. Si la turbine est constituée de n étage présentant un taux de turbine moyen et un taux de détente globale on peut déduire alors pour un

$$\tau_{dét} = \pi \frac{1}{g}$$

étage ;

A titre d'exemple la turbine HP du V2500 est dotée de deux étages de turbine de turbine. En performances maximales standard les pressions totales entrée et sortie sont respectivement de 416.95 et 82.9 PSIA soit un de détente globale $\tau_g=5.028$ ce qu'est équivalent a un taux de détente moyen de l'étage $\tau_{dét}=2.24$. Pour les étages BP, le taux de détente moyen est voisin de 1.35 a $N_{1 \text{ max}}$.

g) Degré de Réaction :

Le degré de réaction représente l'énergie dans le rotor sur l'énergie de pression perdu dans l'étage. Pour une turbine a action le degré de réaction est égale a zéro ce qui se traduit par une disposition de grille d'aube dans le distributeur fortement convergent.

Le travail de détente spécifique est proportionnel à la vitesse de rotation et aux carrée de la vitesse tangentielle. qui est exprime par : $P=C.W=2.m.U^2$

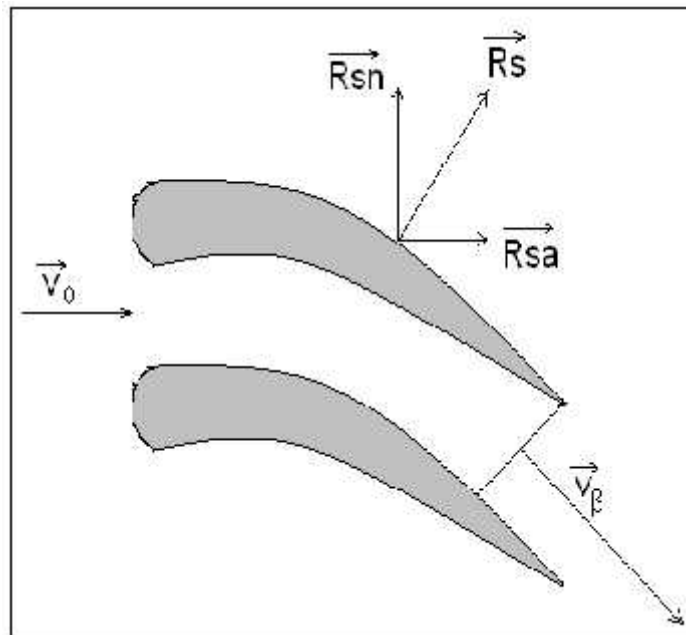
Toute fois pour des degrés de réaction différente de zéro la chute de pression est répartie entre le distributeur et le rotor et dans le stator et la puissance est exprimé par $P=C.W=m.U^2$

Dans une turbine à action la détente est effectuée dans la grille d'aube stator, ainsi les gaz pénétrant dans le rotor sont à la température minimum possible, ce qui est un avantage indiscutable aux problème de résistance de matériaux posés par la turbine. De plus a vitesse circonférentielle étage à la puissance développée par une turbine à action est supérieur à celle développée par une turbine à réaction.

Mais la vitesse V à la sortie stator est très élevée (phénomène sonique) et de ce fait de nombreuses irréversibilités diminuent le rendement de la turbine.

h) Etude Technologique De la Turbine :

Les éléments de la turbine sont sollicités à des efforts aérodynamiques, thermiques et à la corrosion. Les matériaux utilisés sont matériaux à base de nickel, chrome et titane.



LES FORCES AERODYNAMIQUES, THERMIQUES

La réduction de la consommation spécifique du moteur nécessite d'utiliser des entrées turbines élevées que possible. Ce qui permet de réduire ainsi la masse de carburant à emporter ou d'augmenter le rayon d'action.

L'augmentation de la température entrée turbine est limitée par la tenue mécanique des aubes distributeurs et de la roue mobile. En effet quand la température augmente les matériaux sont moins résistants de plus il apparaît un phénomène qui limite la durée de vie de pièces « le fluage thermique ».

A ces effets s'ajoute la corrosion aux hautes températures. Afin de résister à de telles contraintes, les ailettes stators et rotors HP est en acier

fortement allié qualifié de réfractaire a cause de leur bonne tenue mécanique, Le cobalt assure la conue thermique du matériau. Le nickel améliore la résistance au fluage tan disque le chrome garde une résistance a la corrosion à haut température.

Le disque et l'arbre sont en générale en acier inoxydable de type mtconel et afin de réduire les charges centrifuges le disque a une forme élargie a la base est diminue vers la périphérie. Elle permet de concentrer les masses vers les plus faibles diamètres ce qui réduit la charge essentiellement au niveau de la gante de fixation des ailettes.

Les cratères turbine HP et BP anti-éclatement sont dotés dans leur partie interne, d'abradables en acier inoxydable. Ces derniers sont équipés à leur périphérie d'un dispositif de refroidissement qui permet de contrôle de jeux entre les extrémités ces ailettes rotor et les abradables. Il est pilote par une fonction spéciale du régulateur de carburant permettant de jouer sur la quantité d'air de refroidissement.

Dans le GTR les aubes mobiles vont s'allonger a chaque a période ce fonctionnement suite à l'effet thermique et la force centrifuge. Le critère de dépose d'un élément s'obtient en choisissant un allongement inférieur à celui de la rupture. Des solutions sont donc apporté pour augmenter la durée de vie des pièces en jouant sur :

- Abaisser la température au sein du matériau.
- Améliorer les matériaux à haute de température.
- Ou les deux la fois.

i) Effets des dommages :

Les dommages occasionnés sur les turbines peuvent avoir plusieurs origines mais se traduisent tous par des dégâts importants. De part sa conception le moteur assure une rétention des éventuels débris métalliques provenu d'une

éventuelle rupture. C'est pourquoi les cratères sont d'une certaine épaisseur et renforcés par des redresseur externes.

Les causes de rupture sont en général dues au dépassement de température, survitesse, pompage compresseur ou d'une défaillance du système de refroidissement.

Toutes fois les dépôts de cendres volcaniques donnent un effet nocif sur les ailettes car en effet à haute température la cendre se transforme en silices ce qui obture plus ou moins partiellement les orifices de refroidissements des aubes figure ci-dessous.

Cette obstruction génère une hétérogénéité thermique sur la hauteur de l'aube pouvant provoquer par surchauffe, la fusion partielle ou totale des bores d'attaque comme nous pouvons le voir sur la vue suivante.

j) Matériaux turbine :

Les matériaux retenus dans la réalisation des éléments de la turbine sont classés en :(voir annexe pour plus de détails) :

- ❖ Acier à structure ferretique résiste jusqu'à 600°C.
- ❖ Acier à structure austénitique résistant a chaud jusqu'à 750°C.
- ❖ Alliage spéciaux a base de nickel et chrome avec comme élément d'adition titane, tungstène molybdène et cobalt. Nimonic (Angleterre) 100,105 on peut attendre 1150-1200°C (teneur ou cobalt T°).

❖ Cerments définit par des matériaux céramiques qui sont un métal difficile d'usinage et moins résistant au choc.

k) Refroidissement :

L'air de refroidissement est prélevé au compresseur, il s'agit donc d'air à température élevé mais de loin inférieur à celle du métal à refroidir.

L'air circule dans l'aube creuse et s'échappe le long des bords d'attaque et de fuite ainsi qu'à l'extrémité librement ouverte. (fig. III18.-II.19.)

Ce prélèvement d'air représente bien entendu une perte de rendement. Un compromis existe donc entre le gain de rendement dû à l'augmentation de température turbine de 1300°C, on peut obtenir une température de métal de 880°C pour un débit d'air de refroidissement représentant 6% du débit total du compresseur (air à 530°C).

l) Fixation des ailettes Rotor-Disque :

Afin de pouvoir supporter la charge centrifuge et transmettre le couple moteur au disque la liaison est assurée par une fixation du type sapin. Celle-ci permet, par augmentation de la surface de contact, de transmettre une contrainte moins importante pour un matériau donnée.

Cette forme est obtenue par une opération de brochage avec un outil de forme arrachant la matière des passes consécutives afin d'obtenir la forme décirée. Bien entendu le disque obtenu par procédé de moulage et usinage est doté de la même empreinte que l'aube. Ces opérations sont d'un coût élevé.

Pour les aubes stator elles sont donc fixé par unité ou regroupé en paquet de trois et retenue par une virole à leur extrémités.

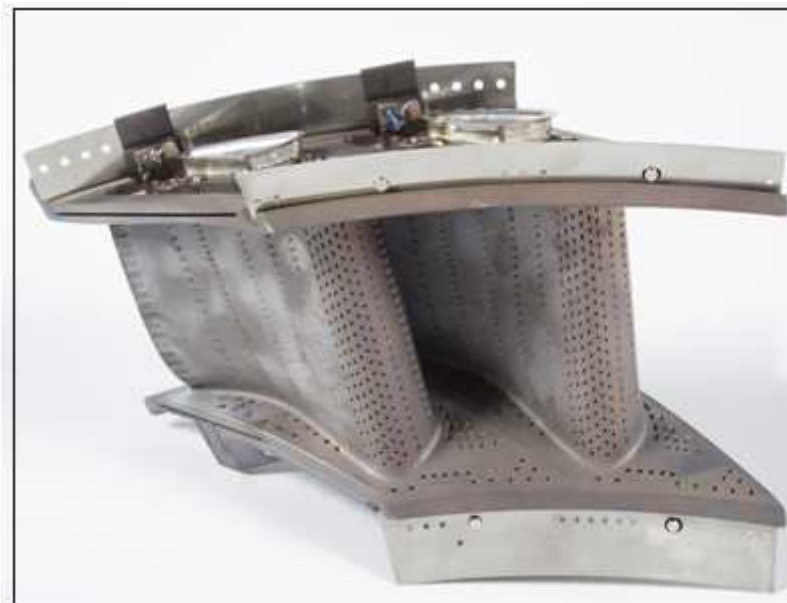
m) Turbine basse pression :

La turbine basse pression est constitué de (01) étage. Contrairement à la turbine haute pression, les température et vitesses relativement basses autorisent l'utilisation d'alliages classiques.

Les turbines basse pression moderne sont équipée d'un système d'ajustage automatique des jeux utilisant de l'air prélevé à la tuyère du fan ou au compresseur.



AUBE ROTORIQUE



AUBE STATORIQUE

I. 4. LES CIRCUITS DU TURBOREACTEUR DE CFM56-7B :

I.4.1. circuit carburant :

a) Rôle du circuit de carburant :

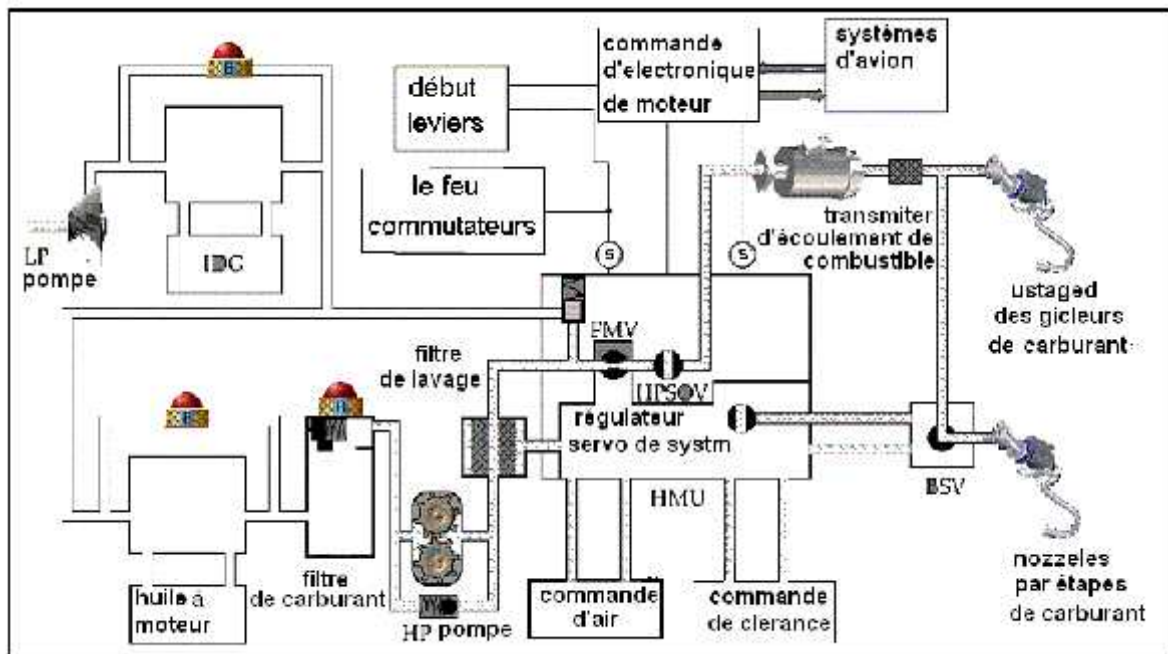
Le rôle du circuit de carburant est d'assurer :

- ❖ L'alimentation de vingt (20) injecteurs de la chambre de combustion.
- ❖ L'alimentation des deux (02) vérins des vannes de décharge.
- ❖ L'alimentation des deux (02) vérins des stators à calage variable.
- ❖ L'alimentation de la vanne de refroidissement du carter turbine haute pression.
- ❖ L'alimentation de la vanne de refroidissement du carter turbine basse pression.
- ❖ L'alimentation de la vanne de décharge transitoire.
- ❖ Le refroidissement de l'huile de graissage moteur.
- ❖ Le refroidissement de l'huile de graissage de IDG.

b) composition du circuit carburant :

- Le circuit carburant est entièrement intégré dans la nacelle du réacteur, il comprend :
 - Une (01) pompe carburant à haute pression.
 - Un (01) échangeur thermique (huile/carburant) alternateur(IDG).
 - Un (01) échangeur thermique principale (huile/carburant) réacteur.
 - Un (01) filtre principal carburant.
 - Un (01) régulateur principal carburant (HMU).
 - Un (01) servo réchauffeur carburant.
 - Un (01) transmetteur de débit carburant.
 - Un (01) filtre injecteur.
 - Un (01) vanne de sélections injectrices.
 - Un (01) rampe injecteurs.

- Vingt (20) injecteurs.



CIRCUIT CARBURANT

d) contrôle du circuit carburant :

La surveillance du circuit carburant est réalisée à partir :

- D'une indication de débit carburant situé sur l'écran inférieur des paramètres secondaire moteur.
- D'un voyant d'alarme du colmatage filtre carburant situé au panneau supérieur P5 au cockpit.
- D'un voyant associé au robinet carburant haut pression (HPSOV).

e) fonctionnement du circuit carburant :

Le carburant descend au réservoir, il passe par la pompe basse pression à deux (02) étages et la quitte pour aller vers le générateur d'entraînement intégré (IDG) de refroidissement huile/carburant, puis vers l'échangeur de chaleur huile/carburant.

Ce dernier refroidit l'huile et réchauffe le carburant.

Ensuite pression (ou la pression du carburant sera augmentée) vers l'unité hydromécanique (HMU) ; ou il passe par le doseur de carburant (FMV) et un

débitmètre avant d'être envoyé vers les injecteurs et pour actionner les VSV, VBV.

Basé sur le contrôle de la EEC, le carburant du servo est utilisé pour le contrôle des systèmes servo moteur.

Le carburant dosé va de la HMU par un transmetteur d'écoulement de carburant et le filtre intégré aux vérins d'ouverture des clapets de charge (BSV) et sur les collecteurs et gicleurs de carburant.

La vanne d'arrêt haute pression (HPSOV) arrête l'écoulement du carburant dosé à sa fermeture ; le signal de contrôle d'opération de la HPSOV vient habituellement du levier de démarrage.

Le commutateur de poignée de feu ou la EEC peut dépasser le contrôle du levier de démarrage pour clôturer la HPSOV.

I.4.2. CIRCUIT DE GRAISSAGE :

a) ROLE DE CIRCUIT DE GRAISSAGE :

Le circuit de graissage a pour rôle d'assurer une quantité suffisante d'huile de graissage dans le circuit de distribution afin de lubrifier, refroidir et nettoyer :

- les paliers (roulements).
- les éléments tournant (engrenages).

b) COMPOSITION DU CIRCUIT GRAISSAGE :

Le circuit de graissage est entièrement dans la nacelle du réacteur il comprend :

- Un 01 réservoir.
- Une 01 vanne anti-retour.
- Un 01 filtre principal équipé d'une by passe.
- Un 01 transmetteur de pression d'huile.
- Une 01 sonde de température d'huile.

- Un filtre de récupération d'huile équipée d'un mono -contact détecteur de colmatage et d'un by passe.
- Un 01 échangeur thermique principal (huile / carburant).
- Un servo réchauffeur carburant.

c) **CONTROLE DU CIRCUIT DU GRAISSAGE :**

La surveillance du circuit de graissage est réalisée à partir :

- Les indications :
 - ❖ Pression d'huile.
 - ❖ Température d'huile.
 - ❖ Quantité d'huile.
- Les alarmes :
 - ❖ Un voyant baisse pression d'huile.
 - ❖ Un voyant colmatage filtre de récupération d'huile.

d) **FONCTIONNEMENT DU CIRCUIT DE GRAISSAGE :**

Huile descend du réservoir et traverse la vanne anti-retour vers la pompe de pression.

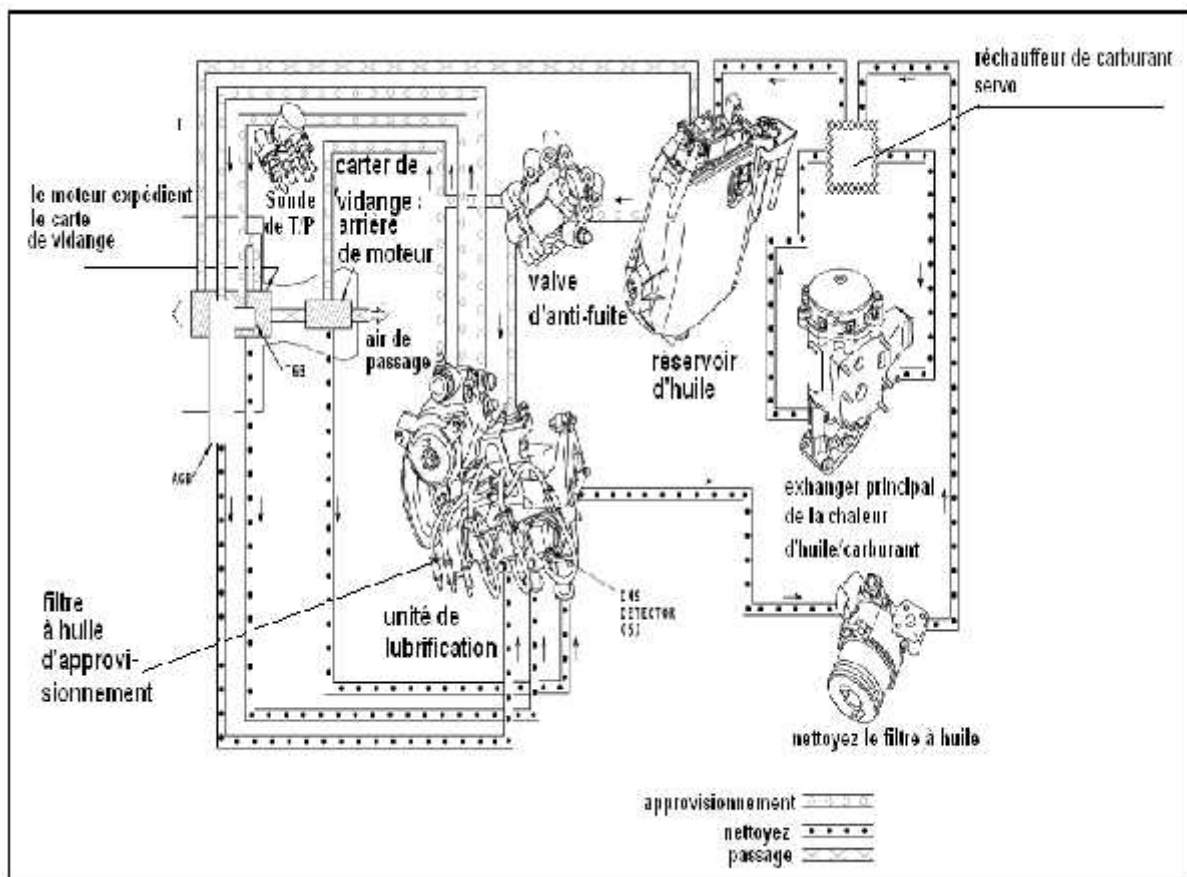
Cette pompe est dimensionnée afin que son débit permette de l'alimentation de tous les parties à lubrifier, à travers un filtre de pression doté d'un clapet lorsque ce dernier s'ouvre, il permet l'alimentation du circuit à lubrifier, même en cas de colmatage du filtre.

Les parties à lubrifier sont essentiellement : les roulements des différents attelages et prise de mouvement (AGB+TGB).

Afin de minimiser les longueurs de tuyauteries, les roulements sont regroupés dans les enceintes. Les points bas de chaque enceintes sont dotés d'un puisard (ou réceptacle), collectant l'huile par gravité.

Afin d'améliorer la recherche de panne, chaque tuyauterie de retour est équipée d'un détecteur magnétique, installé en amont de l'aspiration des pompes de récupération. Ces pompes sont regroupées dans un même carter (afin d'en faciliter la maintenance).

Le fluide ayant rempli ses fonctions (éventuellement chargé de particules et s'étant échauffé) est acheminé vers le circuit retour, où il traverse le filtre principal ensuite un échangeur thermique carburant /huile.



CIRCUIT DE GRAISSAGE.

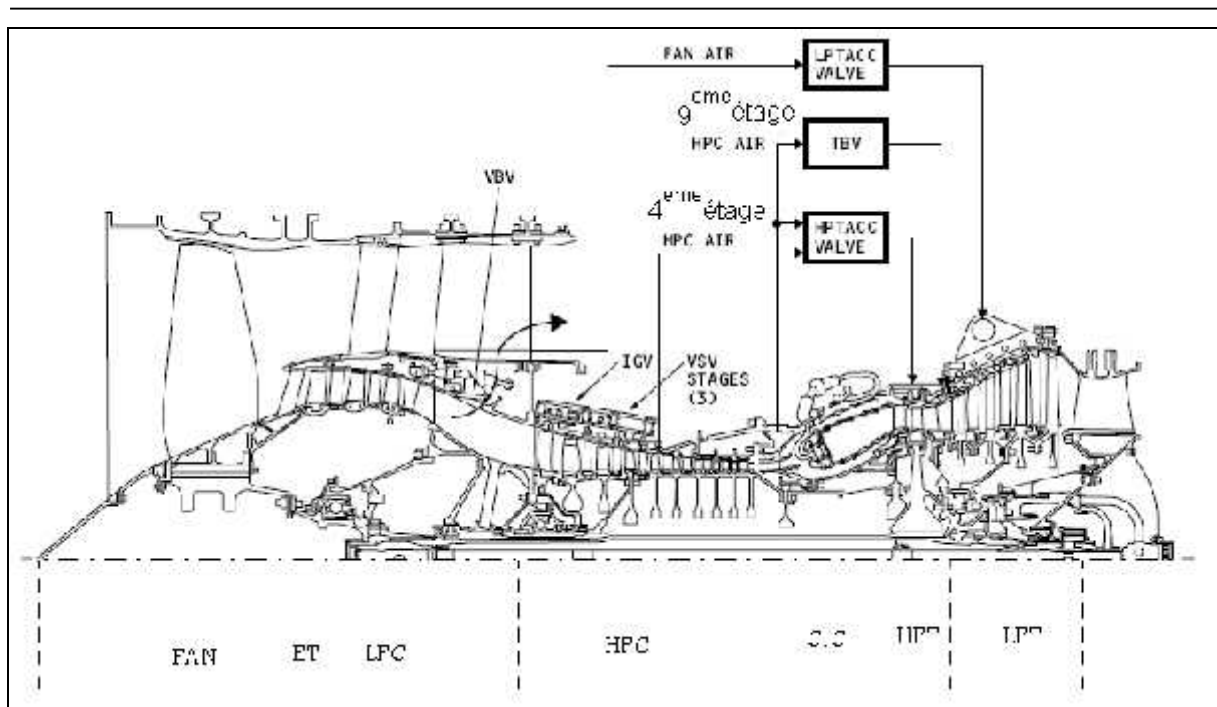
I.4.3. CIRCUIT D'AIR :

a) ROLE DE CIRCUIT :

Le rôle du circuit est de contrôler le fonctionnement du moteur. Le système d'air en réalité empêche de présenter un disfonctionnement en pompage et en suppression (contrôle de jeux).

Les éléments concernés par ce système sont :

EEC-HMU-VSV-VBV-TBV-TERBINE ACTUATOR (vérin).



CIRCUIT D'AIR

b) IDENTIFICATION DES ELEMENTS DU CIRCUIT D'AIR :

b.1. CONTROLE ACTIF DE JEUX TURBINE HAUTE PRESSION (HPTACC) :

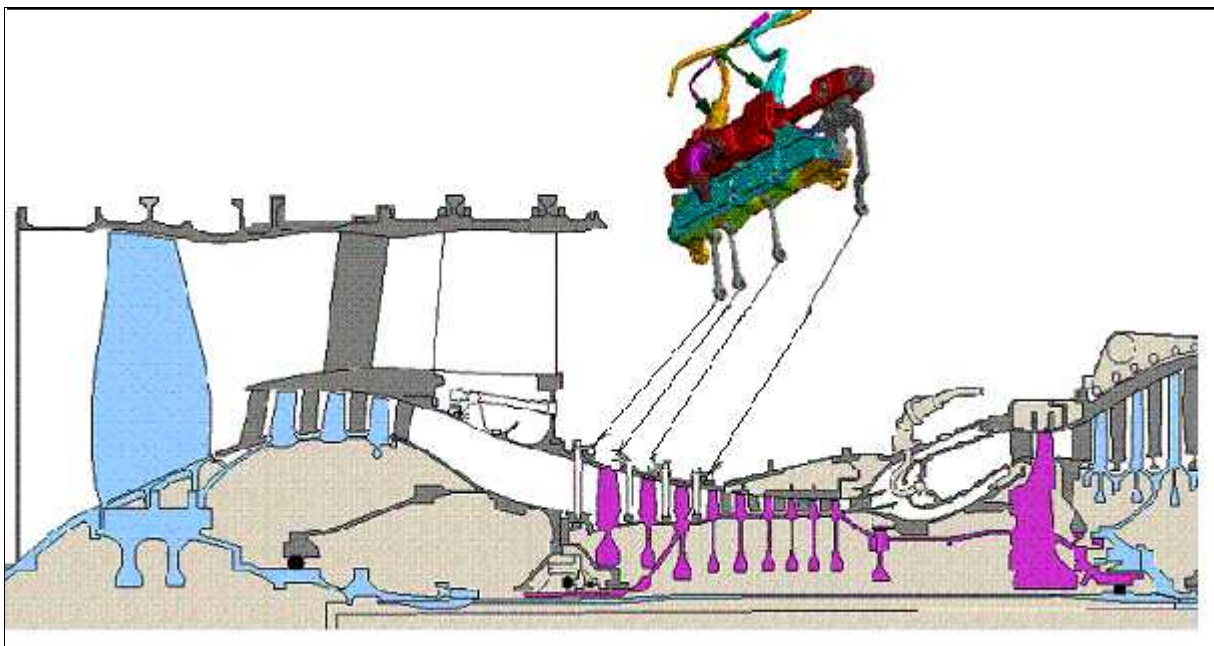
Elle est assurée par la soupape HPTACC VALVE qui contrôle la quantité d'air prélevé du compresseur HP au niveau du 4^{ème} et 9^{ème} étage, renvoyée vers la carter de la turbine HP pour contrôler les jeux.

b.2. CONTROLE ACTIF DE JEUX TURBINE BASSE PRESSION (LPTACC) :

Ce système contrôle la quantité d'air prélevé du flux secondaire du fan, qui est dirigé vers le carter de la turbine BP pour contrôler le jeu. Ceci à travers la vanne de LPTACC, elle n'est jamais complètement fermée pour permettre le refroidissement du carter LPT.

b.3. STATOR A CALAGE VARIABLE (VSV):

C'est un dispositif qui est utilisé sur le compresseur HP pour ajuster l'écoulement autour des profils d'aube à différents régimes de fonctionnement moteur dans le but d'éviter le pompage ou avoir une marge de sécurité pour ne pas rester en pompage.



LA POSITION DES STATORS A CALAGE VARIABLE

Les VSV sont complètement en position FERME quand N2 restau régime ralenti (61%), les vérins du VSV actionnent les vannes en position plus ouverte quand N2 augmente. Les VSV reviennent graduellement à leurs position FERME quand le nombre de tours N2 diminue jusqu'au régime ralenti.

b.4. VANNES DE DECHARGE TRANSITOIRE (TBV) :

La TBV est un dispositif de vannes (soupapes) qui contrôle la quantité d'air qui sera soutirée (piquée) du 9^{ème} étage pour être renvoyé au distributeur (aube stator) du 1^{er} étage turbine BP.

Pendant le démarrage la TBV est ouverte pour permettre à l'air sous pression de la 9^{ème} étage de passer aux distributeurs du premier étage de la turbine BP, ceci pour éviter le décrochage de l'écoulement dans le compresseur HP.

D'autre part la TBV s'ouvre aussi pour aider à l'accélération rapide du rotor N2.

I.5. LES SYSTEMES DE REACTEUR CFM56-7B :

I.5.1. SYSTEME DE DEMARRAGE :

a) Démarrage réacteur :

Le système de démarrage réacteur utilise la pression du circuit de génération pneumatique de bord qui peut être alimentée par :

- LPU

- Un des réacteurs sur avion déjà en fonctionnement.

- Un ou deux groupes de parc pneumatique (pression compense entre 25 et 55psi).

Le réacteur est équipé d'un démarreur pneumatique à turbine qui entérine l'attelage haute pression, l'alimentation du démarrage qui commandée par une vanne électron pneumatique.

b) Allumage réacteur :

Le dispositif d'allumage air est utilisé pour provoquer l'inflammation du mélange air carburant dans la chambre de combustion ou éviter l'extinction en cours de fonctionnement, l'ensemble est constitué par deux circuits (boîtes) identiques 1 et 2 indépendant.

c) Contrôle de démarrage : Un sélecteur de démarrage «ENG START » permet la sélection du programme de fonctionnement du démarrage et des circuits d'allumage.

Il comprend cinq (05) positions :

- ARRET.
- AUTO.
- SOL.
- ALLUMAGE.
- RALLUMAGE.

Un sélecteur d'allumage a deux positions :

- ❖ BOTH (deux boîtes d'allumage).
- ❖ SINGLE (une seule boîte d'allumage).

II.5.2. SYSTEME D'INVERSEUR DE POUSSEE (T/R) :

Le système d'inverseur de poussée T/R change la direction de l'air éjecter par le fan pour aider à la création d'une poussée inverse.

L'équipage utilise la poussée inverse pour ralentir l'avion après atterrissage ou durant un décalage annulé (RTO).

La direction de flux des gaz de turbine ne change pas durant l'inversion de poussée, le système T/R à un système de contrôle électro-hydraulique et un système indication.

T/R1 est un inverseur de poussée gauche.

T/R2 est un inverseur de poussée droit.

Chaque T/R a un coté droit et un coté gauche, chaque coté a des manches translantant vers l'arrivé (position déployée) pour inverser la poussée, chaque manche travaille indépendamment l'une a l'autre.

L'air éjecte par le fan sort radialement et vers l'avant quand les manches translantant sont dans la position déployée.

Quatre (04) charniers attachent chaque cote du T/R ou mat.

On doit désactiver l'inverseur de poussée avant d'ouvrir un coté du T/R six(06) sangles dans le bas des deux cotée les gardent ensemble.

Les composants suivants constituent un coté de l'inverseur de poussée :

- ❖ Manches translantant.
- ❖ Volet défecteurs type Kreuger (coté interne).
- ❖ Porte de bouchage.
- ❖ Barres d'entraînement des portes de bouchage.
- ❖ Activateur d'ouverture.
- ❖ Sangle de tension.
- ❖ Cloison coups feu.
- ❖ Portières d'accès.

INTRODUCTION :

Notre travail comporte 03 trois chapitres :

CHAPITRE I : Description générale d'un moteur CFM56-7B.

CHAPITRE II : entretien du moteur cfm56-7b.

CHAPITRE III : Etude de maintenance le compresseur base pression.

Le CFM56-7B Choisi par Boeing pour motoriser en exclusivité sa gamme B737 Next Génération, le CFM56-7B permet à CFM International de conforter sa position de leader sur ce marché aéronautique.

Offrant une poussée comprise entre 87 et 121 KN, le **CFM56-7B** a été simultanément certifié en 1996 par la Fédéral Aviation Administration (**FAA**) et la Direction Générale de l'Aviation Civile (**DGAC**). Ce moteur, qui bénéficie de la large expérience de CFM International, est parfaitement adapté à la famille court/moyen-courrier Boeing 737-NG, ainsi qu'aux avions d'affaire du même constructeur, tout en offrant des améliorations substantielles par rapport au CFM56-3.

Dès la phase de conception de l'avion et du moteur, CFM International et Boeing ont fait appel à des équipes techniques et commerciales intégrées afin de coordonner les besoins des compagnies aériennes et de concevoir un nouveau moteur capable d'offrir aux opérateurs, à moindre coût, des performances et une fiabilité encore accrues, ainsi qu'une meilleure adaptation aux exigences environnementales.

Le CFM56-7B est un moteur qui té développé par deux société occupant des place importantes dans le monde à savoir SNECMA une société national Française et GE une société American.

II.1. INTRODUCTION:

Dans toute entreprise bien structurée, le service d'entretien et travaux neufs doit recevoir cinq sorts de mission si l'on veut qu'il accomplisse avec le maximum d'efficacité et au coût minimum, l'ensemble des travaux inhérents à sa fonction.

Se sont:

II.1.1. MAINTENANCE EN BON ETAT DE MARCHE LES INSTALLATIONS FONCTIONNEMENT :

Les installations doivent pouvoir assurer en permanence leur service dans les meilleures conditions de qualité, de délai et de prix de revient.

Une telle action essentiellement préventive peut se faire sous deux modalités d'application, utilisées seule ou simultanément:

- soit par l'entretien correctif qui consiste à relever les divers arrêts et à déceler leur cause pour supprimer les pannes répétitives par l'amélioration du matériel ou de sa conduite.

Cette méthode utilise principalement dans le cas d'un matériel nouvellement acquis comprend deux phases :

* une analyse périodique des incidents de marche et de pannes afin d'en déterminer les principales causes.

* la recherche systématique d'un remède au point de vue technique que sur le plan d'une meilleure définition des consignes de conduite.

- soit par l'entretien préventif qui consiste à intervenir à périodes fixes sur le matériel pour détecter les anomalies ou les usures prématurées et y remédier avant qu'une panne se produise.

Cet entretien préventif peut s'effectuer sous forme:

- de révision systématiques où l'on change à intervalles fixes un certains nombres de pièces déterminées à l'avance.
- De visite systématique où l'on procède à périodes fixes à une inspection audiovisuelle, de la machine avec ou sans appareils amplificateurs, afin de détecter les anomalies existantes et remédier à celle-ci avant aggravation.

D'une manière générale, l'entretien préventif doit se pratiquer des installations d'un TURBOREACTEUR (CFM56 7B) neufs et cesser lorsque celui-ci n'est plus utilisé comme moteur de secours.

II.1.2. REMETTRE RAPIDEMENT EN ETAT DE MARCHE LES INSTALLATIONS EN MARCHE:

Il serait vain d'ailleurs trop coûteux de vouloir supprimer toutes les pannes par pratique de l'entreprise se l'entretien correctif et de l'entretien préventif plus que ces méthodes ne sont rentables que pendant:

- les deux ou trois premières années d'un matériel pour l'entretien correctif puisque ensuite, les pannes répétitives disparaissent.

II.1.3. EXECUTER LES TRAVAUX NEUFS OU INSTALLATION NOUVELLE:

Ces travaux poursuivent un certains nombres d'objectifs précis:

- accroître la capacité d'utilisation des appareils.
- Augmenter la productivité (fiabilité) des flots.
- Remplacer ou moderniser les matériels.
- Améliorer le standing de l'entreprise.
- Aménager des sociaux pour les nouvelles installations de maintenance.

L'importance des travaux neufs est variable dans le temps, conduite souvent à s'assurer le concours de l'entreprise à l'extérieur sous l'autorité d'un même chef, au sien de département (entretien - construction) et ceci pour des multiples raisons mais dont deux sont primordiales.

On effet, cette juxtaposition dans un seul service des trois activités préventifs palliative et travaux neufs permet:

➤ a l'entreprise de connaître parfaitement les installations qu'il a leur même mise en place, et aux travaux neufs, de veiller à éviter toutes les difficultés d'entretien.

➤ Au service << entretien et construction>> de faire face avec de maximum de souplesse et le minimum de personnel aux pointes saisonnières dans les différents domaines.

II.1.4. ASSURER LE FONCTIONNEMENT DES SERVICES GENERAUX:

C'est également au service entretien qu'il appartient d'assurer non seulement l'entretien mais aussi l'exploitation de la facturation aux diverses utilisations de l'avion:

- vide, air comprimée, air sur pressé.
- Gaz, butanes, propane, acétylène, oxygène.
- Vapeur.

- Chauffage, réfrigération.
- Eau.
- Electricité.

II.1.5. AGIR EN TANT QUE CONSEIL DE LA DIRECTION ET DE LA FABRICATION:

Le service <<entretien – construction>> doit enfin réaliser une double action de conseil.

- vis-à-vis de la direction de l'entreprise au sujet:
 - de la préparation et de contrôle des budgets d'entretien par service.
 - De l'achat des matériels afin de:

1- normaliser au maximum sur les matériels aux organes existants toutefois entravé le progrès.

2- Faciliter l'entretien ultérieur.

3- Eviter l'achat de matériels délicats ou trop onéreux à entretenir.

4- Vis-à-vis de l'exploitation pour:

- la mise en roule et le rodage des nouveaux appareils.
- La formation et le perfectionnement du personnel de conduite.
- Le graissage et les vérifications préventives à assurer par le personnel de fabrication.

On rencontre dans certains services entretien bien d'autres taches telle que:

❖ Garage, manutention, cour, outillage, sécurité, protection contre l'incendie.

❖ Ces fonctions n'ayant aucun rapport avec l'activité entretien, elles serrent soulevées pendant le démontage.

II.2. ORGANISATION DE L'ENTRETIEN:

II.2.1. EMPLOI PREFERENTIEL DES DIVERSES FORMES D'ENTRETIEN:

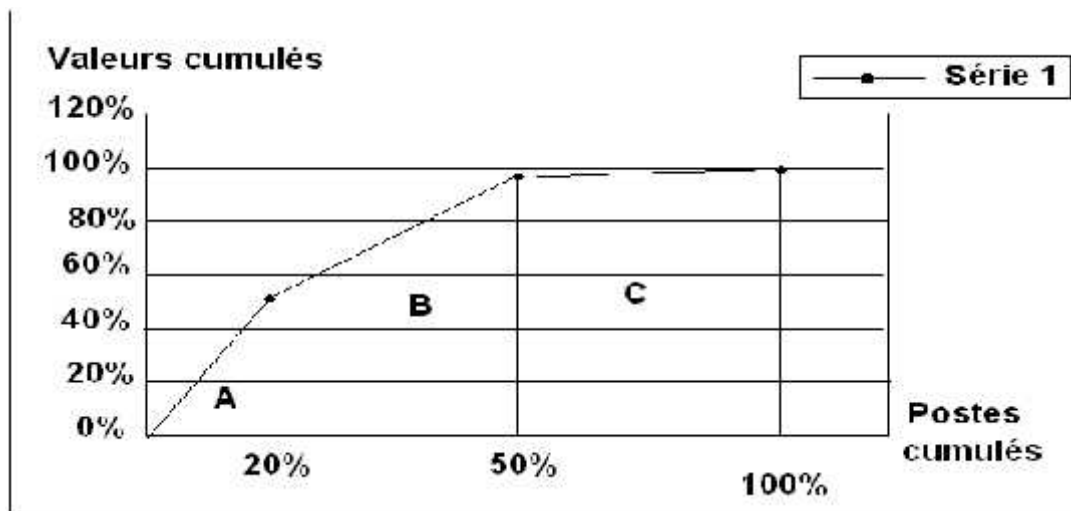


Fig. (III-1) : Répartition type des trois (03) zones

Le chef d'entretien qui dispose de plusieurs méthodes:

- Entretien correctif.
- Entretien préventif.
 - ❖ Par visite systématique.
 - ❖ Par travaux systématiques.

Doit utiliser de préférence l'une ou l'autre de ces méthodes en fonction de l'évolution de l'état du matériel pour obtenir un coût d'entretien minimum.

C'est ainsi que pendant la phase d'installation et de mise en route d'une matérielle prédominance sera donnée à l'entretien correctif qui sera sans doute pratique avec intérêt pendant les deux ou trois premières années de fonctionnement.

Pendant la vie normal du moteur où donnera le pas à l'entretien préventif et celui-ci sera d'autant plus important qu'il s'agisse d'un turboréacteur clé.

On commencera par des visites systématique des l'arrivée du matériel, puis l'on continuera par des travaux de révision systématique intercalées. Avec des inspections tant que du matériel conditionneurs d'utilisation.

C'est grâce à un contrôle comptable que le chef d'entretien sera à même de déterminer exactement le moment ou un changement de méthode s'impose.

Cela nécessite une comptabilisation de toutes les interventions pratiquées sur le matériel et la récapitulation annuelle des dépenses par appareil qui devront être ventilées par chapitre: entretien préventif ou correctif, amélioration ou travaux neufs.

II.2.2. L'ANALYSE ABC:

-Bute de l'analyse ABC:

Toute action d'organisation révélera pour un bénéfice sans doute important en valeur absolue mais faible par rapport au temps consacré à l'étude si celle-ci est menée sur l'ensemble des taches ou des éléments du travail à organiser.

❖ Il existe, cependant un moyen ABC pour obtenir un gain maximum dans tout travail d'organisation.

❖ Il consiste à classer les postes à étudier par ordre de valeur décroissent puis à dresser en placent :

➤ en abscisse les postes cumulés (travaux, pièce, etc.) par ordre d'importance décroissante, en ordonné les valeurs correspondent cumulées (heurs, valeurs, etc....) par ordre d'importance décroissent, en ordonnée les valeurs correspondantes cumulées (heurs, valeurs, etc....).

➤ on obtient de cette façon une courbe analogue à la figure comportant trois zones :

- tranche A correspondant à 20% des postes et 80% des valeurs.
- tranche B correspondant à 30% des postes et 15% des valeurs.
- tranche C correspondant à 50% des postes et 5% des valeurs.

Ca réparation des pourcentages de poste et des pourcentages de valeurs entre les trois zones est toujours sensiblement indique (à $\pm 5\%$ près) quel que soit le travail ou l'élément étudié.

Cela veut dire qu'il existe toujours:

- une tranche A où le gain sera maximum puisqu'il porte sur 80% des valeurs et l'étude rapide puisque 20% seulement des postes serrant à étudier.
- Une tranche B où l'étude sera plus longue (30% des postes à étudier) et le bénéfice plus réduit car pourtant sur 15% des valeurs.
- Une tranche C enfin où l'étude à faire sur 50% des postes coûtera toujours plus chers que le gain espérable sur 5% des valeurs.

Modèle de codification d'urgence:

Dans le système de codification que nous conseillons, les travaux demandés selon quatre degrés d'urgence désignés chacun par une lettre A, B, C, II, seule cette lettre doit figurer sur les demandes des travaux à l'exclusion de toute autre mention sauf pour indiquer le jour où l'entretien peut intervenir.

•Urgence A :

- l'arrêt de fabrication.
- Le risque d'accident corporel.
- Le risque d'accident grave sur l'appareil.

Les travaux ainsi désignés doivent être entreprise de suite par l'entretien en pratique dans le quart d'heure suivant l'appel de la fabrication, en prélevant les ouvriers nécessaires sur les travaux en cours.

•Urgence B :

Cette urgence s'applique dans les cas :

- de ralentissement de la cadence d'utilisation.
- De risque d'accident gère sur l'appareil.
- D'une fuite d'énergie moyenne ou importante.

Ces travaux doivent être courinener par les ouvriers, nécessaire des achèvements de leurs travaux encours.

•Urgence C :

- une fuite d'énergie très légère.
- Une gérie dans la fabrication qui n'est pas cependant ni arrêtée, ni ralentie.
- Aux travaux exécutés à date fixe.

Ces travaux sont pris à la suite des autres travaux d'urgence A et B.

•Travaux D :

Ils s'appliquent à tous les autres cas. Ils sont planés à la suite des autres travaux mais sont arrêtés le cas échéant pour effectuer les travaux d'urgence A et B.

Organigramme type d'un service d'entretien.

II.2.3. ORGANISATION DE L'ENTRETIEN CORRECTIF:**II.2.3.1. DEFINITION ET BUTS DE L'ENTRETIEN CORRECTIF:**

L'entretien correctif consiste à rechercher systématiquement l'amélioration d'un matériel, par des études à intervalles fixes précises à l'avance :

- de l'état de l'appareil.
- De son rendement qualitatif et quantitatif.
- De l'évolution des coûts d'exploitation et d'entretien.
- De la réparation des pannes groupées par causes.
- Des anomalies durant les visites.
- Des organes divers démontés, lors des dépannages ou des révisions systématiques.

Cette amélioration a pour but de réduire le temps d'arrêt de l'appareil et de coût cumulé d'exploitation et d'entretien par la réalisation des conditions suivantes:

- ❖ suppression des pannes répétitives par la mise au point des moteurs.
- ❖ Réduction des usures relevées ou cours des travaux périodique.
- ❖ Réduction des consommations anormales.

- ❖ Diminution des ruptures des pièces trop fragiles.
- ❖ Réparation adaptée à l'état général des turboréacteurs.
- ❖ Achat des appareils de qualité en consommation de cause.
- ❖ Alignement du nouveau matériel sur le matériel le meilleur déjà standardisé.
- ❖ Standardisation des pièces et organes correspondant au divers appareil.
- ❖ Présentation d'argument irréfutable au constructeur en cas de demande de rembourse.
- ❖ Sèment de réparation pendant la période de garantie.

Un chef d'entretien fait donc souvent de l'entretien correctif sans le savoir, notamment chaque fois qu'il donne l'ordre à un dépanneur et renforcer une pièce

Qui vient de casser plusieurs fois de suite, mais pratiquement cet entretien

Correctif sans méthode, il risque les inconvénients suivants:

- soigner les effets des pannes et non leurs causes.
- Passer à côté de la cause réelle de rupture de la pièce qui continuera à se rompre malgré le renforcement.
- Pratiquer une modification valable mais sans rapport avec l'état général de l'appareil (qui doit être réformé sous peu par exemple).
- Manquer d'argument valable pour empêcher la direction d'acheter un matériel défectueux.
- Manquer de preuves suffisamment étayées pour invoquer la responsabilité du constructeur.
- Retomber dans certaines erreurs lors de l'étude de nouvelle installation, faute d'avoir collationné les résultats des matériels modifiés.
- Consacrer son temps à remédier à des pannes mineures, mais assez fréquentes pour frapper l'imagination, alors que des pannes moins répétitives mais plus graves, diminuent d'avantage l'utilisation.
- Adapter une solution plus coûteuse.

II.2.3.2. CHOIX DES PERIODES D'ETUDES DE L'ENTRETIEN CORRECTIF:

L'entretien correctif est pratiqué en trois phases:

- la première se réalise au moment de la standardisation des pièces, organes des tous les turboréacteurs de l'entreprise d'air Algérie.

- La seconde a lieu avant:

- l'achat d'un nouveau matériel, lors des consultations techniques.
- L'étude d'une nouvelle installation équipement, moteurs, etc.

La troisième enfin dure toute la vie du matériel et comprend elle-même deux partie:

- Une étude corrective s'étendant pendant la période de mise en route.
- Une étude systématique annuelles conduites ont partir du collationnement permanent des divers résultats de marche et de l'entretien, mais ces études diminuent en importance à mesure que le matériel vieillit et n'offrent en général, aucun intérêt à être poursuivi au-delà de deux ou trois ans après la mise en service.

II.2.4. ETUDE D'UN NOUVEAU TURBOREACTEUR:

II.2.1.ETUDE D'UN NOUVEAU REACTEUR AVANT ACHAT:

L'entretien doit être obligatoirement consulté on même titre que la fabrication, avant l'achat d'un nouvelle matérielle et grâce aux quatre documents suivants:

- fiche historique des panes.
- Fiche d'entretien d'exploitation.
- Fiche de comparaison des moteurs et organes.
- Fiche de normalisation des pièces.

Il sera bien placé pour justifier son avis à la direction de faire.

- choisir une machine (turboréacteur CFM56-7B) analogue à un matériel satisfaisant.

➤ Imposer au constructeur une modification d'un organe ou d'une matière n'ayant pas donné satisfaction ou non-conformité à normalisation adoptée.

Si l'on manque de renseignements sur le matériel envisagé, il faut consulter des entreprises le possèdent, on devra employer pour cela une formule assurant l'exactitude des renseignements donnés, notamment par un imprimé permettant l'incognito de la personne consultée.

II.2.4.2. ETUDE D'UNE INSTALLATION NOUVELLE PAR LE BUREAU D'ETUDES DE L'ENTREPRISE :

Dans ce cas, le bureau d'étude doit avant de commencer tout projet, consulter les quatre documents précédents relatifs aux matériels analogues pour éviter les mêmes erreurs et continuer la standardisation.

II.2.4.3. ETUDE CORRECTIVE PENDANT LA PERIODE DE GARANTIE:

L'action corrective pendant la période de garantie est la même que pendant la vie normale de matériel mais elle comporte en outre les points suivantes:

- formation correcte de personnel d'entretien.
- Formation correcte de personnel de la fabrication.
- Réduction de la commande pour rendre le constructeur responsable des dommages lui incombant.

II-2-4-4. BILAN ECONOMIQUE DES SOLUTIONS DE CORRECTION:

Avant d'adopter une solution quelconque il est bon de faire un bilan.

- des frais de modification (étude réalisation).
- Des économies escomptées (coût, frais).

Il faut donc choisir la solution idéale en fonction de la possibilité d'amortissement annuel et de la durée possible d'amortissement avant la réforme du matériel, en établissant un graphique de rentabilité des diverses solutions.

II.2.4.5 .CHOIX DE L'ORDRE DES ETUDES:

Comme On Ne Peut Mener Toutes Les Etudes De Front, Il Faut S'attaquer De Suite Aux Problèmes Les Plus Importants Susceptibles D'apporter Une Economie Substantielle Malgré Une Etude Rapide.

Pour Choisir Les Matériels A Etudier Et Les Problèmes A Solutionner, On A Donc Intérêt A Faire Une Analyse A, B, C Des Diverses Sur L'ensemble Du Parc.

II.2.4.6 .MESURE DES RESULTATS OBTENUS PAR L'ENTRETIEN CORRECTIF:

L'entretien correctif a pour but essentiel de réduire le coût de défaillance en provoquant une diminution:

- des coûts de dépannages.
- Des immobilisations des pièces détachées.
- Des pertes des heures de vols.
- Des frais d'exploitation.

En Conclusion, Il Faut Trouver Une Moyen Commande De Mesurer, Le Résultat Obtenue Sous L'influence De L'entretien Correctif Pratique Sur Une Machine Donnée, En Fonction Des Critères Précédent Qui N'agissent Pas Tous Dans Le Même Sens.

II.2.5. ORGANISATION DE L'ENTRETIEN PREVENTIF :

II.2.5.1. BUTS ELEMENTAIRES DE L'ENTRETIEN PREVENTIF :

Les buts sont multiples :

- limiter le vieillissement du matériel.
- Améliorer l'état du turboréacteur avant qu'il ne soit préjudiciable à exploitation en qualité au prix.
- Intervenir avant que le cout de la réparation ne soit trop élevé.
- Diminuer les temps d'arrêt au moment d'une révision ou d'une panne.
- Permettre l'exécution des réparations dans les meilleures conditions.

➤ Supprimer les causes d'accident graves pouvant entraîner la responsabilité civile de l'entreprise.

➤ Agir sur l'état d'esprit du personnel.

➤ Assurer une diminution de l'entretien

II.2.5.2. LES PRINCIPAUX ENTRETIENS PREVENTIF : Ce sont :

➤ le nettoyage.

➤ Le rodage des moteurs neufs de marche.

➤ Les travaux des peintures.

➤ L'établissement de consignes de marche.

➤ Tache périodiques diverses.

➤ Nettoyage des filtres (changements) et cratère d'huile.

➤ Les interventions périodiques.

II.2.5.3. ORGANISATIONS DU GRAISSAGE :

Cette organisation comprendra trois phases :

*** Préparation du graissage :**

○ réduire la documentation technique concernant la lubrification.

○ procéder à une standardisation des huiles et des graissages.

Etablir un plan de graissage pour le turboréacteur.

*** Exécution du graissage :**

Exécuter le planning de graissage ou éventuellement son amélioration et remplacement et divers points à changer et inspecter pendant chaque changement de la quantité d'huile :

➤ graisseurs.

➤ Raccords, flexibles en mauvais états.

➤ Carte de fonctionnement.

➤ Boutons desserrés.

II.2.6. ORGANISATION DES TRAVAUX SYSTEMATIQUES :

II.2.6.1. INTRODUCTIONS :

Parmi ces travaux accomplis systématiquement par l'entretien, c'est-à-dire à une fréquence régulière prédéterminée à l'avance, on trouve :

- les inspections systématiques.
- Les révisions périodiques partielles ou générales.

Les inspections systématiques étant étudiées par ailleurs, nous n'examinerons ici que les révisions périodiques celles-ci groupent des opérations fort différentes par leurs importance et leur fréquence.

En effet on peut indifféremment :

- changer rapidement une pièce d'usure.
- Procéder à l'échange standard d'un organe usé.
- Opérer une révision complète du matériel avec démontage générale et remplacement de toutes les parties défectueuses.

Ces travaux plus ou moins importants sont accomplis pour remédier :

- A une diminution de productivité, soit par augmentation des incident ou panes, soit par réduction de la vitesse de travail.
- A un accroissement des couts d'entretien et d'exploitation, provoqué par l'augmentation du nombre de dépannage ou une majoration importante de la consommation en carburant et lubrifiant.
- A une diminution de la précision du turboréacteur occasionnant une augmentation des rebuts.
- A un accroissement des risques d'accidents pour le personnel.
- Enfin à une baisse de rendement quant la capacité de l'appareil décrois avec les heures de marche.

Ces travaux de révision ne doivent évidemment être exécutés :

- ni trop tôt, pour permettre le maximum d'amortissement et d'usure des pièces à remplacer ainsi que la préparation du travail.
- Ni trop tard, pour ne pas risquer une panne.

Pour être valable, cette méthode nécessite une étude approfondie, notamment :

- ❖ de la périodicité des différents travaux.
- ❖ Des pièces de recharge indispensables.
- ❖ Des temps et effectifs nécessaires pour les diverses méthodes précédentes pour constituer ce que l'on appelle « le cycle d'entretien » du matériel étudié.

II.2.6.2. CYCLES D'ENTRETIEN :

Le cycle d'entretien est la période de temps s'écoulant entre deux révisions générales d'un moteur et comprend tous les travaux systématiques exécutés dans cet intervalle.

Entre deux révisions complètes, on procède souvent aux échanges standards des organes soumis aux plus grands efforts dans l'intervalle de ces échanges, on procède également au remplacement des pièces particulièrement délicates.

Enfin, entre toutes ces révisions ou échanges périodiques on intervient par des inspections systématiques de détection des pannes ou les cas échéant des vérifications diverses.

On trouve donc sur le planning des interventions d'entretien concernant un moteur, un certain nombre d'opérations qu'on peut définir plus ou moins arbitrairement de la façon suivante :

II.2.6.3. INSPECTION OU VISITE :

C'est l'examen des divers éléments d'un moteur pouvant être ausculté, soit à l'œil, soit à l'oreille, sans démontage, sauf, le cas échéant le retrait d'un capotage. L'inspecteur peut cependant utiliser des appareils de mesure ou des outillages amplificateurs pour faciliter la détection éventuelle des anomalies des parties des inspections peut se faire en marche et les autres nécessitent un arrêt.

II.2.6.4. VERIFICATION OU PETITE REVISION :

Elle comprend indifféremment les opérations suivantes :

- la mesure de l'usure sur les pièces à courte durée de vie.
- Les vérifications de mise à niveau des battis.
- Les contrôles géométriques.
- Les réglages d'organes sujets à dérèglements en vigueur.
- Les essais concernant la sécurité on prescrit par les règlements en vigueur.
- La vérification du fonctionnement des différentes protections thermiques, électriques, etc.
- Le remplacement d'une pièce ou d'organes ou révision moyenne, cette opération comprend le remplacement soit de plusieurs pièces, soit de l'organe sujet à usure.

C'est surtout la conception du turboréacteur qui facilite le choix selon les temps de démontage des divers éléments, les fréquences d'usure et les possibilités d'arrêt de ce moteur.

II.2.6.5. REVISION GENERALE :

Elle comprend la remise en état de la machine c'est à dire le démontage à peu près complets, la réparation ou le remplacement de l'appareil.

Sa fréquence sera étudiée en fonction des critères précédemment.

Il est évident qu'avec des études bien faites, on devrait aboutir à des cycles d'entretien de durée identique, pour de moteurs analogues, utilisées des les mêmes façons, avec conditions similaires de surcharge.

II.2.7. ORGANISATION DES VISITES SYSTEMATIQUES :

INTRODUCTIONS :

On a vu que l'entretien préventif par visite systématique consiste un aménagement économique de la méthode précédemment décrite, puisque au

lieu de déclencher les travaux systématiquement à l'intervalle fixe, on se contente de réaliser des inspections à date fixe, et c'est seulement si la visite décèle une anomalie que l'on déclenche une demande de réparation qui peut se faire dans la majorité de cas dans un moment où cela ne gêne ni l'exploitation ni l'entretien, puisque 5% à peine des travaux détectés se révélant.

L'expérience montre que ces visites sont peu onéreuses et permettent de supprimer 70% à 90% des pannes si elles sont bien organisées, le rendement des visites s'explique aisément si l'on fait un choix logique de la méthode qui montre que les neuf causes principales des pannes peuvent être décelées par une centaine de vérifications.

Nous allons passer en revue les principales de l'organisation des visites systématiques qui comprendra toujours (03) phases avec les points suivants :

- une phase préparation :
 - étudier les installations à inspecter.
 - Créer des fiches de visites.
 - Etablir un programme d'inspection.
 - Recruter et former les visiteurs.
- une phase contrôle :
 - enregistrer les travaux détectés.
 - Lancer les résultats des inspections.

Comment assurer le succès du lancement de l'entretien préventif :

Malgré tous ses avantages, l'entretien préventif est assez difficile à lancer dans une entreprise pour les raisons suivantes :

- il n'est pas tellement conforme à la nature humaine de prévenir plutôt que de guérir.
- Les agents d'exploitation ont des préoccupations ne tiennent pas toujours compte des nécessités d'arrêt pour l'entretien.

- L'entretien manque souvent de documentation et d'instructions de contrôle permettant de mesurer et chiffrer les résultats obtenus.
- Les incidents et leurs causes exactes ne sont pas toujours signaler correctement par les utilisateurs des turboréacteurs.
- On craint souvent que l'entretien préventif soit couteux, et si l'on obtient moins de pannes grâce à lui, on pense souvent que cela aurait été pareil sans utilisation.

Les conditions essentielles d'un succès seront donc :

A – convaincre les opposants de l'entretien, de la fabrication et de la direction en leur prouvant par chiffres et graphiques que l'entretien préventif leur apportera respectivement une réduction du travail, une diminution des temps d'immobilisation et un abaissement des coûts d'entretien.

Pour mieux convaincre, il sera bon faire un démarrage progressif dans un secteur pouvant donner le plus vite possible des résultats spectaculaires, et de savoir présenter pour convaincre, c'est-à-dire :

- présenter les arguments de la manière la plus frappante, c'est-à-dire par graphiques.

L'entretien pourra notamment présenter pour deux groupes des moteurs identiques dont un seul a été soumis à l'entretien préventif :

- les courbes des coûts cumulés d'entretien,
- les courbes d'immobilisation durables.
- Le tableau des temps d'arrêts des différents turboréacteurs avant et après introduction de l'entretien préventif.
- Les graphiques des pannes hebdomadaires et des heurs de dépannage correspondantes.

Il faudra veiller à ne pas manquer sur ces documents que les immobilisations imputables à l'entretien à l'exécution des arrêts provenant de la fabrication. On peut d'ailleurs représenter sur un même graphique en fonction du temps :

- ❖ Le pourcentage d'arrêt pour travaux courants de fabrication.
- ❖ Le pourcentage d'arrêt total.

L'aire comprise entre les deux courbes représente la zone de responsabilité de l'entretien qui doit tout mettre en œuvre pour la réduire.

B- avertir à temps la fabrication des visites prévues et planifier les travaux ou visites à la semaine pour donner un maximum de souplesse à leur réalisation et pouvoir les exécuter quand cela gêne le moins l'exploitation.

C- réduire les arrêts en nombre et durée en faisant opérer les vérifications mécanique et électrique simultanément par deux ouvriers et en avançant les visites sur un matériel en panne pour profiter de son arrêt.

D- veiller à obtenir des visites homogènes d'un inspecteur à l'autre et d'une inspection à l'autre, cette homogénéité pourra être obtenue que par l'emploi de fiches de visites suivies point par point par des inspecteurs méthodiques devant établir leur rapport sur place.

E- observer une juste mesure dans le nombre de points à visiter et dans la fréquence des inspections. L'entretien préventif doit diminuer le travail de l'entretien si non il est inutile. Il faut donc trouver ses limites techniques et financières.

F- tenir les documents statistiques nécessaires permettant d'améliorer l'entretien préventif et de calculer sa rentabilité, c'est-à-dire au moins :

- ✓ le planning de visites.
- ✓ les feuilles récapitulatives des rapports d'inspections.
- ✓ les fiches historiques des pannes.
- ✓ les graphiques d'immobilisations du matériel.

G- Constituer les dossiers techniques nécessaires sans se laisser décourager par la longueur du travail. On ouvrira seulement les dossiers mais on s'astreindra ensuite à les tenir à jour.

H- avoir la foi et savoir préserver, les premiers résultats ne pouvant apparaître qu'au bout de plusieurs mois.

En appliquant ces règles avec persévérances, on obtiendra au bout de quelques années des résultats excellents.

II. 3. CAUSES DES DEFAILLANCES D'UN TURBOREACTEUR:

II.3.1. LES PRINCIPAUX CAUSES QUI NECESSITE LES DEFAILLANCES :

Parmi les différents problèmes causants les défaillances sont :

- La corrosion.
- L'érosion.

II.3.1.1. CORROSION DES SURFACES DES PIECES :

Presque tous les métaux et les alliages en service se dégradent sous l'effet de la corrosion. La corrosion est l'attaque chimique des surfaces métalliques par milieu agressif extérieures. Elle se traduit généralement par l'altération de la surface d'un métal. Parmi les agents les plus courant de la corrosion il y a l'air, l'eau de mer, les sols, les acides, les alcalis, les composés organiques etc....

L'expérience montre que ce genre de destruction dépend surtout des trois facteurs suivants :

- 1- De la nature chimique du métal ou de la composition de l'alliage et de structure.
- 2- De la nature chimique du milieu de la teneur en matières corrosions (oxygène, humidité, acides, alcalis, etc.....).
- 3- De la température du milieu ambiant.

Suivant le caractère de la corrosion on distingue :

A- La corrosion uniforme :

Quand le métal se dissout régulièrement sur toute la surface.

B- La corrosion localisée :

Qui altère seulement certains secteurs de l'alliage ou du métal.

C- La corrosion sélective :

Quand on observe la destruction de certains composants de structures de structures.

D- La corrosion inter cristalline :

Quand l'attaque passe en profondeur en suivant les joints des cristaux, suivant la mécanique de l'attaque l'on distingue également la corrosion chimique et électrochimique.

II.3.1.2. LA CORROSION CHIMIQUE :

C'est l'oxygénation du métal par des gaz et des liquides.

L'attaque chimique forme à la surface de métal une pellicule des produits de la corrosion, le plus souvent d'oxyde.

Parfois ces pellicules peuvent préserver le métal de base et le transformer en élément passif par rapport au milieu ambiant.

Les pellicules d'oxydes relativement denses qui peuvent protéger le métal de l'oxydation ultérieure se forment à la surface de l'aluminium, de plomb, de l'étain, du nickel et de chrome, au cours de l'oxydation du fer les pellicules qui se forme est aussi suffisamment dense mai quand son épaisseur augmente, elle se fissure et se stratifie.

II.3.1.3. LA CORROSION ELECTROCHIMIQUE :

A lieu dans des électrolytes liquides ou les ions se déplacent librement. Au contact de la surface du métal avec la solution de l'électrolyte, les atomes passent dans la solution sous forme d'ions en laissent dans le métal une quantité équivalent d'électrons.

II.3.2. PROTECTION DES METAUX CONTRE LA CORROSION :

Les procédés essentiels de la protection des métaux des alliages contre la corrosion sont :

1- l'alliage des métaux et la création d'alliages chimiquement stables d'une composition spéciale.

2- La création à la surface des pièces métallique de pellicules d'oxydes limitant la profondeur de la corrosion.

3- L'exécution des revêtements métalliques.

4- La protection de la surface par une couche de vernis ou de peinture.

L'introduction d'éléments d'alliage dans la composition de certains métaux (acier s et fontes) permet d'élever leur résistance à la corrosion. Les éléments d'alliage forment toujours avec le métal de base des solides (acier austénites, bronze à aluminium) ce qui enlève sensiblement sa résistance à la corrosion de l'acier.

Pour certains métaux et alliage on peut former artificiellement la pellicule d'oxyde passante par oxydation anodique.

La tendance des atomes d'un métal de passer dans une forme ionique est déterminée par potentiel électrochimique.

Le potentiel électrochimique est une grandeur proportionnelle à l'énergie du passage dans la solution des ions du métal dans les conditions données.

(Cuivre : +0.33, étain :-0.1, plomb :-0.12, nickel :-0.23, fer :-0.44, chrome :-0.56, zinc :-0.76, manganèse :-1.1, aluminium : -1.34).

Plus le potentiel électrochimique est négatif, plus la tendance du métal à se dissoudre dans les électrolytes est grande, ainsi l'allure de la dissolution du plomb, c'est-à-dire sa corrosion dans une solution d'acide sulfurique, c'est beaucoup plus lent que celle du fer, etc....

Il faut signaler également un autre aspect de la corrosion dans les électrolytes. Si l'on plonge deux métaux en contact dans électrolyte ils forment ce qu'on appelle un couple galvanique caractérisé par une certaine différence de potentiel.

La formation de ce couple provoque dans le système considéré de dissolution du métal ayant le plus grand potentiel électrique négatif. Ce métal consiste l'onde et envoie ses ions dans la solution de l'électrolyte quant au deuxième métal au potentiel négatif plus faible, il forme la cathode et ne se dissout pas dans l'électrolyte en présence du premier métal.

Ainsi, par exemple, si on prend le couple fer zinc et si on le plonge dans un électrolyte, le zinc se dissout plus vite que le fer et prévient l'oxydation de ce dernier.

Ce phénomène on l'utilise parfois pour la protection des métaux contre la corrosion.

*** Corrosions par piqure :**

Si la surface d'une pièce est recouverte d'un film d'oxyde et on a la piqure de la surface, le fond de la piqure joue le rôle du métal au potentiel négatif et la corrosion se développe en profondeur. La corrosion par piqure est très dangereuse, car elle est pratiquement invisible en surface et attaque les pièces en profondeur. Elle s'accélère à mesure que la piqure s'approfondit.

La protection par revêtement métallique est largement employée dans l'industrie. Tout revêtement métallique doit être continu, la surface des articles revêtus ne doit pas comporter de stries, de rainures etc....

Les revêtements métalliques sont portés à chaud, par le procédé électrolytique ou au pistolet (shoopage).

Le plombage à chaud préserve de la corrosion l'appareillage chimique.

La protection des pièces par dépôts électrolytiques consiste à les placer dans des bains galvaniques ou le courant électrique assure le dépôt du métal sur la surface de la pièce à traiter, on recourt largement au nickelage, au chromage, au zincage et au revêtement par d'autres métaux.

La métallisation consiste à déposer à l'aide d'un pistolet à l'air comprimé des gouttelettes de métal fondu sur la surface de la pièce.

Parfois, pour protéger les métaux contre la corrosion on utilise les protecteurs. Ce procédé est basé sur le fait que, lorsque l'on met en contact deux métaux différents plongés dans électrolyte, le métal au potentiel d'électrode inférieur forme l'anode et se désagrège, en projetant entre la corrosion le métal formant la cathode.

II.3.3. L'ÉROSION :

***Dégradation due a l'humidité :**

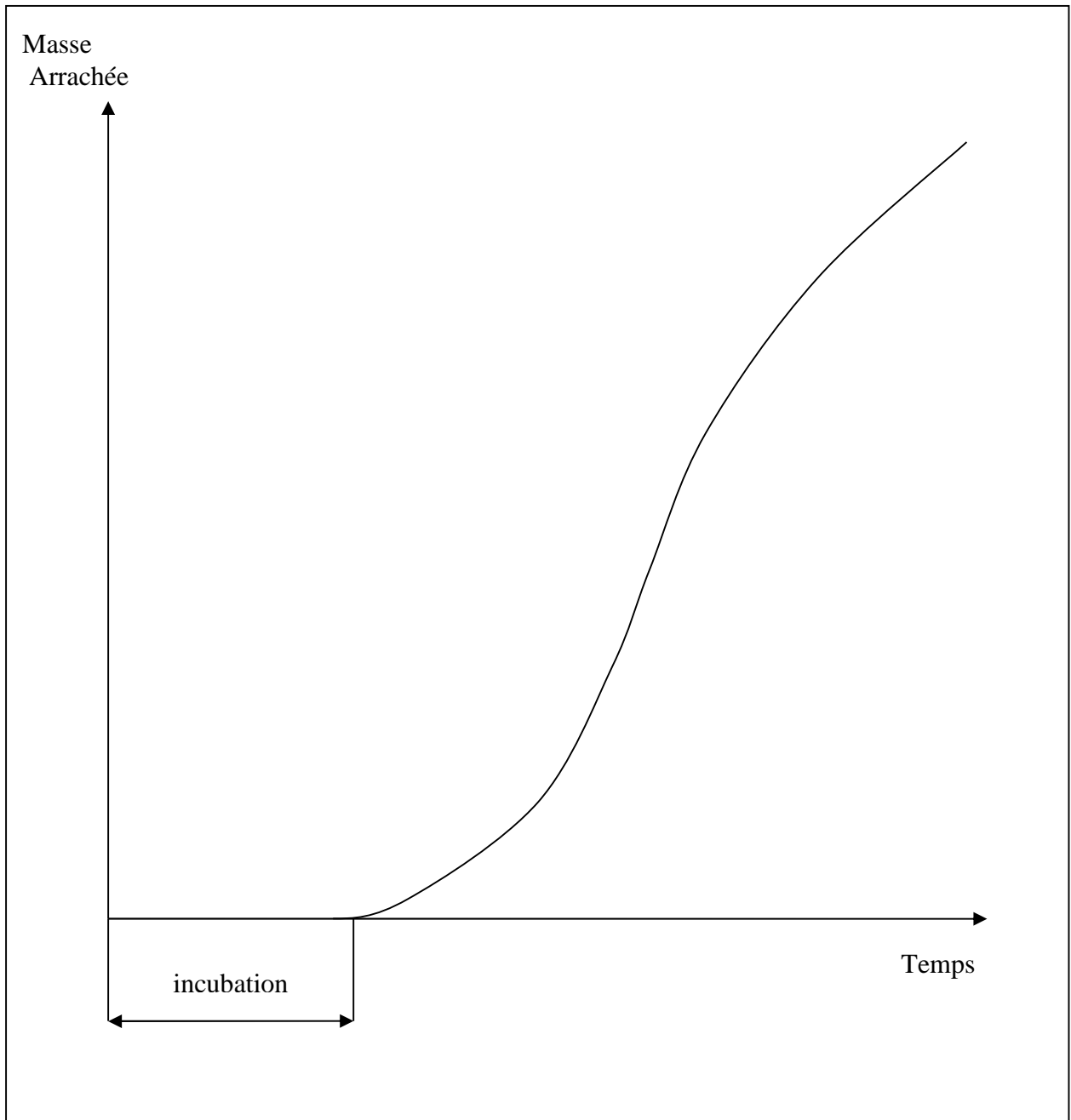
La présence d'humidité peut entraîner différents problèmes de corrosion, nous ne les évoquons pas ici, nous limiterons dans ce paragraphe à étudier le problème de l'érosion produite par l'impact des gouttes d'eau.

Cette érosion se produit vers le sommet des grandes ailettes des turbines haute pression ou la vitesse peut atteindre des valeurs allant jusqu'à 600 à 700 m/s.

Le film d'eau qui s'est déposé sur les aubes fixes va, après le bord de fuite, se déchirer pour former une nappe de grosses gouttes qui vont venir frapper la région du bord d'attaque à l'extrados à une vitesse sensiblement égale à la vitesse propre des gouttes étant faible devant cette vitesse.

Chaque impact donne naissance à une onde de pression plus ou moins violente suivant l'énergie de la goutte et sa direction, sous l'effet de ces répétés, il apparaît des microfissures à la surface de l'aube, et au bout d'un temps plus ou moins long des piqûres et des arrachements de métal.

On distingue trois phases : une période d'incubation est suivie d'une érosion rapide, puis d'une érosion plus lente, on peut penser que l'aube s'érode sa rugosité croit, ce qui permet une rétention d'un film d'eau de plus en plus épaisse qui va amortir l'onde de pression due à l'impact et ainsi ralentir l'érosion.



LES DIFFERENTES PHASES.

II.4.MECANIQUE DE LA RUPTURE ET LA FATIGUE :

II.4.1. LA FATIGUE :

On entend par fatigue ou endommagement par fatigue, la modification des propriétés des matériaux consécutive à l'application de cycle d'efforts, cycle dont la répétition conduite à la rupture des pièces constituées à ces matériaux.

Il y a donc fatigue dès que l'on est en présence d'effort dans le temps, mais ce qui est particulier à la fatigue c'est qu'on fait, les ruptures peuvent être pour des contraintes faibles souvent inférieures à la limite de rupture du matériau et même à la limite d'élasticité, cet endommagement par fatigue ne s'accompagnant, en générale d'aucune modification apparente de forme ou d'aspect de la pièce.

L'origine de la rupture étant due à une fissuration progressive qui s'est étendue jusqu'à ce que la section transversale restante ne puisse plus supporter l'effort appliqué.

➤ Effet de l'endommagement :

On considère qu'il faut distinguer pour les métaux :

A- La limite micro élastique :

Qui est la valeur de la contrainte au dessous de la quelle le cycle effort déformation est purement linéaire à l'aller comme au retour, en conséquence, l'aire de ce cycle est nulle.

B- La limite élastique :

Qui est plus général contrainte pour la quelle le cycle reste fermé sur lui-même, sans que l'aire soit nulle, dans ce domaine, la déformation conserve caractère réversible mais s'accompagne d'une dissipation d'énergie.

C- on constat qu'au dessus de la limite élastique ou le premier cycle effort déformation n'est plus fermé sur lui-même, la répétition de cycles d'efforts peut amener, au bout d'un certain temps, leur fermeture.

On désigne ce phénomène sous le nom d'accommodation et on appelle limite d'accommodation (C_c) la limite de contrainte à ne pas dépasser pour qu'il se produise (voir figure III.2)

➤ **Information :**

= limite micro élastique.

p = limite anélastique.

p = contrainte pour la quelle une déformation plastique est mise en évidence par les essais de relaxation. = limite d'élasticité à (0.2%).

D- Au-delà de la limite d'accommodation, le cycle effort-déformation ne se reforme plus sur lui-même et évolue constamment en ce traduisant par une déformation rémanente.

Il en résulte que dans tous les métaux, les efforts de fatigue entraînent toujours une déformation plastique locale, dans le grain du matériau le plus sollicité.

II.4.2. LES DIFFERENTES SOLLICITATIONS ET LEUR APPELLATION :

En général les sollicitations de fatigue résultent d'effort combinés entre sollicitations statiques et variable, on peut distinguer trois cas de sollicitations variables :

II.4.2.1.SOLLICITATIONS ALTERNÉES :

Les efforts changent de sens alternativement, un cas particulier est celui où les valeurs extrêmes sont égales et de signes contraires.

-Ca et +Ca

Où :

Ca : amplitude de la composante alternative.

II.4.2.2. SOLLICITATION REPETEE :

Les efforts sont toujours de même sens et varient de zéro à une valeur, soit positive soit négative, les valeurs extrêmes sont (0) et (+C) et (-C), la valeur moyenne est $C_m = C / 2$

Ou $C_m = -C/2$.

II.4.2.3. SOLLICITATIONS ONDULEES :

La variation des efforts a lieu de part et d'autre certaine valeur moyenne non nulle (C_m), soit positive soit négative, la valeur minimale demeure différente de zéro, la valeur moyenne algébrique est :

$$C_m = C_{\max} + C_{\min} / 2$$

On peut distinguer aussi à l'autre rapport appelé de contrainte qui est à distinguer du rapport :

$C_a / C_m =$ amplitude de la composante alternative / composante continue.

D'une façon générale, tout effort périodique peut être considéré comme la résultante d'un effort constant ou statique (C_m) et d'un effort alternatif d'amplitude (C_a).

Si $C_m < C_a$, les efforts sont alternés, $C_m = 0$, ils sont alternés symétriques.

Si $C_m = C_a$, les efforts sont répétés.

Si $C_m > C_a$, les efforts sont ondulés.

II.4.3. MECANIQUE DE LA RUPTURE :

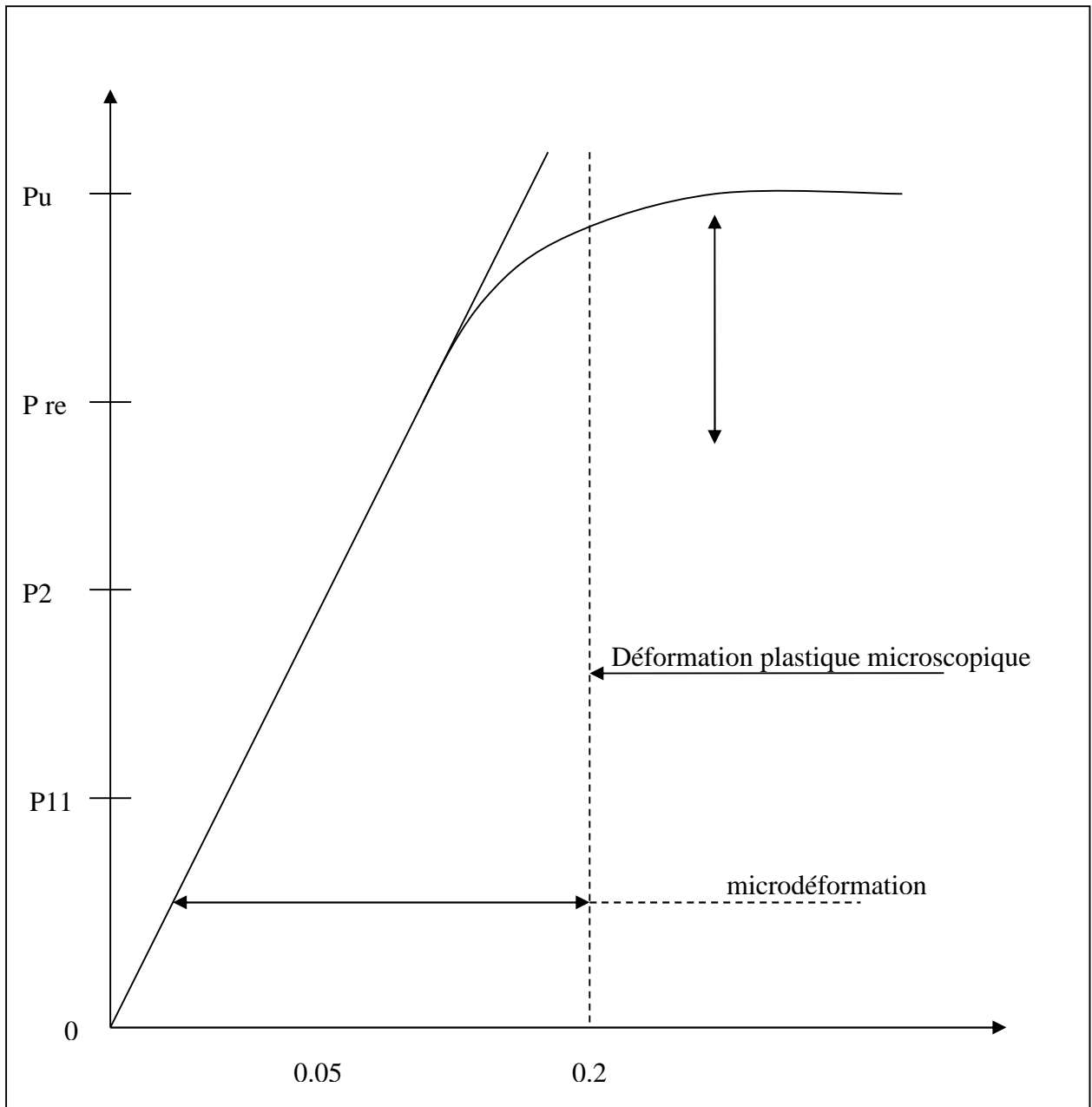
L'étude de la rupture brutale des aciers permet, soit de calculer des contraintes critiques d'utilisations d'un matériau possédant un défaut de longueur donné, soit des longueurs de défauts critiques connaissant la contrainte d'emploi.

Dans ces conditions, on conçoit que dans une structure travaillant en fatigue, dont la taille n'est critique à un moment donné, peut atteindre une taille qui le devient du fait de la propagation lent sous l'effet des contraintes variables.

On a donc cherché à déterminer la vitesse de propagation des fissures de fatigue, tout d'un point de vue technique et macroscopique pour contrôler et prévenir les ruptures de pièces en générale, que d'un point de vue plus physique pour préciser les mécanismes de fatigue.

Les paramètres caractéristiques de la distribution des contraintes et des déformations au voisinage des fissures définissent par la mécanique de la rupture permettant de rendre quantitatif le phénomène de fissuration par fatigues :

- propagation brutale d'une fissure.
- Critère d'énergie.
- Lois de vitesse de fissuration en fatigue.



.DIAGRAMME DE LA DEFORMATION.

CONCLUSION :

à l'issue de mon stage pratique au sein des installations de la direction technique de la compagnie nationale des transport AIR ALGERIE, j'ai pris connaissance :

1. Des différents composants du réacteur CFM 56-7B.
2. Des différents circuits du réacteur CFM56-7B.
3. Du fonctionnement du réacteur CFM56-7B.
4. Des différent procédure du maintenance du compresseur basse pression du réacteur CFM56-7B en atelier et l'entretien en ligne.

Le compresseur basse pression joue un rôle important et capital dans le fonctionnement et le rendement du moteur.il est donc impératif de faire sa maintenance préventive et curative afin que les performances motrices soient correctes.

Ce stage pratique au sein d'AIR ALGERIE ma permis :

- De mettre mes connaissances théoriques en pratique.
- De prendre conscience et connaissance de l'intérêt de la maintenance aéronautique.

BIBLIOGRAPHIE

- ❖ Technologie De Turboréacteur.
- ❖ Guide De Maintenance (AMM).
- ❖ La pratique du turbofan.
- ❖ Les sites internes : www.google.fr
www.lycos.fr
www.cnecma.com
<http://wikipedia.org/wiki/turboreacteur>
- ❖ Engine shop Manual CFMI
- ❖ Snecma Magazine/snecma