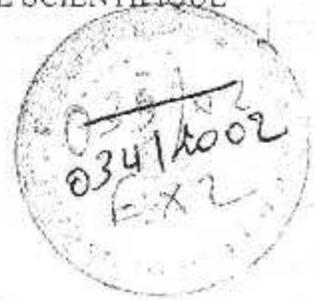


UNIVERSITE DE SAAD DEHLEB  
BLIDA

INSTITUT D'AERONAUTIQUE



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention  
Du diplôme de études universitaires appliquées  
(DEUA)

En Aéronautique

Option : Propulsion

Sujet :

Etude descriptive du Circuit

Carburant du Moteur

CFM56-7B

Version DAC

Présenté par :

Aouadi Cherif  
Zemmouri Chabane.

Promoteur :

Abada Omar.

Promotion : 2001-2002.

# DEDICACES

Je dédie ce travail à :

- Mes très chers parents.
- Mes frères et mes sœurs.
- Ma belle sœur.
- Mon binôme et sa famille.
- Tous mes amis.

CHABANE... 

## DEDICACES

Je dédie ce travail à :

- Mes très chers parents qui m'ont donné le courage et l'aide.
- Mes frères et mes sœurs que je les aime beaucoup.
- Mon très cher binôme Zemmouri Chabane et sa famille.
- Mes amis que je les considère comme frères :  
(Samir , Abdelkader , Khaled , Ali , Zoubir,  
L'âarbi, Ibrahim, El-Mahdi Hammouda et les autres).

CHERIF... 

# REMERCIEMENTS

Nous, le binôme :

CHERIF et CHABANE

remercions :

- le promoteur : Mr ABADA OMAR.
- le coprom~~pt~~teur : Mr GRINE S'LIMANE.
- Et l'ensemble des enseignants de l'institut IAB.

## ABBREVIATIONS

<b>ACARS</b>	: système de transmission des données numériques entre l'avion en vol et le sol inversement.
<b>AGB</b>	: boîte de commande d'accessoires.
<b>AC</b>	: courant alternatif.
<b>APU</b>	: unité de puissance auxiliaire.
<b>ARINC</b>	: organisme de gestion des télécommunications aéronautique.
<b>A/T</b>	: auto manette.
<b>BMV</b>	: valve de répartition des injecteurs.
<b>BSV</b>	: valve de sélection des injecteurs.
<b>°C</b>	: degré celsius.
<b>CDS</b>	: système de visualisation commune.
<b>CDU</b>	: boîte de commande et d'affichage.
<b>CFMI</b>	: CFM international.
<b>DAC</b>	: moteur a chambre de combustion annulaire double.
<b>DMV</b>	: double valve de modulation.
<b>DOD</b>	: dégât causé par un phénomène naturel.
<b>DUE</b>	: unité d'affichage électronique.
<b>ECAM</b>	: electronic centralized aircraft monitor.
<b>EEC</b>	: unité de contrôle électronique.
<b>EGT</b>	: température de sortie des gaz d'échappements.
<b>EHSV</b>	: système hydraulique a moteur couple.
<b>EICAS</b>	: système de contrôle des paramètres moteur et d'alerte équipage.
<b>FADEC</b>	: système de régulation électronique numérique a plein autorité.
<b>FCU</b>	: l'unité de contrôle carburant.
<b>FDAU</b>	: boîte de détection des données de vol.
<b>FIM</b>	: manuel de recherche de panne.
<b>FMC</b>	: ordinateur de gestion de vol.
<b>FMV</b>	: vanne de dosage carburant.
<b>FOD</b>	: dégât cause par des corps étrangers.
<b>FRV</b>	: contrôle de la valve de retour carburant.
<b>HDS</b>	: arbre d'entraînement horizontal.
<b>HMU</b>	: unité hydromécanique.
<b>HPC</b>	: compresseur haute pression.
<b>HPT</b>	: turbine haute pression.
<b>HPTACC</b>	: contrôle actif du jeu turbine haute pression.
<b>HPSOV</b>	: robinet d'arrêt HP.
<b>IDG</b>	: générateur d'entraînement intégré.
<b>IGB</b>	: boîte du dispositif d'admission.
<b>IGV</b>	: aubes de prérotation à calage variable.
<b>LPC</b>	: turbine basse pression.
<b>LPTACC</b>	: contrôle actif du jeu turbine basse pression.
<b>LVDT</b>	: transformateur différentiel variable linéaire.
<b>N1</b>	: vitesse de rotation de l'attelage basse pression.
<b>N2</b>	: vitesse de rotation de l'attelage haute pression.
<b>MSV</b>	: valve de modulation d'échafaudage.

<b>P0</b>	: pression de l'air statique .
<b>PC</b>	: pression de réglage d'asservissement.
<b>PCB</b>	: pression de réglage de corps.
<b>PCF</b>	: pression de réglage d'approvisionnement.
<b>PCR</b>	: pression de référence.
<b>PS3</b>	: pression de décharge du compresseur.
<b>PS12</b>	: pression de l'air statique d'entrée fan.
<b>PS13</b>	: pression de l'air statique de sortie fan.
<b>PT</b>	: pression de l'air total.
<b>RDS</b>	: arbre d'entraînement radial.
<b>RPM</b>	: nombre de tours per minute.
<b>SAVI</b>	: la soupape à air de démarreur .
<b>SNECMA</b>	: société d'études et de construction aéronautique.
<b>T3</b>	: température du 9ème étage du compresseur HP.
<b>T25</b>	: température d'air à la sortie du compresseur HP.
<b>TBV</b>	: vanne de décharge et de transmission.
<b>TGB</b>	: boîte de renvoi d'angle.
<b>TLA</b>	: manette de commande d'angle de poussée.
<b>T/R</b>	: inverseur de poussée.
<b>VBV</b>	: vanne de décharge.
<b>VSV</b>	: stators à calage variable.



## LE RESUMET DU TRAVAIL

Notre étude est basée sur la description complète et le fonctionnement du circuit de carburant du moteur CFM56-7B à double chambre de combustion (DAC), et pour cela , on a étudié la description du moteur CFM56-7B et le système FADEC qui est un système de contrôle nécessaire au bon fonctionnement du moteur .

Et puisque la protection de l'environnement des gaz toxique est l'intérêt de toute l'humanité, la chambre annulaire double assure une diminution importante de ces gaz toxiques par rapport à une chambre simple et spécialement les oxydes d'azote  $NO_x$  qui sont les plus toxiques et leur influence est la plus dangereuse, elle prend donc sa place N° 01 au niveau des TURBO FAN réducteurs de pollution.

# INTRODUCTION

## INTRODUCTION

Pour qu'un avion vole en pleine sécurité, il est nécessaire que le fonctionnement de son moteur soit bon, pour cela il faudrait lui fournir du carburant qui est nécessaire pour le fonctionnement.

L'ensemble des conduites apportant le kérosène des réservoirs vers la chambre de combustion s'appelle le circuit de carburant, c'est un système très important dans un moteur avion.

Le rôle principal de ce système est de transférer le carburant du réservoir jusqu'à la chambre de combustion qu'avec elle que le moteur peut se déplacer suivant le théorème de Newton basé sur le phénomène de l'action et la réaction.

À travers cette étude, on va décrire le circuit de carburant sur le fameux moteur appelé CFM56-7B qui confirme la place n° 1 à l'échelle internationale, À noter qu'il existe deux catégories de ce type de moteur sont :

- CFM56-7B SAC: contient une chambre de combustion annulaire simple
- CFM56-7B DAC: contient une chambre de combustion annulaire double

Cette nouvelle catégorie (DAC) a été adoptée afin de réduire, d'une façon importante, les émissions polluantes d'oxyde d'azote (-45% environ par rapport à un moteur SAC).

Dans notre étude plus ou moins approfondie, on va s'adresser aux chapitres suivants :

- Chapitre 01 : Historique et la description du moteur CFM56-7B
- Chapitre 02 : Le système FADEC
- Chapitre 03 : la description du circuit de carburant du CFM56-7B DAC
- Chapitre 04 : la comparaison entre les deux catégories SAC et DAC

Et en fin, on va terminer cette étude par une conclusion.

## CHAPITRE I

## L'HISTORIQUE ET LA DESCRIPTION DU MOTEUR CFM56-7B

## I.1 HISTORIQUE :

✘ CFM international est un des fournisseurs principaux des moteurs de transport aérien dans le monde. Cette société combine les ressources, l'expertise technique et les services de deux grands fabricants des moteurs d'avions en l'occurrence : SNECMA en France et General Electric (GE) aux états unis.

CFM n'est pas donc un acronyme de mots technique, la société CFMI et sa gamme de production CFM 56 ont obtenu leurs noms par la combinaison des deux désignations commerciales de moteur des deux sociétés parentales : CF6 de GE et M56 de SNECMA.

## ④ I.1.1 SNECMA :

Pendant la première guerre mondiale, la France était le fabricant principal des moteurs d'avions. Entre les deux guerres mondiales, les sociétés françaises des moteurs de Gnome et Rhône, Renault et Hispano-suiza ont été impliquées dans beaucoup de records mondiaux. Après la fin de la deuxième guerre mondiale, la société Gnome et Rhône a été fusionnée avec d'autres fabricants de moteurs d'avions français, y compris Renault, qui a donné naissance à une société publique : société nationale d'étude et de la construction de moteurs d'aviation ou SNECMA.

Le général de Gaulle a signé le projet de loi créant la SNECMA le 29 mai 1945, rendant ainsi l'aéronautique française à un rôle principal. Hispano-suiza est devenue une filiale de service de SNECMA en 1969.

Depuis le début, SNECMA s'est concentrée sur le développement d'une technologie révolutionnaire : le moteur à réaction, elle a développé le moteur d'avion de combat Atar au début des années 1950, en propulsant beaucoup de versions différentes d'avions Dassault, ce moteur a été inextricablement lié avec le succès mondial de la famille des avions de chasse célèbre « mirage ».

Grâce à SNECMA, la France est devenue une source totalement indépendante de moteurs pour ses propres avions militaires et pour les avions exportés à un certain nombre de pays.

Ayant développé le M88-02 pour l'avion de combat « Rafale D » et les unités jumelles de propulsion solide pour la fusée de lancement Ariane 5, le groupe SNECMA occupe une position importante dans les domaines aéronautiques et spatiaux.

## I.1.2 GE AIRCRAFT ENGINES :

General Electric (GE) été au début du XX<sup>ème</sup> siècle spécialisée dans les turbines à gaz. Durant la 1<sup>ère</sup> guerre mondiale, GE fabriquait des compresseurs en série sous l'observation des armées alliés de l'air.

# CHAPITR I

## DESCRIPTION DU MOTEUR

CFM56-7B

Plus tard dans les années 1930, l'Anglais Frank Whittle a conçu une turbine à gaz pour la propulsion d'avion ( Un moteur à réaction), Grâce à ses turbocompresseurs de suralimentation et les travaux de développement des turbines, le gouvernement a attribué à GE, en octobre 1941 un contrat pour produire le premier moteur à réaction de l'Amérique.

Une année plus tard, deux moteurs GE «1-a » propulsaient le premier avion à réaction américain : le Bell XP-59A.

Au cours de la décennie suivante, GE développait des moteurs à réaction pour des avions de chasse et des bombardiers.

Plus de 17000 turboréacteurs J79 ont été construits pour des avions de chasse militaires dans le monde entier, y compris le McDonnell Douglas F-4, Fantôme II et Lockheed F-104 Starfighter.

Durant les années 60, GE se consacre dans le développement des moteurs d'avions commerciaux intercontinentaux au futur.

Aujourd'hui GE Aircraft Engine est un fabricant principal des moteurs à réaction militaires et commerciaux, avec des générateurs de gaz pour l'utilisation maritime et industrielle.

### L1.3 L'HISTOIRE DE COOPERATION :

Au début des années 1970, les chefs respectifs de GE, Aircraft Engine et SNECMA étaient Gerhard Neumann (le pionnier des moteurs à réaction ) et René Ravaut (le héros de la résistance française). Les deux hommes ont partagé la vision d'une coopération internationale et sont restés fermes dans leur but.

Le succès commercial du Turbofan CF6 a fermement établi GE comme un constructeur principal des moteurs à réaction des avions commerciaux. Ce développement de production a incité un accord de production transcontinentale avec SNECMA (France ) en 1969, liant les deux sociétés dans les secteurs financiers et industriels.

Le respect mutuel qui existait entre GE et SNECMA a fourni l'impulsion pour lancer une coopération 50/50. En 1974, ce contrat est devenu légalement formalisé comme CFM international et le premier nouveau Turbofan, CFM56 est né.

Aujourd'hui, le moteur d'avion que René Ravaut et Gerhard Neumann ont créé enregistre 300,000 heures de vol par semaine.

En moyenne, un avion motorisé par un CFM56 décolle chaque sept secondes.

Le cœur du CFM56 est basé sur le moteur GE F-101 (développé pour le bombardier B-1) qui emploie une turbine haute pression mono-étage pour entraîner un compresseur de neuf étages et une turbine basse pression à quatre ou cinq étages pour entraîner le fan réalisé par SNECMA.

CFM international a mis de nouveau standards dans la réduction d'émission de Nox avec l'introduction de sa double chambre de combustion annulaire avancée (DAC : double annular combustor). La DAC réduit les émissions No de 45% comparé à une chambre de combustion annulaire simple. (SAC : Simple annular combustor)

Le CFM56-5 DAC était le premier moteur utilisant cette technologie entrant en service commercial. Le CFM56 est le seul moteur dans sa classe de poussée qui offre cette technologie.

Un des plus grands avantages des moteurs CFM 56 est la ressemblance de conception de ses divers modèles. Cette ressemblance permet aux compagnies aériennes des économies substantielles dans l'outillage, la formation et les investissements dans la pièce de rechange.

Le nouveau CFM56-7 propulse les Boeings : 737-600 700/ 800/ 900. Depuis son lancement en 1993, cette nouvelle famille d'avion a eu l'accumulation la plus rapide de nouvelles commandes que n'importe quel autre avion dans l'histoire.

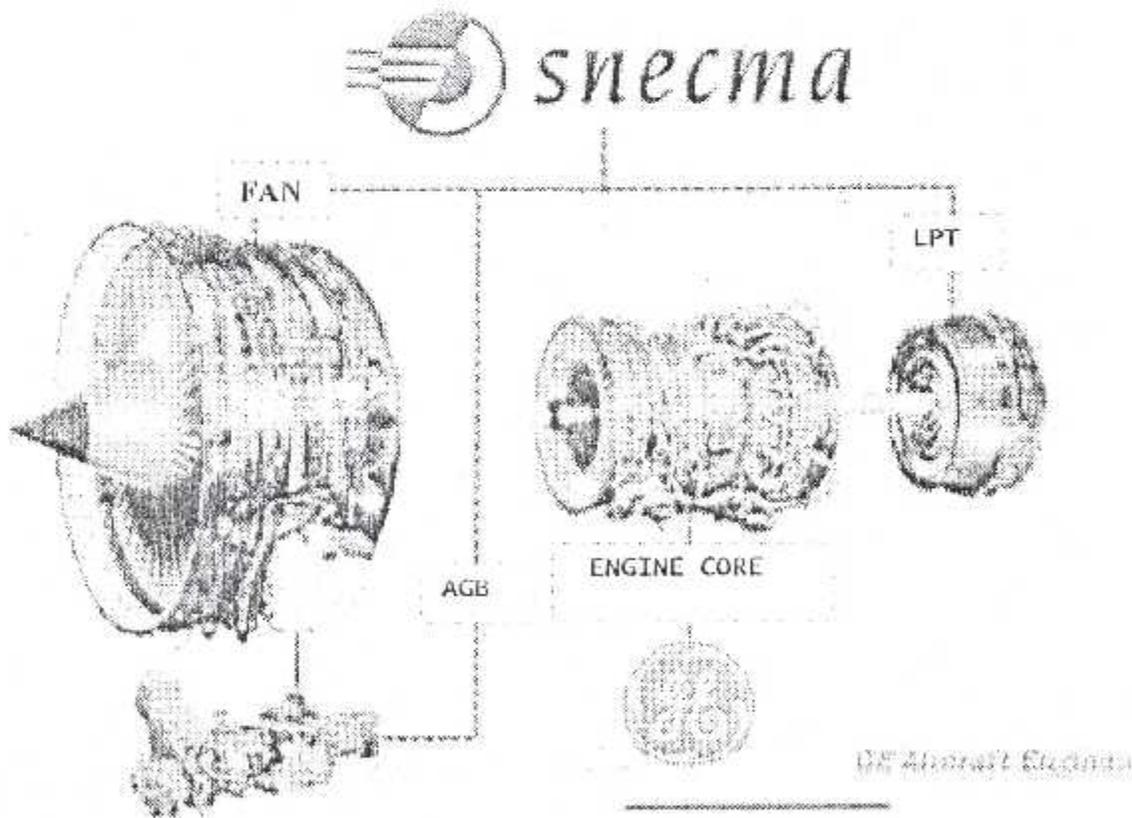


Figure (I.1) : LA COOPERATION CFM

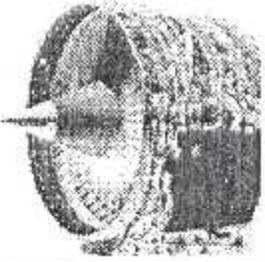
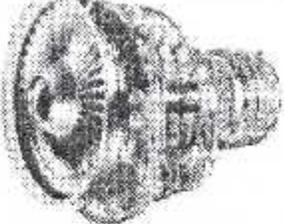
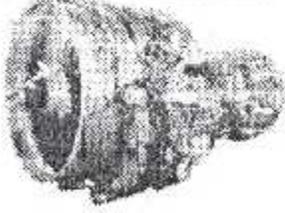
	<p><b>Cfm56-2</b> De 22000 à 24000 Lbs de poussée Equipe : KC-135R , C-135R , E-3 , KE-3A , E-6A , DC-8 super 70</p>
	<p><b>Cfm56-3</b> De 18500 à 23500 Lbs. De poussée Unique moteur disponible pour les Boeing 737-300/-400/-500</p>
	<p><b>Cfm56-5A</b> De 22000 à 26500 Lbs. de poussée Equipe : Airbus Industrie A319 et a320</p>
	<p><b>Cfm56-5B</b> De 22000 à 32000 Lbs. De poussée Equipe : Airbus Industrie A319 , A320 et A321</p>
	<p><b>CFM56-5 C</b> De 31200 à 34000 Lbs. De poussée Equipe Airbus industrie A340</p>
	<p><b>CFM56-7B</b> De 18500 à 26300 Lbs de poussée Unique moteur disponible pour les Boeing : 737-600/-700/-800/-900/BBJ - C40A</p>

Figure (I.2) : DIFERENTS TYPES DES MOTEURS CFM56

## 1.2 DESCRIPTION DU MOTEUR CFM56-7B :

### 1.2.1 DEFINITION :

Le CFM56-7B est un moteur double corps, double flux, Turbofan à écoulement axial avec un taux de défluxion élevé ( $\alpha = 5,6$ ). Il est court, donc léger, et se compose relativement de peu de pièces (40% de moins que les moteurs CF6-50, CF6-80). De plus il est d'une conception entièrement modulaire pour faciliter sa maintenance.

Pour sa conception, les constructeurs font appel à l'ensemble des techniques avancées maîtrisées à ce jour pour l'amélioration des performances et de la durée de vie. Les moteurs disposent en particulier d'un contrôle et d'une régulation électronique et numérique pleine autorité ainsi que d'un ensemble très complet de contrôle actif des jeux entre rotors et carters de la turbine.

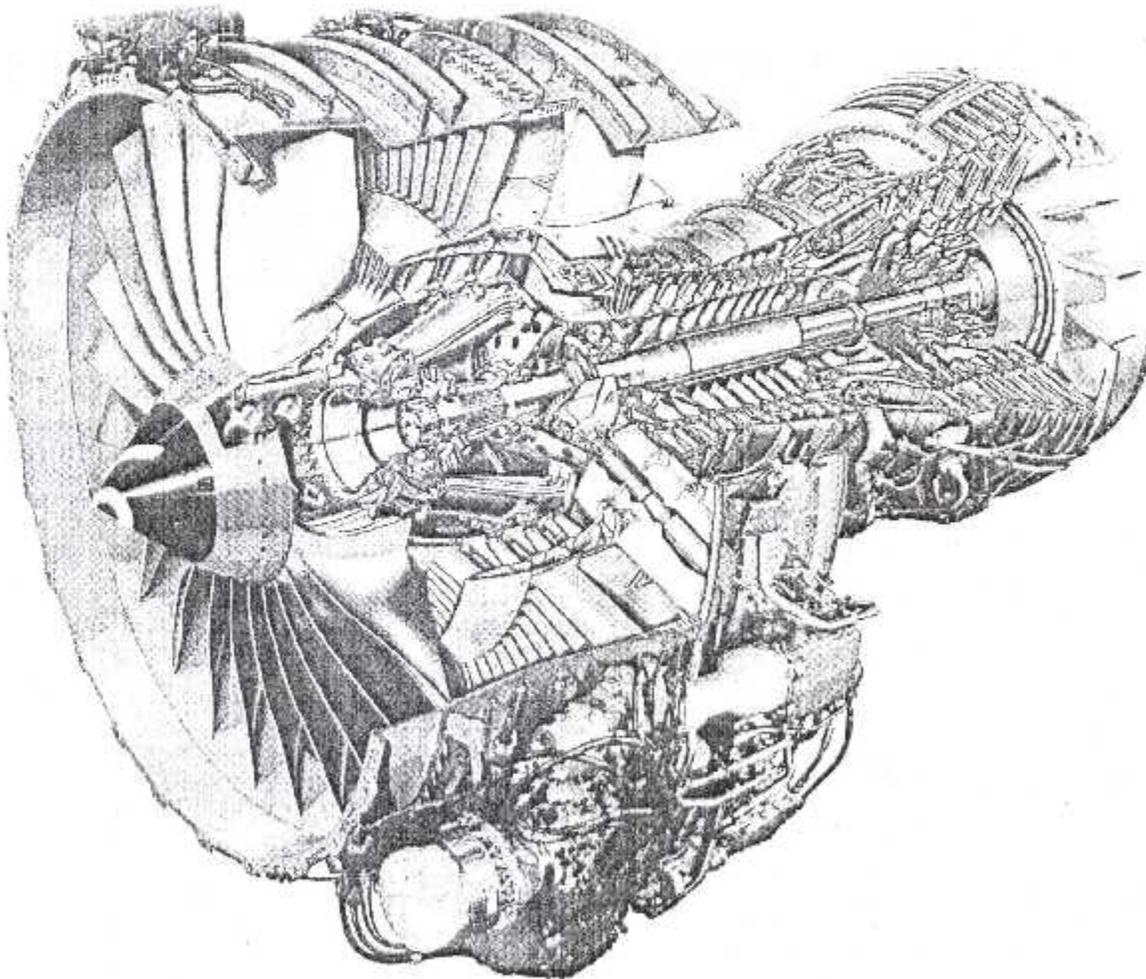


Figure (1.3) : VUE GÉNÉRALE DU MOTEUR CFM56-7B

Son rôle est de fournir :

- La force de poussée nécessaire au vol.
- La force de poussée inverse à l'atterrissage pour assister le freinage de l'avion.
- Les puissances pneumatiques électriques et hydrauliques nécessaires à bord de l'avion.

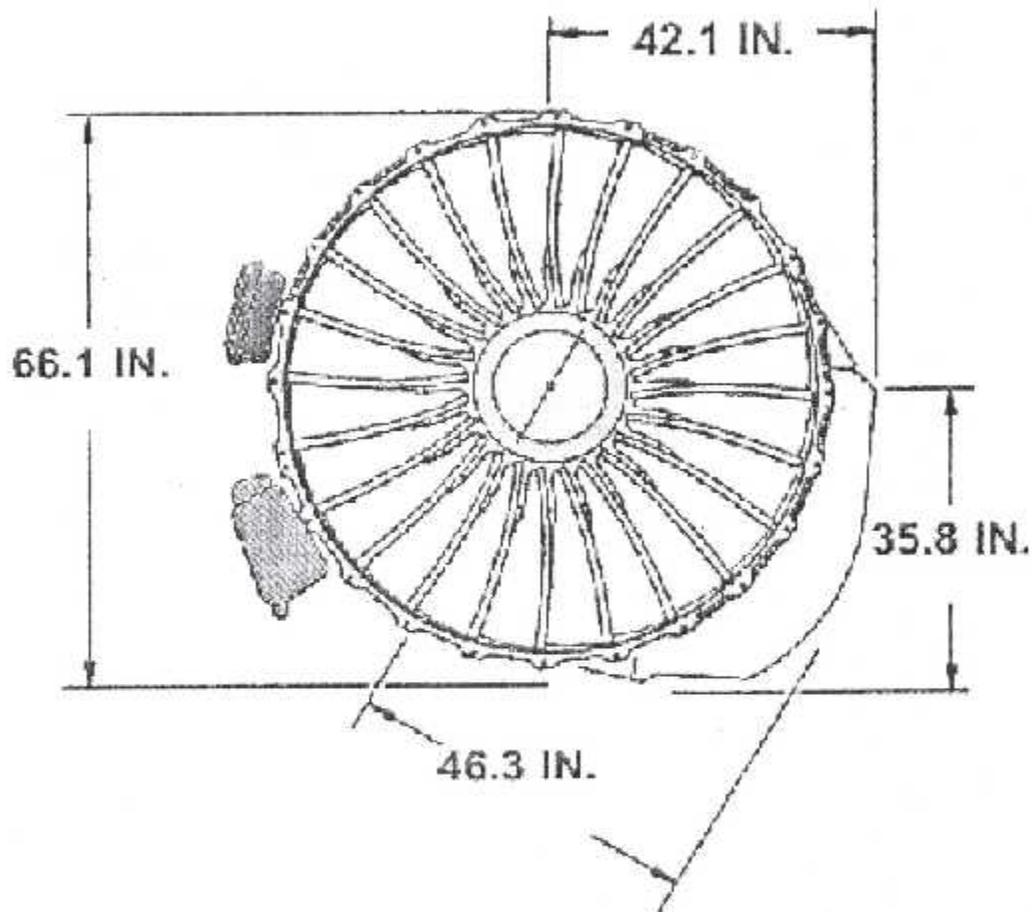


Figure (I.4) : LES DIAMETRES DU FAN

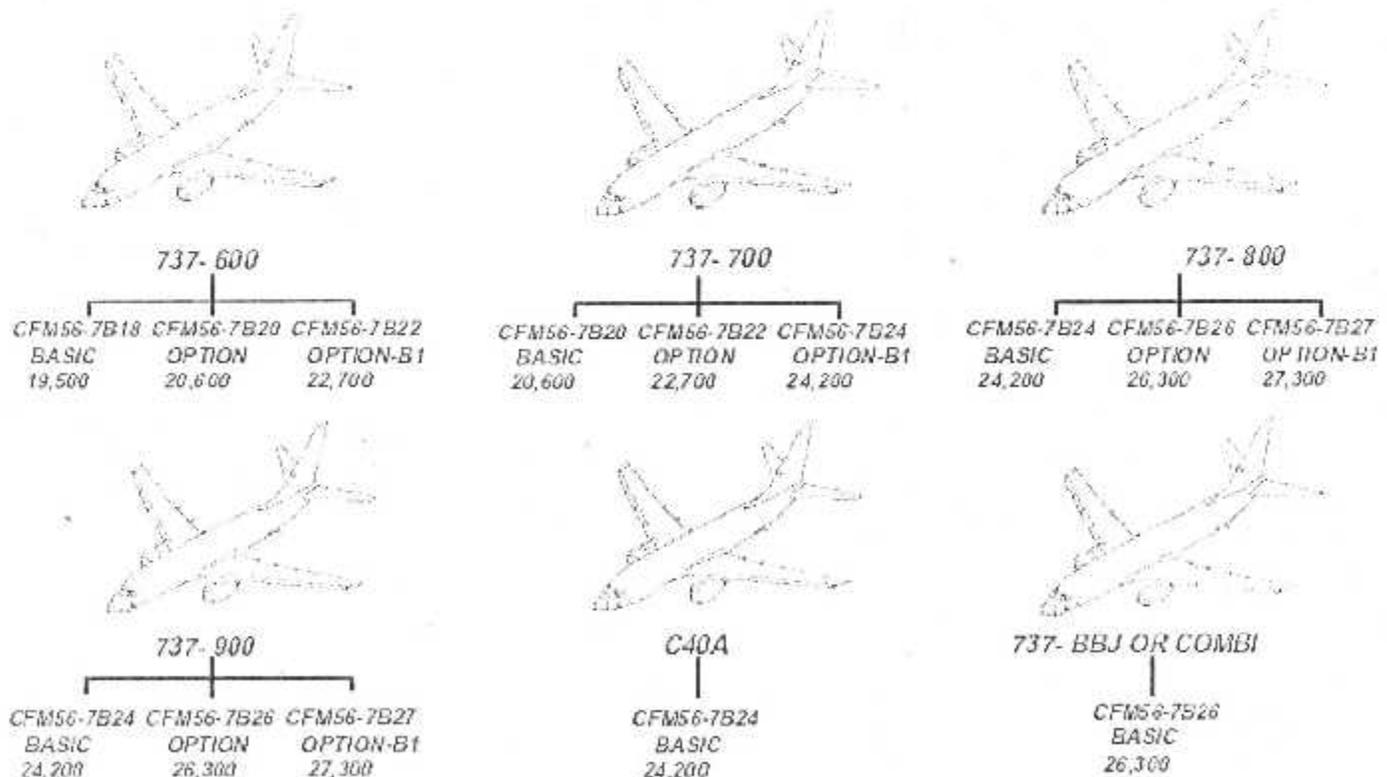
**1.2.2 LES APPLICATIONS DU MOTEUR :**

Ce moteur occupe une position commerciale très sure dans le marché aéronautique. Il équipe les avions Boeing : B737 séries 600/700/800/900, Combi, BBJ (Boeing business Jet ) et CHDA (version militaire).

Les moteurs sont classés en option suivant la poussée qu'ils développent, chaque avion est équipé du moteur qui lui convient et ceci en fonction du volume, de la charge et de l'altitude de l'avion.(voire figure 1.2 .3)

**1.2.3 PUSSEES ET DIAGRAMMES D'UTILISATION :**

VERSION MOTEUR		B18	B20	B22	B24	B26	B27
POUSSE AU DECCOLAGE (lbt)		19500	20600	22700	24200	26400	27300
M O D E L E N	600	X	X	X		X	
	700		X	X	X		
	800/900				X	X	X
	700 IGW		X	X	X		
	700 BBJ					X	



**Figure (1.5) : LES APPLICATIONS DU MOTEUR CFM56-7B**

### 1.2.4 PLAQUE DE DONNEES MOTEUR :

Elle est en acier inoxydable et est peinte avec l'émail noir, située sur la caisse droite de la soufflante à l'arrière du réservoir d'huile. La plaque comprend les données suivantes :

- Données d'organisme de normalisation
- Données de fabrication de moteur
- Données de performances

Son but est d'enregistrer le type de moteur, le model, la certification du type, les codes de production, le numéro de séries, l'estimation de poussées et le fabricant.

### 1.2.5 CARACTERISTIQUES DU MOTEUR :

- Modèle.....	CFM56-7B
- Poussée.....	18000 à 27300 pounds
- Diamètre du fan.....	61 inch (1.55mètres )
- Masse de la nacelle complète.....	3300kg (moteur et capots)
- Longueur.....	2.50 mètres
- Mach.....	0.8
- N1 max.....	5380 rpm (104%)
- N2 max.....	15183 rpm (105%)
- Taux de compression ...	32
- Débit d'air au décollage.....	385kg/sec
- Vitesse moyenne d'éjection.....	295m/sec des gaz(décollage)
- Consommation spécifique ...	0.59à35kft.c.à.d 0.59kg de carburant par Kgf de poussée et par heure
- Taux de dilution ...	5.6
- Générateur électrique.....	90 kva
- Hydraulique.....	3000 psi à 34 gallons/min
- Pneumatique ...	limité à 3000psi et 390 à 440f degrés
- Limite de démarrage de l'EGT.....	725°c
- EGTmax.....	950°c

### 1.2.6 LES MODULES DU MOTEUR :

Le CFM 56 -7B se compose de quatre modules principaux, qui sont les suivants :

- **Module fan** : il se compose d'une soufflante (fan) et d'un compresseur basse pression (LPC : low pressur compressor) constitué de trois (03) étages.
- **Module core** : il se compose d'un compresseur haute pression (HPC : hight pressur compressor) constitué de neuf (09) étages et d'une chambre de combustion de type annulaire.

- **Module LPT** : il se compose d'une turbine haute pression (HPT : high pressur turbine) d'un seul étage et d'une turbine basse pression (LPT : low pressur turbine ) formée de quatre (04) étages.
- **Module de commande des accessoires (GEARBOX).**

La soufflante et les rotors de la turbine et du compresseur basses pressions sont entraînés par le même arbre basse pression N1, tandis que les rotors de la turbine et du compresseur hautes pressions sont également entraînés par l'arbre haute pression N2.

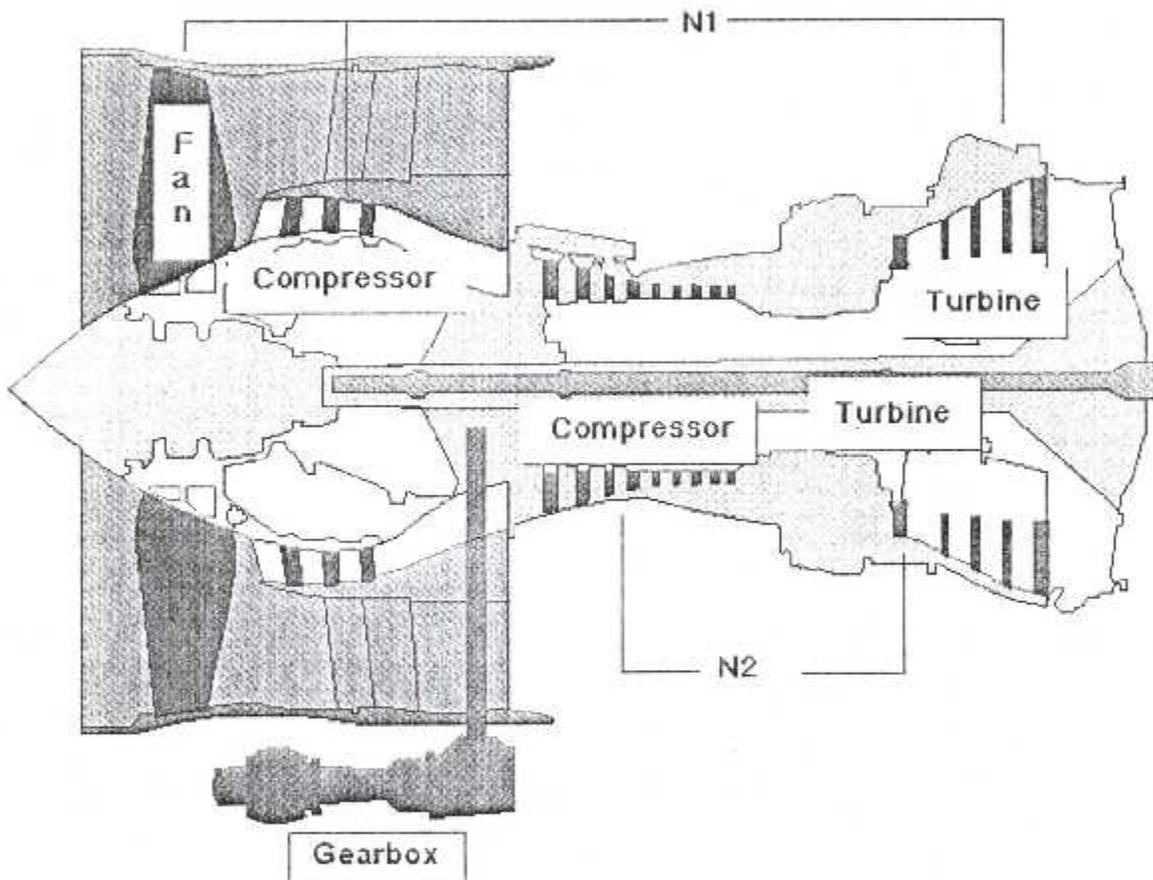


Figure (I.6) : LES DIFFERENTS MODULES DU MOEUR CFM56-7B

**I.2.6.1 LE MODULE FAN :****I.2.6.1.1 LA SOUFFLANTE :**

La soufflante se compose d'un rotor de 24 ailettes, suivi de son étage de stator. Elle est entraînée par l'étage de la turbine basse pression (LPT). Son rôle est d'aspirer et accélérer l'air.

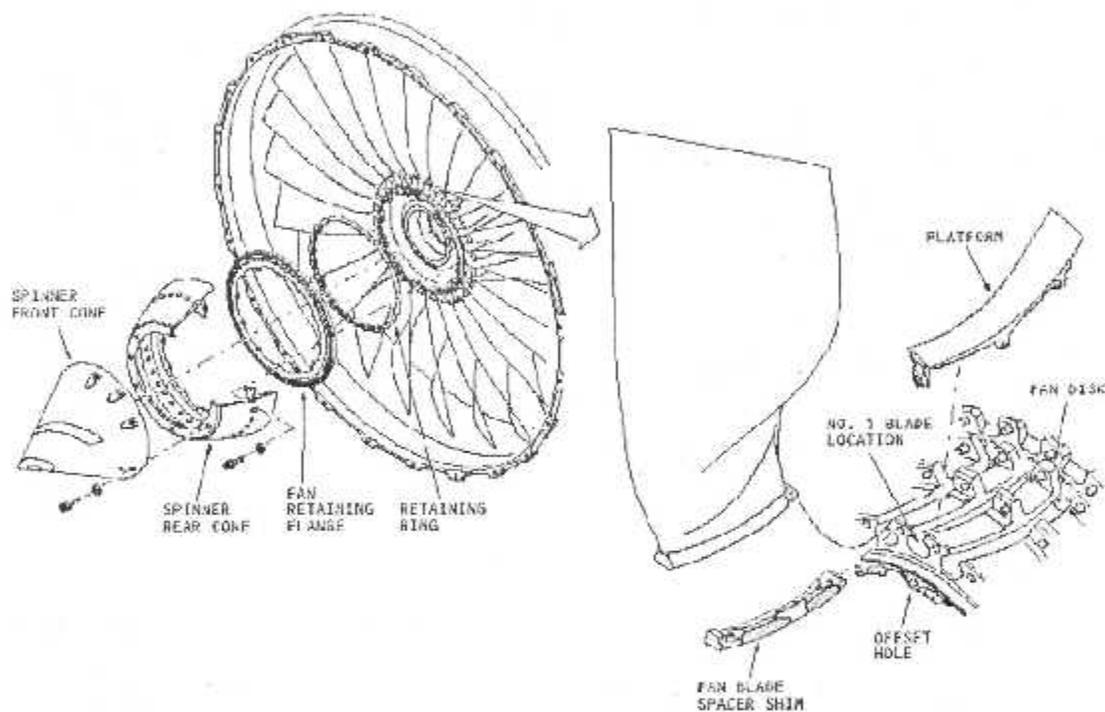


Figure (I.7) : LA SOUFFLANTE DU MOTEUR CFM56-7B

### ➤ LES PALES DE LA SOUFFLANTE :

Il y a 24 pales en alliage de Titane et une entretoise sous chaque pale qui la tient en position radiale correcte. Pour faciliter l'enlèvement de ces derniers pales, il est primordial d'enlever l'entretoise.

Une plate forme entre les pales est prévue afin de rendre le flux d'air régulé et un anneau d'arrêt (bague de retient) tient les entretoises et maintient les pales pour tenir la plate forme et le centre du cône arrière : des brides sont utilisé. On lit ces informations engravées sous la racine de la pale comme par exemple :

- Sa référence
- Son poids
- Son numéro de série

Quand on enlève ou on remplace les pales de la soufflante, il faut d'abord enregistrer la position et le numéro de série des pales afin de maintenir le moteur à l'équilibre. On distingue aussi trente six (36) vis sur le cône d'arrière servent de contrepoids pour équilibrer le système basse pression.

#### I.2.6.1.2 LE COMPRESSEUR BASSE PRESSION (LPC) :

C'est un compresseur a trois (03) étages entraîné également par la turbine basse pression (LPT), Il dispose à sa sortie de 12 vannes de décharge (VBV : variabl bleed valve) qui permettent d'évacuer dans le canal du flux secondaire l'excès d'air qui se forme dans certaines conditions en évitant ainsi le pompage de ce dernier.

La soufflante et le compresseur basse pression forment un compresseur à quatre (04) étages. Le fan accélère la vitesse de l'air qui sera divisé en deux parties, l'air primaire et l'air secondaire :

- L'air primaire qui a pour rôle de faire fonctionner le moteur et qui donne une poussée de l'ordre de 20% de la poussée totale du réacteur.
- L'air secondaire entre dans les approvisionnements de conduit du fan (tuyère du fan). Ce dernier fourni approximativement 80 % de la poussée pendant le démarrage.

### ➤ LES PALES DE LA SOUFFLANTE :

Il y a 24 pales en alliage de Titane et une entretoise sous chaque pale qui la tient en position radiale correcte. Pour faciliter l'enlèvement de ces derniers pales, il est primordial d'enlever l'entretoise.

Une plate forme entre les pales est prévue afin de rendre le flux d'air régulé et un anneau d'arrêt (bague de retient) tient les entretoises et maintient les pales pour tenir la plate forme et le centre du cône arrière : des brides sont utilisé. On lit ces informations engravées sous la racine de la pale comme par exemple :

- Sa référence
- Son poids
- Son numéro de série

Quand on enlève ou on remplace les pales de la soufflante, il faut d'abord enregistrer la position et le numéro de série des pales afin de maintenir le moteur à l'équilibre. On distingue aussi trente six (36) vis sur le cône d'arrière servent de contrepoids pour équilibrer le système basse pression.

#### I.2.6.1.2 LE COMPRESSEUR BASSE PRESSION (LPC) :

C'est un compresseur a trois (03) étages entraîné également par la turbine basse pression (LPT), Il dispose à sa sortie de 12 vannes de décharge (VBV : variable bleed valve) qui permettent d'évacuer dans le canal du flux secondaire l'excès d'air qui se forme dans certaines conditions en évitant ainsi le pompage de ce dernier.

La soufflante et le compresseur basse pression forment un compresseur à quatre (04) étages. Le fan accélère la vitesse de l'air qui sera divisé en deux parties, l'air primaire et l'air secondaire :

- L'air primaire qui a pour rôle de faire fonctionner le moteur et qui donne une poussée de l'ordre de 20% de la poussée totale du réacteur.
- L'air secondaire entre dans les approvisionnements de conduit du fan (tuyère du fan). Ce dernier fourni approximativement 80 % de la poussée pendant le démarrage.

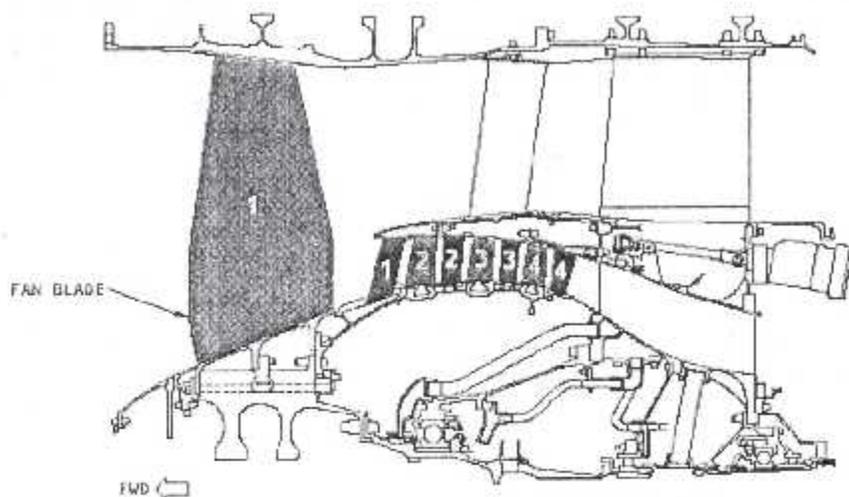


Figure (I.8) : LE MODULE FAN DU MOTEUR CFM56-7B

### 1.2.6.2 LE MODULE CORE :

#### A. LE COMPRESSEUR HAUTE PRESSION (HPC) :

C'est un compresseur axial de forme conique constitué de neuf (09) étages. Il augmente la pression de l'air provenant du compresseur basse pression et l'envoi vers la chambre de combustion, les trois premier étages comportent des aubes statoriques à calage variable (VSV : variabl stator vanne) qui constituent le dispositif anti-pompage haute pression.

#### B. LA CHAMBRE DE COMBUSTION :

La chambre de combustion est de type annulaire comportant vingt (20) injecteurs pour la conception SAC et quarante (40) pour la DAC et deux (02) bougies d'allumage, l'air provenant du compresseur haute pression est mélangé avec du carburant pulvérisé. Ce mélange s'enflamme et génère des gaz chauds qui se dirige vers la turbine haute pression (HPT) pour l'entraîner en premier lieu puis la turbine basse pression (LPT) en second lieu.

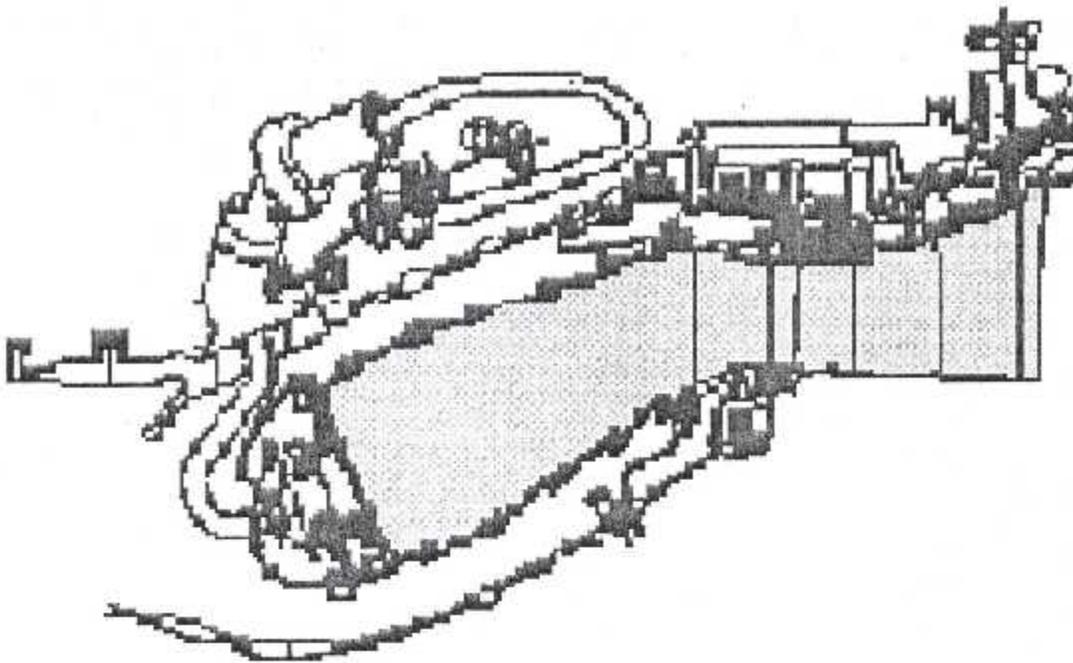


Figure (I.9) : LA CHAMBRE DE COMBUSTION SIMPLE DU CFM56-7B

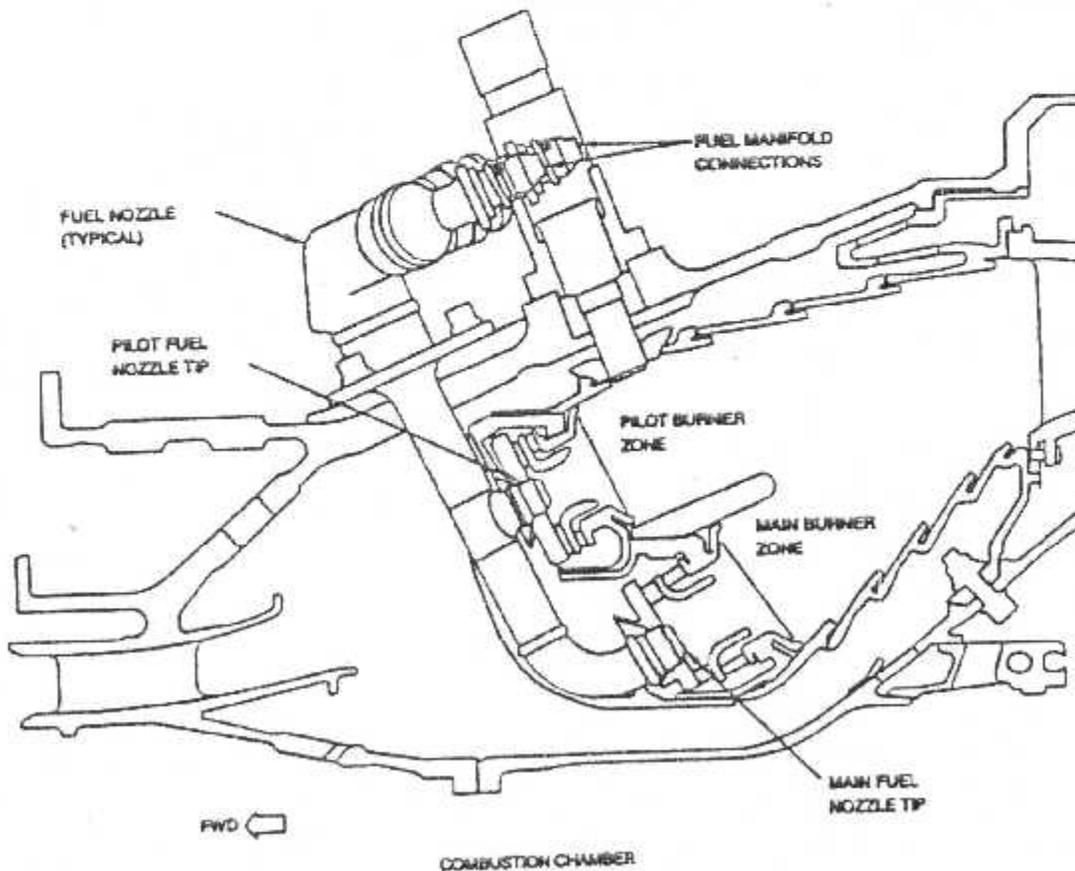


Figure (I.10) : LA CHAMBRE DE COMBUSTION DOUBLE DU CFM56-7B

### I.2.6.3 LE MODULE LPT :

#### A. LA TURBINE HAUTE PRESSION (HPT) :

Le module de la turbine haute pression (HPT) est constitué d'un (01) étage, il a pour rôle de transformer l'énergie calorifique des gaz chaudes en énergie mécanique pour entraîner le compresseur haute pression (HPC) et la commande des accessoires. L'ensemble compresseur et turbine haute pression (HPT et HPC) est appelé attelage haute pression N2, cet attelage tourne dans le sens horaire, il est supporté par trois (03) roulements : un (01) à billes et deux (02) à galets (ou à rouleaux) : 3B, 3R et 4R.

#### B. LA TURBINE BASSE PRESSION (LPT) :

C'est une turbine à 04 étages, elle transforme l'énergie calorifique des gaz chauds en énergie mécanique qui sert à entraîner la soufflante et le compresseur basse pression (LPC). L'ensemble turbine et compresseur basse pression (LPT et LPC) est appelé : attelage basse pression : N1. Cet attelage tourne dans le sens horaire, il est supporté par un (01) roulement à galets (ou à rouleaux) : 5R.

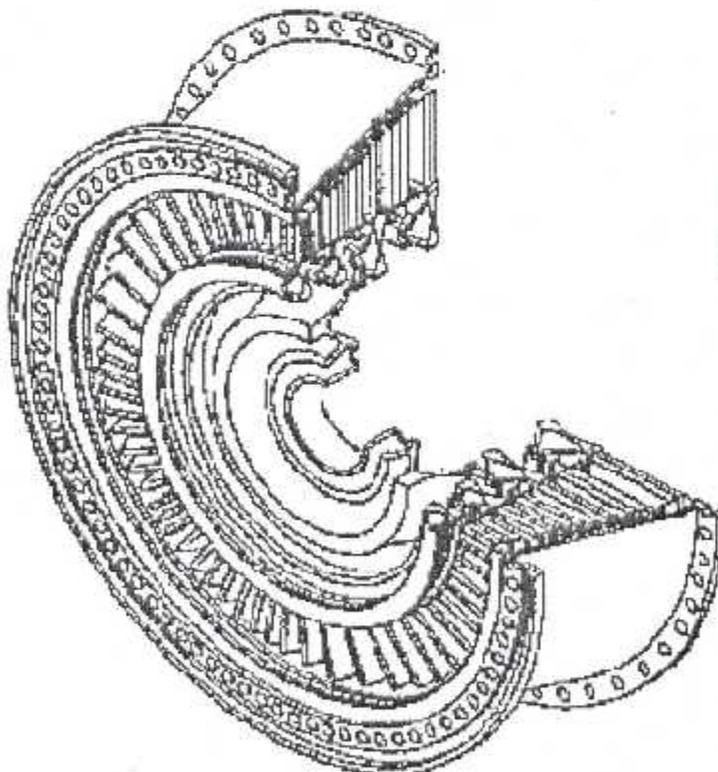


Figure (I.11) : LA TURBINE BASSE PRESSION (LPT)  
DU MOTEUR CFM56-7B

#### I.2.6.4 LE MODULE DES COMMANDES DES ACCESSOIRES (GEARBOX) :

##### A. LES COMPOSANTES DE LA GEARBOX :

La commande des accessoires GEARBOX est composée de :

- Boite du dispositif d'admission (IGB : inlet gear box)
- Arbre d'entraînement radiale (RDS : radial drive shaft).
- Boîtier de renvois d'angle (TGB : transfer gear box)
- Arbre de renvois d'angle (HDS : horizontal drive shaft)
- Boite de commande des accessoires (AGB : accessory gearbox)

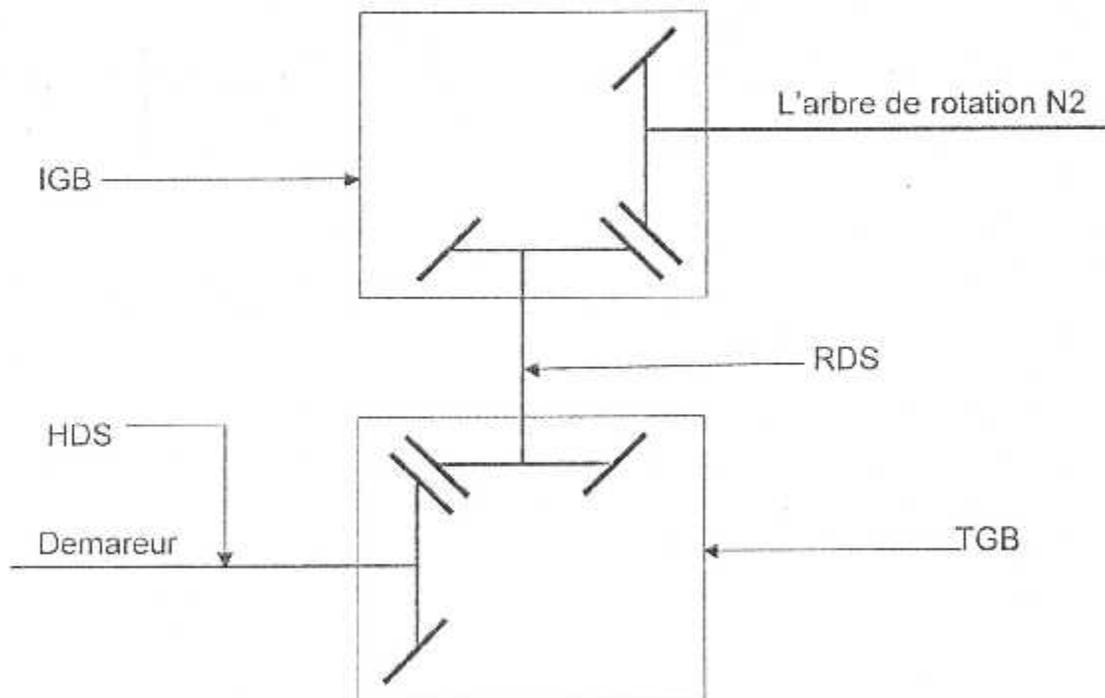


Figure (I.12) : LES COMPOSANTES DE LA GEARBOX

## B. LA BOITE D'ENTRAINEMENT DES ACCESSOIRES (AGB) :

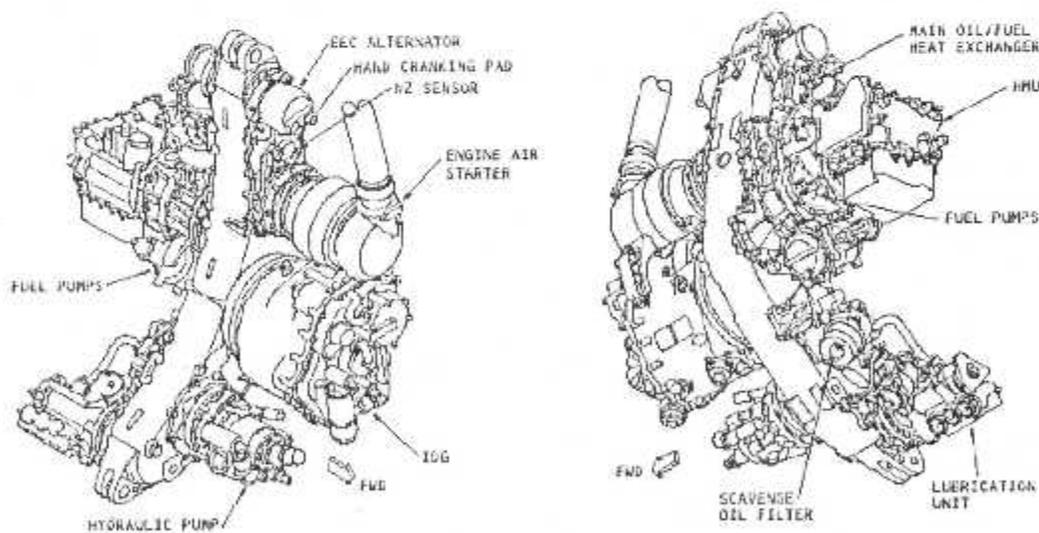
L'attelage haute pression (HP) entraîne le boîtier d'entraînement des accessoires par le biais de l'axe N2. Le transfert du mouvement de rotation s'effectue par les axes et les boîtes de vitesse suivantes : IGB, RDS, TGB, HDS .

L'attelage haute pression (HP) reçoit aussi son mouvement du démarreur et ceci par l'intermédiaire de la prise de mouvement (IGB) et de la boîte de transfert du mouvement (AGB). Le boîtier d'entraînement des accessoires est fixé à la partie inférieure du fan , il est équipé des différents accessoires suivants :

➤ Sur la face avant :

- Joint magnétique
- Alternateur de la EEC
- Démarreur d'air du moteur
- Lancement de la garniture à la manivelle .
- Pompe hydraulique
- Générateur intégré d'entraînement

La garniture de la manivelle est utilisée pour entraîner le rotor de l'arbre N2 pendant l'endoscopie.



**Figure (I.13) : LA BOITE D'ENTRAINEMENT DES ACCESSOIRES DU MOTEUR CFM56-7B**

➤ Sur la face arrière :

- Joint magnétique /
- Unité Hydromécanique (HMU)
- Pompe de carburant
- Pompe de lubrification
- Echangeur de chaleur principale (Huile / carburant)
- Servo réchauffeur du carburant

### I.2.7 ROULEMENTS DU MOTEUR ET CARTERS DE VIDANGE :

Il existe deux carters de vidange au niveau du moteur : avant et arrière, cinq roulements principaux ( deux à billes et trois à rouleaux ) sont contenus dans le carter de vidange avant (roulements : 1B, 2R, 3B) et celui de l'arrière (roulements : 4R et 5R).

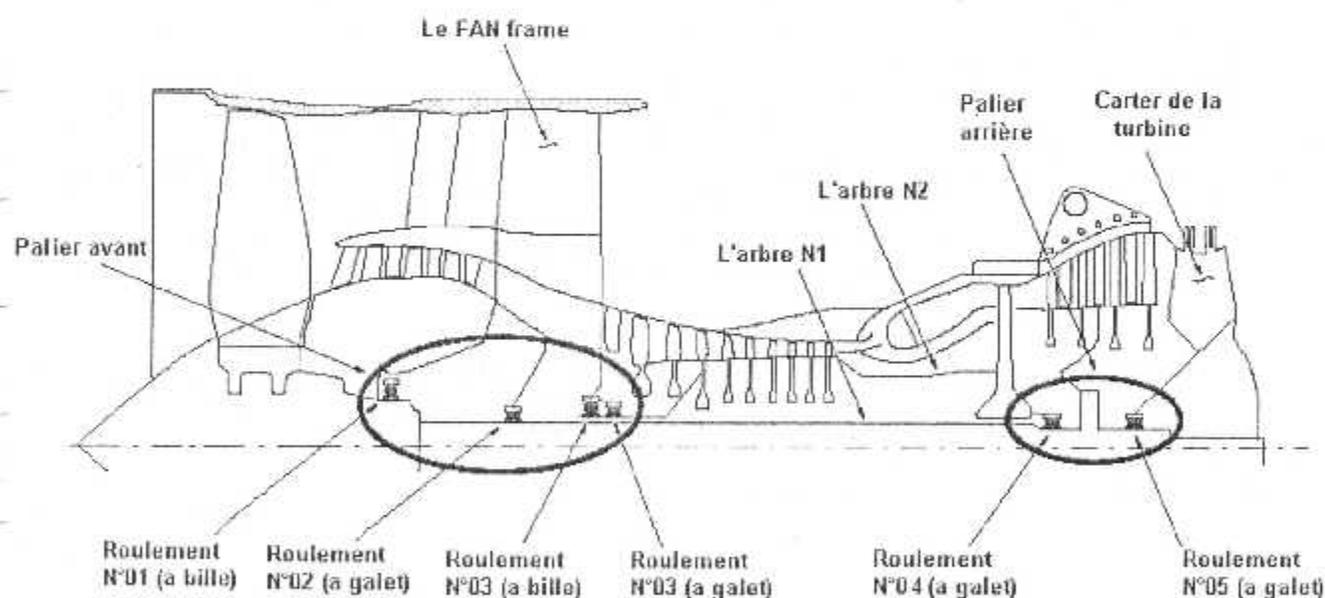


Figure (I.14) : LES PALIERS PRINCIPAUX DU MOTEUR CFM56-7B

Cinq roulements principaux du moteur tiennent l'axe de N1 et de N2, le nombre de 1 à 5 identifie le roulement du moteur. Les roulements à rouleaux absorbent les charges radiales ainsi que les roulements à billes absorbent les charges axiales et radiales des axes. Les roulements servent d'appuis pour les axes (arbres) de N1 et de N2 comme suit :

Les roulements	Type de roulement	Le rôle
N° 1	A bille	- Supporte l'axe de soufflante.
N° 2	A rouleaux	- Supporte l'axe de soufflante. - Supporte l'arbre du compresseur haut pression sur l'embout.
N° 3	A bille	- Supporte l'arbre du compresseur haut pression sur l'embout.
N° 4	A rouleaux	- Supporte l'arbre du rotor arrière de la turbine basse pression (LPT). - Supporte l'arbre du compresseur haut pression sur l'embout.
N° 5	A rouleaux	- Supporte l'arbre du compresseur haut pression sur l'embout.

✓ **REMARQUE :**

Le roulement à bille N° 03 et les trois roulements à rouleaux supportent l'arbre du compresseur haute pression sur l'embout (le bout avant), il se situe sur l'IGB.

**1.2.8 LES BRIDES DU MOTEUR :**

On distingue 07 brides, le lieu de fer entre deux pièces. le CFM56-7B contient 16 brides marqués avec des désignation alphanumérique pour localiser le bride approprié en emploi la désignation alphanumérique correcte du bride.

### 1.2.9 LES STATIONS AERODYNAMIQUES :

On distingue dans le CFM56 7B, sept (07) stations aérodynamiques ou on a placé des sondes de mesures :

- Station 0 : air ambiant
- Station 12 : entrée de la soufflante
- Station 25 : température d'admission du compresseur HP
- Station 30 : Décharge du compresseur HP
- Station 49.5 : 2ème étage de la turbine LP

Si le moteur a le kit de surveillance de sécurité optimale, on a plus de sondes ces stations aérodynamiques :

- Station 13 : Décharge de Soufflante
- Station 25 : Admission du HPC
- Station 50 : Décharge de LPT

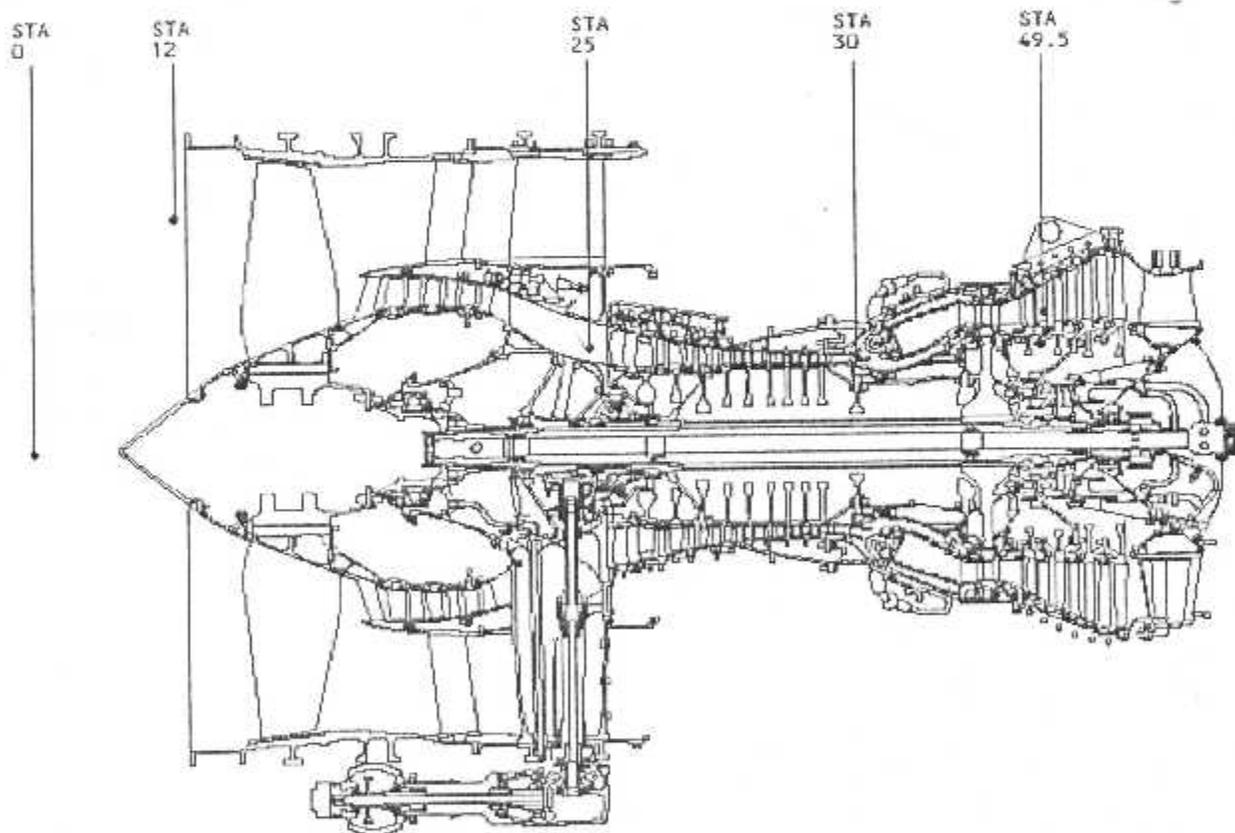


Figure (I.15) : LES STATIONS AERODYNAMIQUES DU MOTEUR CFM56-7B

### 1.2.10 LE CAPOTAGE DU MOTEUR :

Le capotage du CFM56 -7B comprend :

- Capot d'entrée d'air.
- Capot fan
- Capot Reverse

En plus de leur rôle évident de protection et de carénage extérieur des moteurs, les capots assurent les fonctions suivantes :

- Ils forment le canal d'écoulement du flux secondaire et sa tuyère
- Ils comportent les dispositifs d'inversion de poussée par retournement du flux Secondaire
- Entre les carters du moteur et leurs parois internes, ils forment des compartiments isolés pour contenir puis évacuer des vapeurs ou des écoulements de carburant et d'huile de fluide hydraulique qui pourraient s'accumuler dans la nacelle en cas de fuite
- Ils contiennent les effets de l'explosion ou d'une fuite éventuelle importante d'une tuyauterie pneumatique
- Ils sont capables de contenir un incendie éventuel pendant 15 minute

En plus les capots du CFM56-7B comportent de nombreuses portes de visite pour faciliter les opérations d'entretien courantes.

Ces portes sont les suivantes :

➤ Sur le capot d'entrée :

- La porte d'accès T 12
- L'entrée d'air du refroidissement de la EEC

➤ Sur le capot du fan :

- La porte d'accès d'IDG
- Porte d'accès aux détecteurs de limaille de fer (chip detector)
- Dispositif de contrôle de tourbillons
- Porte d'accès au réservoir d'huile
- Système d'inverseurs de poussée (T/R)
- Contrôle électronique du moteur (EEC).

*AGB : fait fonctionner les accessoires avions et les accessoires moteurs.*

CHAPITR II  
LE SYSTEME FADEC

## CHAPITRE II

## LE SYSTEME FADEC

## II.1 DESCRIPTION DU SYSTEME FADEC :

FADEC : (Full authority digital engine control : système de régulation électronique et numérique pleine autorité du moteur).

Le FADEC est un système digital à micro processeur pour contrôler la gestion du turboréacteur ainsi qu'un appareil de sécurité pour prévenir des dégâts sérieux sur votre moteur. Il calcule la quantité de carburant à injecter au moteur en fonction de la position de la manette des gaz, de température des gaz d'échappement et de la pression du compresseur. Le début de séquence de démarrage semi automatique vous aide dans cette phase critique de l'opération. Il contrôle la quantité de carburant à injecter dans la chambre de combustion, la température des gaz d'échappement et il permet de connaître et de contrôler la pompe à carburant très attentivement.

Le FADEC a des capteurs pour mesurer la température des gaz à l'échappement (thermocouple) et la pression du compresseur (sonde de pression) avec ces informations, le système garde le moteur dans ses limites de fonctionnement. Le système contrôle le temps de l'accélération et de la décélération sans surchauffer le moteur.

Le système FADEC comprend les éléments principaux suivants:

- 1. • Une unité de commande électronique numérique (EEC) qui constitue de deux canaux associés en périphérie. Le EEC est l'ordinateur du système FADEC, elle est située sur le moteur (fan frame) en position 4 : 00. Il commande le moteur d'après l'équipage ou du système de commande automatique de la poussée (automatique) dans toute la gamme de régime autorisé, et en plus assure une surveillance continue du fonctionnement du moteur en empêchant le franchissement des limites calculées.

✓ L'unité de commande traite :

- 1 - Calculs de commande de moteur,
- 2 - Commandes pour des composants associés,
- 3 - Entretien de système de FADEC.

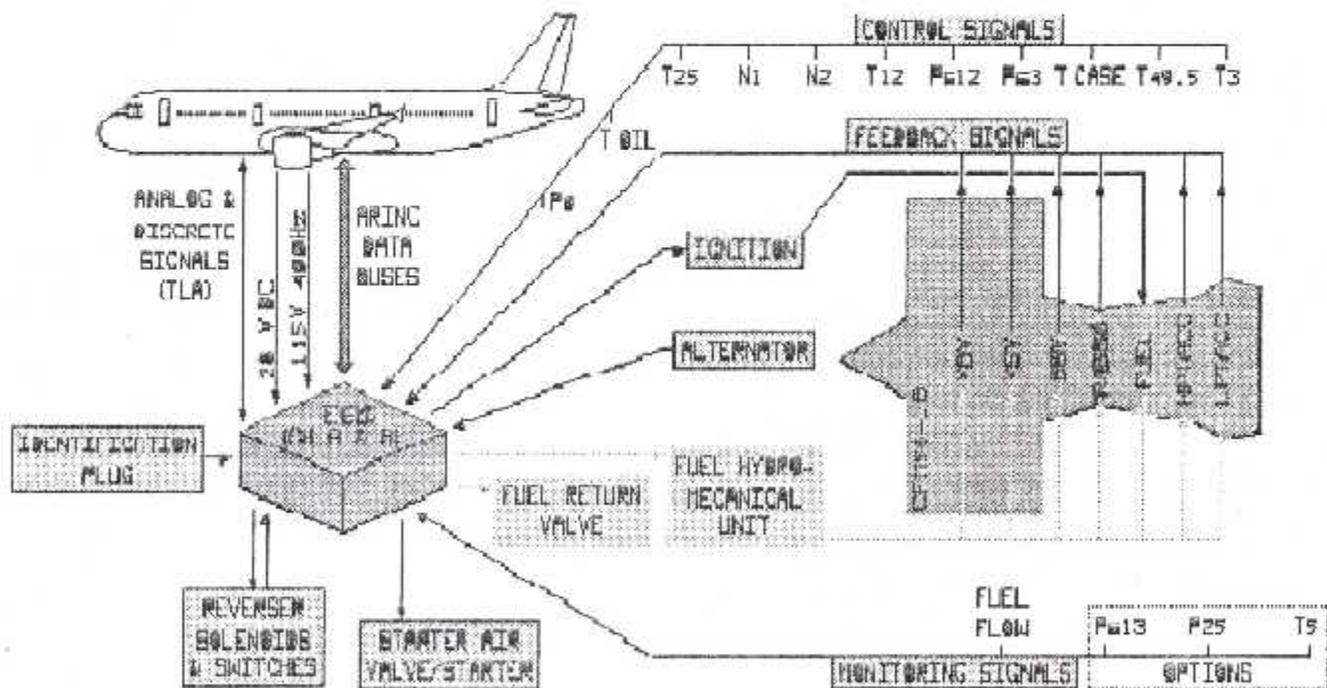
- 2. • Une unité hydromécanique appelée HMU qui transforme les signaux électriques de la EEC à des signaux de commande hydromécanique.

II.2 FONCTION DU SYSTEME FADEC :

Le FADEC exécute les opérations de services suivants :

II.2.1 CONTROLE REACTEUR :

- Contrôle du débit carburant
- Régulation des accélérations et décélérations
- Régulation des variable bleed valves (VBV) et des variable stator Vanes (VSV),
- Contrôle des jeux turbine Commande de HPTC
- Commande de LPTC
- Commande de TBV
- Entretien de moteur et surveillance de condition.
- Détection, isolement et enregistrement des pannes
- Refroidissement eec.
- Choix de canal fonctionnant,
- Calcul d'estimation de moteur.
- Traitement des signaux d'entrée
- Construire – dans essai et analyse de panne.
- Fonction d'essai au sol.



Figure(II-1) : LE CONTROLES DES DEFERENTS COMMANDES REACTEUR.

**II.2.2 PROTECTIONS :**

- survitesse N1 et N2,
- surveillance de l'EGT pendant la mise en route.

**II.2.3 GESTION DE LA POUSSEE :**

- contrôle automatique de la poussée ,
- calcul des limites des paramètres de poussée,
- gestion manuelle de la poussée en fonction de position des manettes de commande d'angle de poussée (TLA, throttle level angle),
- gestion automatique de la poussée,
- gestion de bus de données de rendement

**II.2.4 SEQUENCE AUTOMATIQUE DE DEMARRAGE :**

commande :

- de la vanne de démarrage ,
- du robinet HP carburant (HPSOV ),
- du débit carburant,
- de l'allumage (ON/OFF),
- surveillance du N1, N2, et de l'EGT.

**II.2.5 SEQUENCE MANUELLE DE DEMARRAGE :**

- Surveillance passive du réacteur
- commande :
- Se soupape à air de démarreur
  - De la vanne de démarrage,
  - Du robinet HPSOV carburant,
  - De l'allumage

**II.2.6 COMMANDE DE L'INVERSION DE POUSSEE :**

- manœuvre des volets deviateurs de poussée.
- Réglage de la poussée en inversion.

**II.2.7 COMMANDE DE LA RECIRCULATION CARBURANT :**

- Recirculation carburant vers les réservoirs en fonction de la température de l'huile réacteur , de la configuration du système carburant et de la phase de vol.
- Commande de valve de répartition des injecteurs (BMV)
- Commande de valve de retour de carburant
- Calcul manuel et automatique de commande d'établissement du Programme de La boucle fermée, et de gamme de début, écoulement de Carburant de décélération et d'accélération.

II.2.8 TRANSMISSION ET SURVEILLANCE DES PARAMETRES POUR LES INDICATIONS AU POST PILOTAGE :

- des principaux paramètres réacteur.
- De l'état de système de démarrage
- De l'état du système d'inversion de poussée.
- De l'état du FADEC.

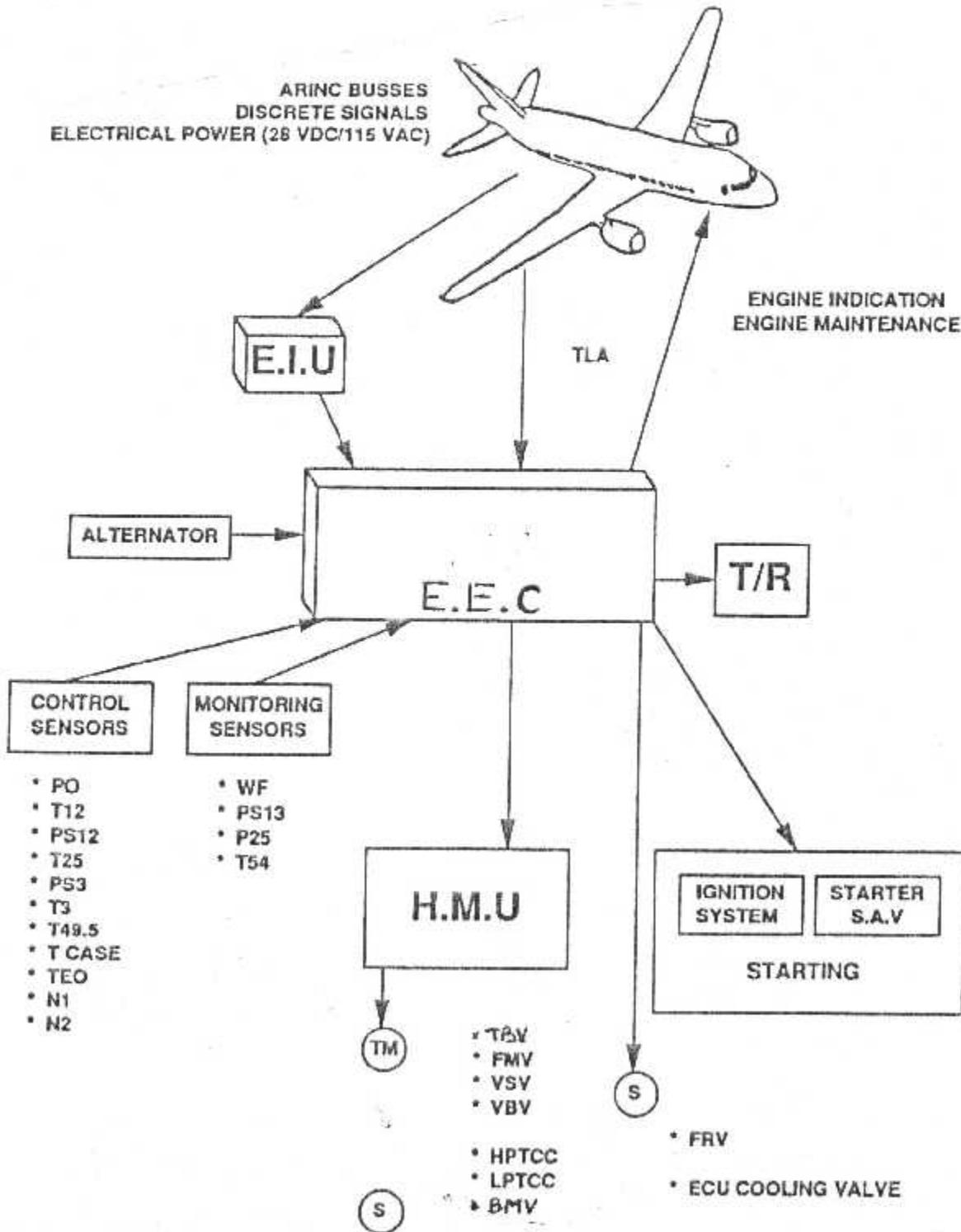


Figure (II-2): Présentation d'... E.C.

### II-3 AVANTAGE DU SYSTEME FADEC :

La régulation numérique assure les fonctions suivantes :

- Plus de souplesse dans la mise au point des lois de régulation.
- Une absence d'hystérésis dans les signaux reçus par le FADEC et traduisant les ordres de déplacement de manettes de gaz (les ordres sont convertis en signaux électriques envoyés directement aux régulateurs numériques fixés sur les carters des moteurs. Ceci permet de réaliser de substantielles économies de carburant.
- Inutilité des longs et coûteux réglages en cas de remplacement d'un régulateur.
- Une meilleure compensation et correction automatique pour adapter la régulation et la diminution du rendement des moteurs avec l'âge.
- Une meilleure surveillance des moteurs : les calculateurs numériques transmettent sous forme numérique habituellement mots de 32 bits transmis en série sur les liaisons bifilaires torsadées et blindées, (ce type de transmission étant régi par la norme ARINC429) un grand nombre de paramètres moteurs .

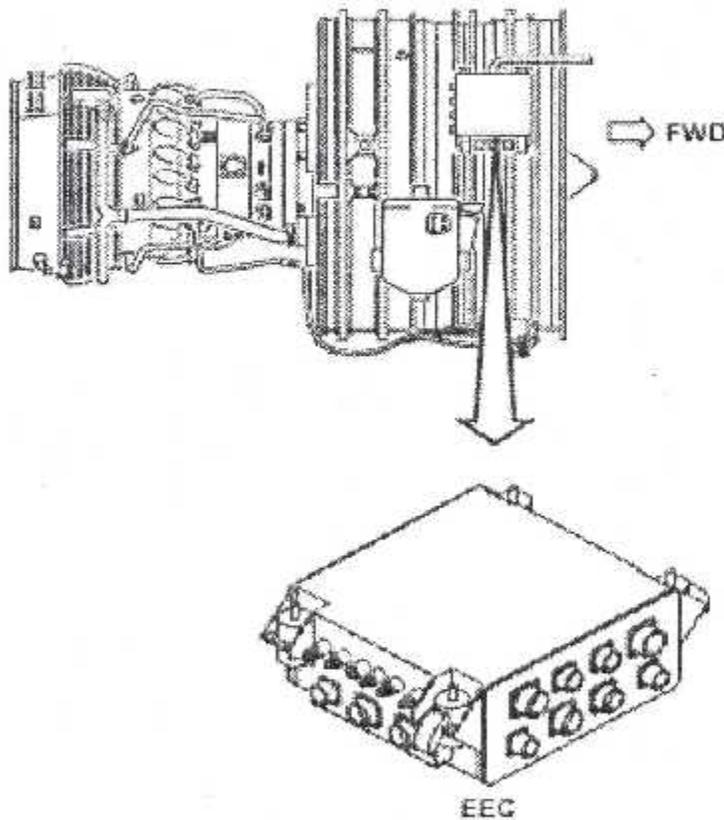
De nombreuses compagnies aériennes enregistrent en continu ces paramètres sur des enregistreurs de bord et elles dépouillent ensuite les données enregistrées au moyen de leurs ordinateurs de maintenance.

Chez d'autres compagnies, ces paramètres sont même transmis en temps réel par liaison de transmission de données numériques entre l'avion en vol et le sol et inversement (ACARS), ce qui permet de faire aussitôt le traitement.

- Un abaissement de la consommation spécifique grâce à des lois permettant d'utiliser le moteur dans des zones de fonctionnement thermodynamique correspondant au meilleur rendement de ses constituants (compresseur et turbine), c'est à dire plus près de la zone de pompage.
- Une augmentation de la durée de vie du moteur par un contrôle plus rigoureux et un abaissement des températures de pointes, notamment lors des démarrages.
- Une meilleure détection des pannes des divers organes de l'installation motrice, et transmission automatique des informations de pannes aux systèmes d'alarmes et de maintenance centralisée de l'AVION. Cependant, l'emploi des capteurs précis et sûrs est nécessaire pour obtenir tous ces avantages.

## II-4 UNITE DE CONTROL ELECTRONIQUE EEC :

Le EEC est localise à la position 4 h 00, il consiste en deux canaux identiques A et B où chacun contrôle les différents composants du système moteur. on a opté à cette conception de deux canaux qu'on appelle système redondant ou en attente ou en stand by afin d'augmenter la fiabilité de l'équipement à l'occurrence d'un défaut. Les canaux A et B sont opérationnels de manière permanente. Pour augmenter la conception de tolérance de fautes, les paramètres sont échangés entre le contrôle des canaux (à l'intérieur de la EEC ) par l'intermédiaire de liaison des données de transmission à travers le canal. Dans l'indication, quelques signaux sont câblés directement de l'avion à le EEC . Si l'un des canaux est défectueux et le canal dans le contrôle ne peut pas contrôler la position des VBV, les valves seront mise en position d'ouverture fiable.



Figure(III-3) :L'UNITE DE CONTROLE ELECTRONIQUE

### II.4.1 LE REFROIDISSEMENT DE EEC :

Dans le fonctionnement normal, les cartes du EEC libèrent l'énergie thermique. Pour fonctionner correctement, le EEC exige du refroidissement pour maintenir la température interne dans des limites acceptables.

Le EEC peut être refroidi de deux manières différentes :

- refroidissement d'air dynamique
- Le refroidissement aidé.

Dans les deux modes différents, l'air ambiant est pris par une prise d'air dynamique situé du côté droit de capot d'admission de fan. Cet air est utilisée pour refroidir sa chambre interne autour des compartiments du canal A et du canal B du EEC. Alors l'air revient à l'extérieur par une sortie d'air également localisée sur le capot d'admission de fan.

Avec l'arrêt de moteur, il est possible d'employer le EEC pour obtenir l'information de maintenance avec ou sans le MCDU. Ces opérations de maintenance sans refroidissement de le EEC seront limitées on fonction de :

- période de l'opération,
- La température ambiante.

#### ➤ REFROIDISSEMENT NORMAL :

L'air de refroidissement du prise d'air dynamique écrit le EEC, coule à travers les ailettes de refroidissement et revient au port de décharge par la sortie d'air.

Le refroidissant normal de le EEC est habituellement suffisant pendant la plupart des opérations de vol, excepté que l'air a basse vitesse ait combiné avec la température ambiante élevée, comme :

- Jour chaud sur la terre.
- Roulant au sol.
- Décollage ou atterrissage.

#### ➤ REFROIDISSEMENT AIDE :

A l'intérieur du EEC est installé un dispositif de mesure de la température pour mesurer la température interne d'unité. Quand la température interne du EEC atteint 60°C, le EEC envoie un signal électrique à une valve. Cette valve appelée la valve de refroidissement du EEC qui s'ouvre à laisser l'air du démarreur pour canaliser à un éducateur. Cet éducateur est installé sur le conduit de sortie, il emploie l'air pressurisé pour pomper l'air ambiant a travers le EEC par la prise d'air dynamique.

Ensuite l'air coule à travers les ailettes de refroidissement, il revient au port de décharge par la sortie d'air.

Note: la valve de refroidissement du EEC ne peut pas être ouverte si la soupape à air de démarreur (SAV) est ouverte.

Quand la température interne du EEC diminue à 55° C, le EEC commande la fermeture de la valve. Si la température interne du EEC atteint 70° C, un message

d'avertissement est montré dans le cockpit. Si la température interne du EEC atteint 105°C, un message d'avertissement est montré dans le cockpit (défaut de classe 2) et est stocké dans la mémoire non volatile (NVM). À cette étape, le EEC doit être remplacé avant le prochain départ.

### II-5 Alimentation Electrique de la EEC :

La EEC est alimentée en 28 volts continue à partir du réseau avion quand le moteur ne tourne pas ou que sa vitesse est encore faible ,au démarrage (N2 inférieur à 12 %) Et par son alternateur triphasé qui lui est propre dès que le moteur tourne a plus de 15%de N2 nominal .5 minute après l'arrêt du moteur ,l'alimentation avion est automatiquement coupée pour éviter des heures inutiles de fonctionnement de la EEC .cette dernière reçoit aussi une alimentation en 115 volts alternatifs pour les circuits d'allumage .

### II-6 CONTROLE DU SYSTEME D'ALLUMAGE :

Le EEC contrôle l'alimentation du courant alternatif de l'avion ,pour actionner les circuits d'allumage gauche et droit sur le moteur.

### II-7 INTERFACES PRINCIPALES :

Le EEC reçoit des entrées de :

- L'unité d'interface de commande de train (LGCIU)
- Unité de référence à inertie de données aériennes (ADIRU)
- Régulation de carburant (FCU)
- Système centralisé enregistreur de donnée de fonctionnement des Equipements et de détection des pannes (CFDIU)
- Les calculateurs (ordinateur ) de climatisation du poste de pilotage et de La cabine des passagers.
- Le feu et le système d'anti-givre .

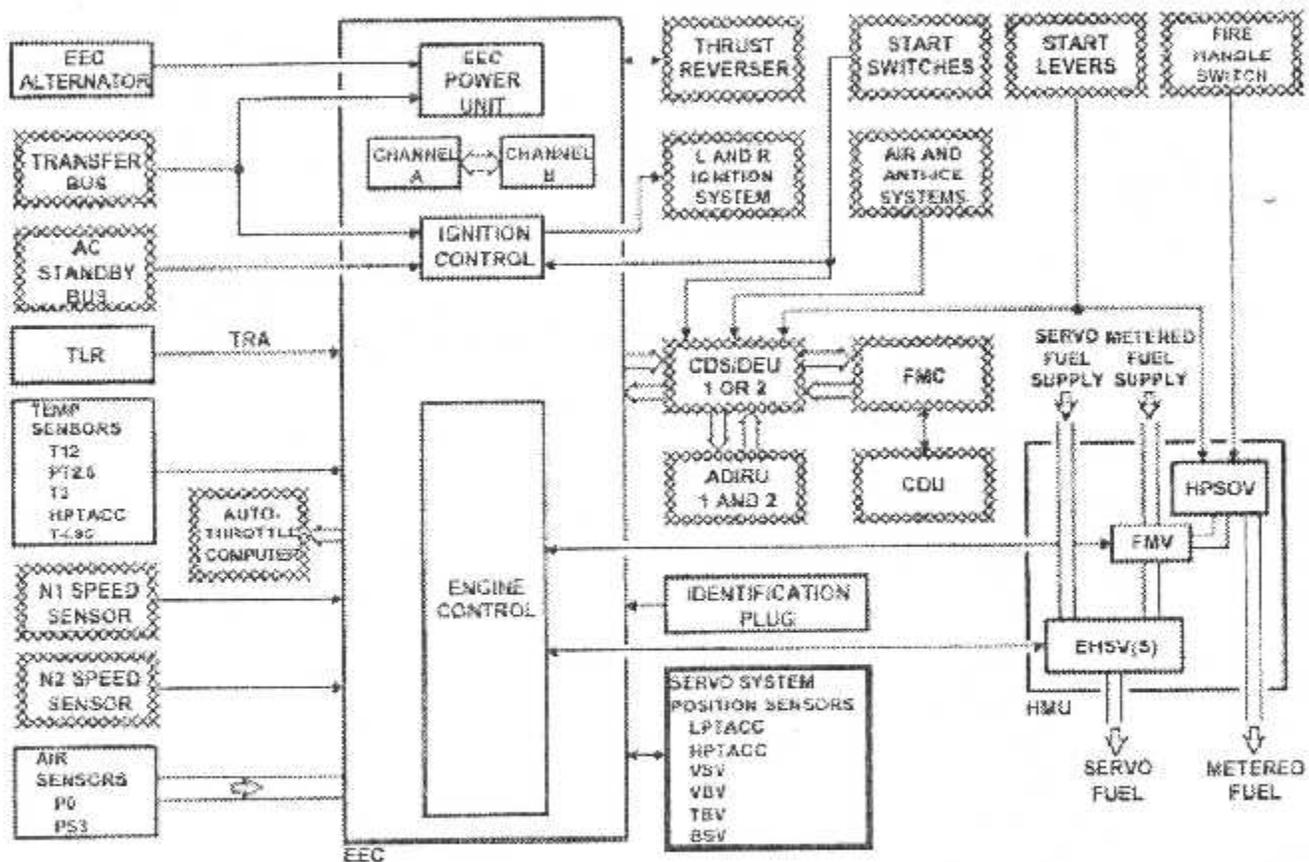
Le EEC envoie des sorties à :

- Les calculateurs de surveillance de prise d'air (BMC)
- Les calculateurs centraux d'alarme (FWC)
- Les calculateurs de gestion d'affichage (DMC)
- Les calculateurs de guidage et de gestion de vol (FMGC)
- Système centralisé enregistreur de données de fonctionnement des Equipements et de détection des pannes (CFDIU).

Le FADEC détecte aussi ses propres pannes et celles de tous les organes de commande et des capteurs, et transmission en temps réel des signaux de panne correspondant aux systèmes d'alarme et de maintenance de l'avion.

On distingue une unité d'interface de moteur (EIU) pour chaque moteur, elle se connecte par l'interface de la EEC correspondant. Cette dernière est en relation avec plusieurs système d'avion a travers la EIU.

Les premiers paramètres (N1, N2, EGT, Débit Carburant) sont envoyés directement par la EEC vers L'ECAM. Les paramètres secondaires sont envoyés vers L'ECAM à travers la EIU.



Figure(II .3) : INTERFACES PINCIPALES DU EEC

## II.8 PERTE DE CANAL D'UN FADEC

En cas de perte d'un canal (A ou B), l'équipage est juste averti par un message ECAM : EGN1(2) FADEC A(B) FAULT et la régulation réacteur est complètement assuré par l'autre canal, sans perte de performances car tous les capteurs et tout les commandes indispensables au fonctionnement correct du moteur sont doublées :

- pression
- températures
- vitesses
- commandes
- positions.

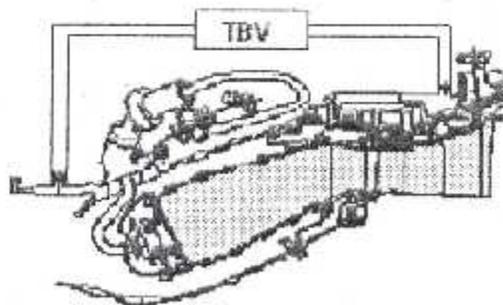
En cas de perte du deuxième canal, alarme sonore et visuelle équipage avec message ECAM et l'arrêt moteur sera engagée.

## II.9 QUELQUES DEFINITIONS DES ACRONYMES :

### II.9.1 TBV -LA VALVE DE DECHARGE ET DE TRANSTITION :

La valve TBV est commandée par le FADEC à travers le HMU. Il prélève de l'air du 09<sup>ème</sup> étage du compresseur HP et l'injecte dans le premier étage du turbine BP. Son rôle est de faciliter le démarrage et l'accélération :

- Démarrage ..... ouverte.
- Ralenti ..... fermé.
- Accélération (76%-80%) N2 ..... ouverte.
- Supérieure à 80% de N2 ..... fermé.



Figure(II-4) : LA VANNE DE DECHARGE ET DE TRANSITION

### II.9.2 HPTACC-CONTROLE ACTIF DU JEU TURBINE HAUTE PRESSION:

Le système HPTAAC est commandé par le FADEC à travers le HMU .il régle le jeu de la turbine HP en modulant le débit d'air prélevé du compresseur HP pour le refroidissement du carter de turbine HP ; Il assure l'optimisation de la performance de la turbine HP et réduit l'EGT.

### II.9.3 LPTACC -CONTROLE ACTIF DU JEU TURBINE BASSE PRESSION :

Le système LPTACC est commandé par le FADEC à travers le HMU .il régle le jeu de la turbine BP en modulant le débit d'air prélevé du fan pour le refroidissement du carter de turbine BP.

### II.9.4 HMU -UNITE HYDRAUMECANIQUE:

Le HMU est commandé par le FADEC et assure.

- La régulation du débit carburant vers la chambre de combustion ;
- La régulation de la pression d'asservissement vers les vérins.
- La protection survitesse.

### II.9.5 VSV -STATOR A CALAGE VARIABLE :

Le système VSV positionne les aubes à calage variable du compresseur. le FADEC assure une efficacité optimum du compresseur à un régime constant et une marge de pompage pour un changement de régime du réacteur .pendant le démarrage les VSV sont complètement fermées ;elle sont complètement ouvertes aux fortes poussées.

### II.9.6 VBV -VANNES DE DECHARGE :

Les VBV sont situées en amont du compresseur HP et commandées par le FADEC en fonction de la température d'entrée compresseur et du N2. Le positionnement des VBV va de l'ouverture complète (démarrage ,bas régime et pendant une décélération rapide ) à la fermeture complète aux régimes élevés.

### II.9.7 BMV -VANNE DES REPARTITION INJECTEURS :

La vanne de répartition des injecteurs est commandée par le FADEC , ce dernier sélectionne l'alimentation en carburant des 20 injecteurs doublés .

### II.9.8 FRV -LA VALVE DE RETOUR CARBURANT :

Le débit carburant à la sortie du HMU est partiellement utilisé pour refroidir le circuit d'huile IDG ;il est ensuite envoyé vers l'ensemble pompe carburant ou vers le réservoir d'aile .la vanne de retour carburant (FRV)qui commandée par le FADEC assure cette fonction .

## CHAPITRE III

## LE CIRCUIT CARBURANT DU MOTEUR CFM56-7B DAC

## III.1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre On va étudier le circuit de carburant du moteur CFM56-7B a double chambre de combustion (DAC), touchant ainsi les éléments suivants :

- Les réservoirs et leurs pompes
- Le but et le fonctionnement du circuit de carburant
- La description complète de chaque élément
- Et finalement, le mode opératoire de ce circuit

Et puisque le fonctionnement du circuit de carburant (DAC) est comparable a celui du (SAC) sauf que dans le HMU, la BSV et les différents modes d'injection de carburant, cette dernière partie va montrer la différence entre ces deux types de circuits de carburant (SAC et DAC) .

## III.2 DEFINITION :

Le circuit de carburant est l'ensemble des conduites et dispositifs responsables au transport du carburant des réservoirs vers l'unité hydromécanique HMU ou se divise en deux parties, et arrivant ensuite aux injecteurs il comprend les dispositifs de :

- conservation et orientation du carburant (tuyauteries, valves...etc.)
- pressurisation et circulation (pompes)
- nettoyage (filtres)
- échange thermique (l'échangeur de chaleur, le réchauffeur...etc.)
- distribution (HMU, BMV...etc.)

Ce circuit de carburant a pour rôle d'assurer une alimentation suffisante en carburant pour :

- La combustion qui est nécessaire au produit de la force de poussée qu'avec l'engin peut se déplacer.
- Les commandes du système servo de moteur nécessaires au bon fonctionnement tel que les vsv, vbv, hptacc, lptacc, bmv...etc.

## III.3 LES RESERVOIRS ET LEURS POMPES :

On a trois réservoirs, deux sont disposés sur les ailes (Réservoir principal), et un autre sur le fuselage (Réservoir central) qui a une capacité trois fois plus que les deux réservoirs principaux. La majorité de ce dernier est disposée dans le fuselage plus deux autres parties sur les ailes, ces trois réservoirs sont d'une capacité comme suit :

- Réservoir principal N° 1.... 3867 Kg ( 8,5 tonnes )
- Réservoir principal N° 2.... 3867 Kg ( 8,5 tonnes )
- Réservoir central. .... 12802 ( 302 tonnes )

On distingue des jauges de remplissage disposées dans le fuselage de l'aile droite (vue de l'arrière), la circulation du carburant au niveau du réservoir est assurée par des pompes d'aspiration disposées à l'intérieur d'une façon à être émergées dans le carburant.

Il existe donc quatre (04) pompes situées dans le réservoir central (deux en arrière et deux en avant) plus deux autres dans les réservoirs principaux :

- Les deux pompes en arrière aspirent du réservoir central.
- Deux pompes aspirent de l'aile gauche.
- Deux pompes aspirent de l'aile droite.

En cas de panne des pompes principales (gauche ou droite) ainsi que celles du central ou même si le réservoir central devient vide, il y aura ouverture d'une valve (pompe de gavage) pour céder le passage du carburant.

La consommation importante de carburant s'effectue dans le réservoir central, c'est pourquoi on met dans ce dernier les pompes assez puissantes. Pour cette raison le carburant contenu dans le réservoir central sera consommé en premier lieu.

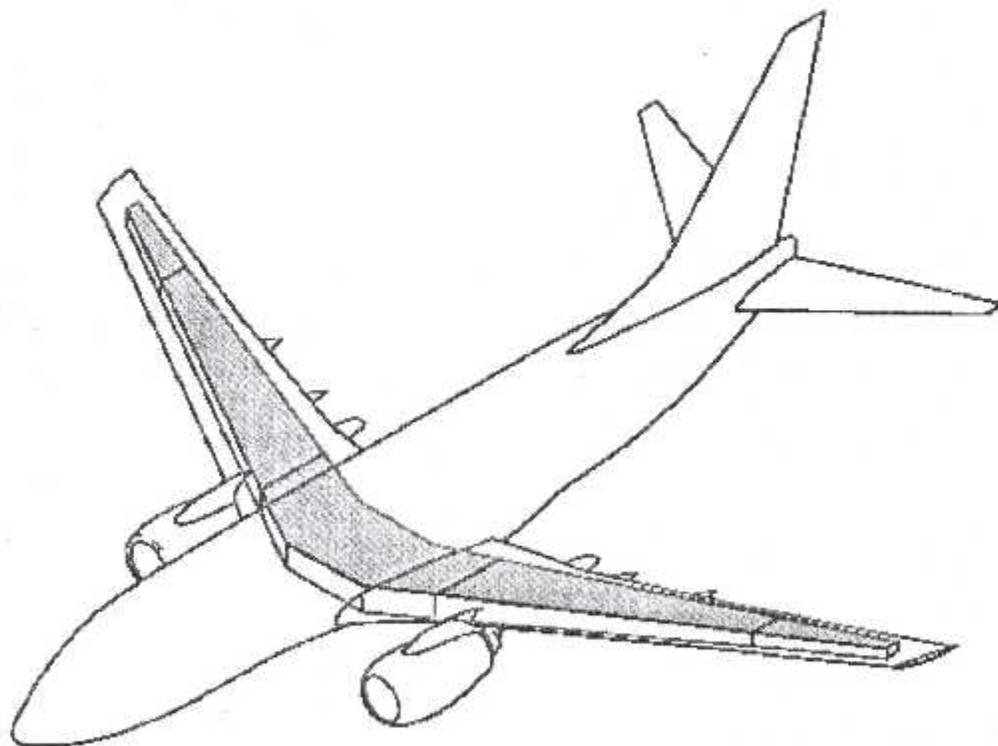


Figure (III.1) : LES RESERVOIRES DU BOEING 737-800

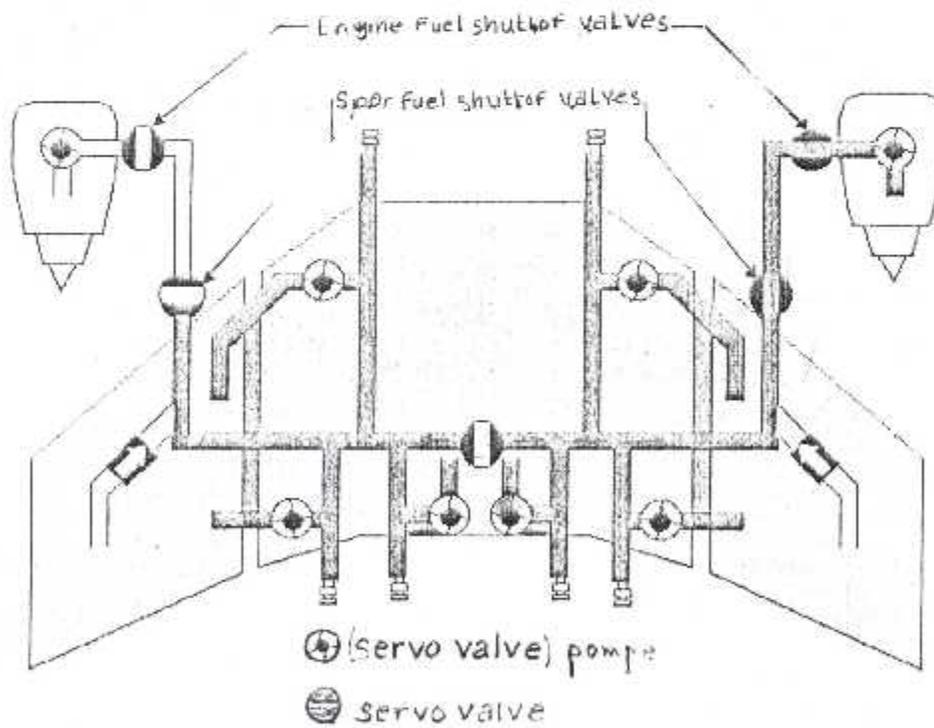
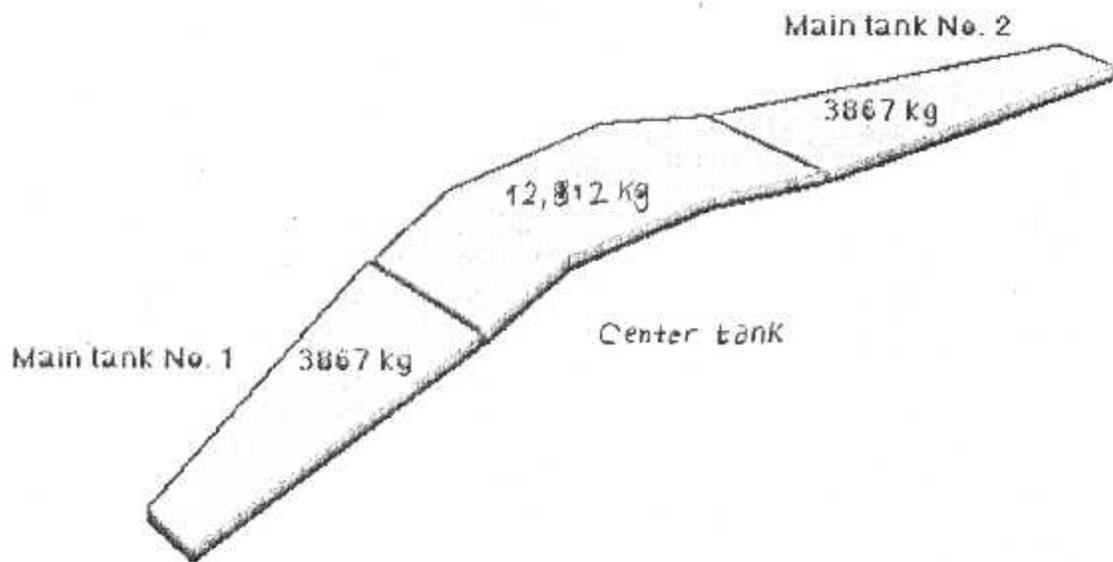


Figure (III-2) : LES POMPES DES RESERVOIRES

### III.4 LE CIRCUIT DE CARBURANT :

#### III.4.1 BUT DU CIRCUIT :

Le circuit carburant assure :

- 1 • L'alimentation des circuits hydrauliques de commande des dispositifs anti-pompage ,vanne de décharge et stator à calage variable.
- 2 • L'alimentation des injecteurs de la chambre de combustion.
- 3 • L'alimentation des circuits hydrauliques d'asservissement et de contrôle du régulateur principal de carburant (HMU).
- 4 • Le refroidissement de l'huile de graissage réacteur.
- 5 • Le refroidissement de l'huile de graissage alternateur (IDG).
- 6 • L'alimentation des circuits hydrauliques de commandes des vannes de refroidissement des carters turbine haute pression.

#### III.4.2 FONCTIONNEMENT DU CIRCUIT :

Le carburant venant des réservoirs de voilure passe par une pompe centrifuge (partie BP de la pompe), l'échangeur huile carburant, une pompe volumétrique (partie HP de la pompe), des filtres .Le carburant est divisée en deux parties :

- Une part (de loin la plus grande) traverse le HMU, passe par le doseur asservi FMV (valve de régulation carburant) puis va au débitmètre et enfin aux injecteurs.
- L'autre va d'abord au réchauffeur carburant des asservissements puis au HMU pour élaborer les pressions d'asservissement nécessaires a tous les vérins et actionneurs(VSV, VBV, vannes de contrôle actif des jeux turbine) ainsi que la BMV.

En effet, tous ces organes utilisent le carburant comme agent hydraulique. Et le HMU possède pour chacun d'eux un système de régulation asservit.

Le carburant qui n'a pas est envoyé aux injecteurs et celui qui revient des asservissements va au refroidisseur d'huile IDG (générateur intégré d'enterrement). L'IDG est l'alternateur à vitesse constante qui fournit la puissance électrique au réseau avion.

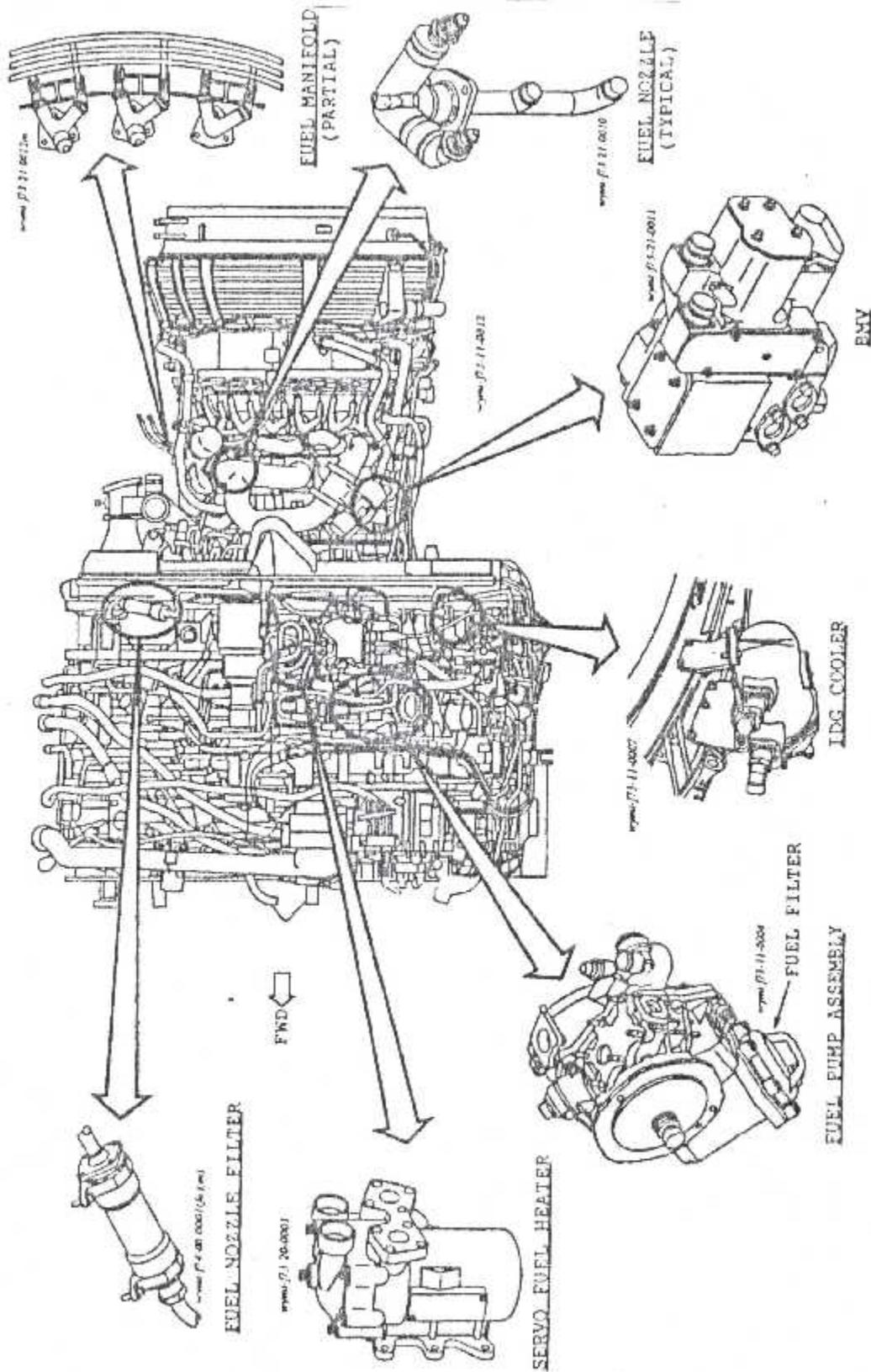
Puis ce carburant est retourné à la pompe BP ou, si la vanne de retour carburant FRV (fuel retourne valve) est ouverte, vers les réservoirs avion : En effet, la EEC commande l'ouverture de cette vanne si la température de l'huile est élevée, rendra à la pompe carburant un débit supérieur, et on renverra vers les réservoirs voilure par une conduite séparée le carburant en excès ayant servi à refroidir l'IDG et les asservissements.

La valve de retour carburant est située au côté gauche du carter du fan près du réservoir d'huile.

### III.5 DESCRIPTION DE CHAQUE COMPOSANT :

Le circuit de carburant comprend :

- L'ensemble de la pompe carburant.
- Le radiateur d'huile d'IDG.
- L'échangeur principal huile/carburant.
- Le réchauffeur de carburant
  
- L'unité hydromécanique (HMU).
- débit mètre .
- Le filtre des injecteurs.
- La BMV la valve de répartition des injecteurs (DMV+ MSV).
- Les rampes injecteurs.
- Les injecteurs.



Figure(III-4): Les Composants Du Circuit Carburant Du CFM56-7B DAC

### III.5.1 L'ENSEMBLE DE LA POMPE CARBURANT :

L'ensemble de la pompe à carburant se compose de deux pompes séparées une pompe basse pression et une autre haute pression et deux filtres.

Les deux pompes se situent à l'intérieur du même ensemble, il est donc un seul bloc attaché à la face arrière de la boîte d'entraînement d'accessoires (AGB) sur le côté gauche du fan frame ; l'ensemble a pour rôle de nettoyer et pressuriser le carburant, qui est actionné par un arbre d'entraînement lié à la boîte d'accessoires (AGB).

La pompe basse pression aspire le carburant des réservoirs et passe ensuite au refroidisseur d'huile d'IDG ; par contre, la pompe haute pression aspire le carburant venant de l'échangeur de chaleur principale et lui refoule au filtre de lavage qui fait partie de l'ensemble de la pompe à carburant.

Les deux filtres ont le même rôle mais différents emplacements puisque le premier filtre se situe à l'entrée de la pompe haute pression il nettoie le carburant venant de l'échangeur d'huile principale, le deuxième filtre qui est le filtre de lavage.

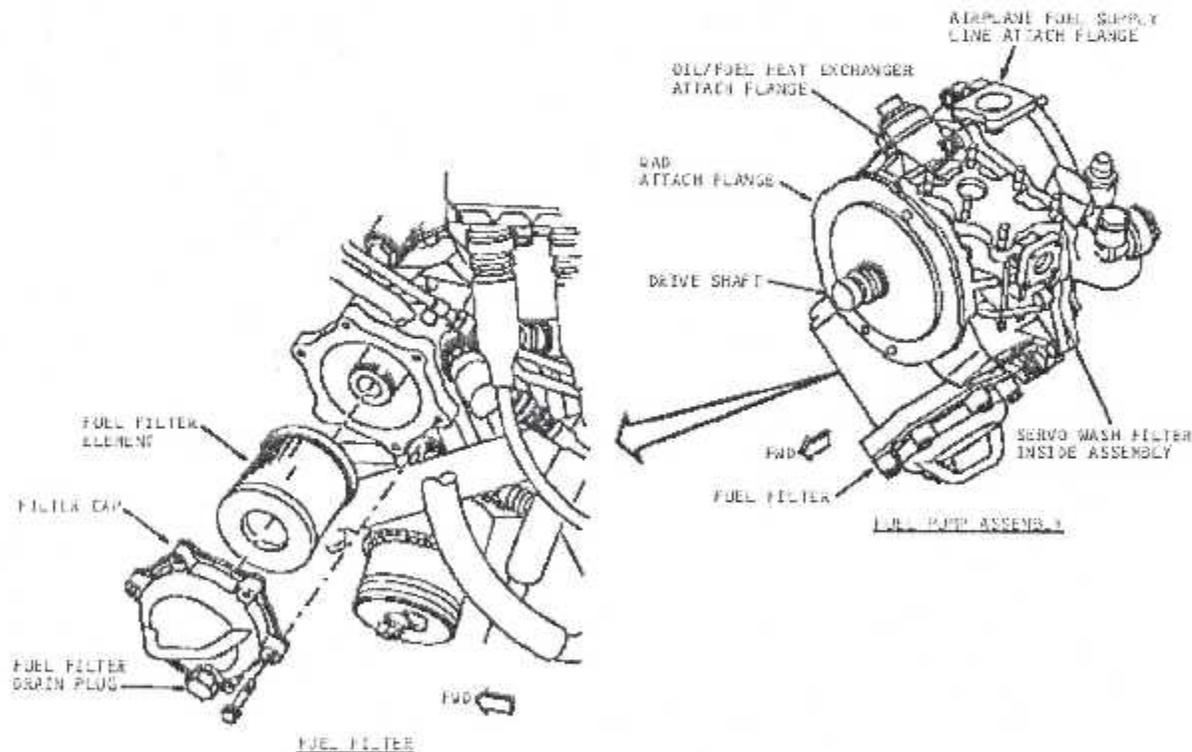


Figure (III-4) : L'ENSEMBLE DE LA POMPE

#### • CARACTERISTIQUES DES POMPES :

Les deux pompes haute et basse pression au plein régime (6250tr/min.) prennent les caractéristiques suivantes :

- Pression haute : .....  $60.10^{**5}$  Pa.
- Pression basse : .....  $12.10^{**5}$  Pa.

- Débit : ..... 13000 l/heure.

Des clapets de dérivation (by-pass) permettent d'éviter les suppressions si les filtres sont colmatés.

Un filtre de carburant fait partie de l'ensemble (BP, HP et filtres) de la pompe, un clapet de dérivation (by-pass) est branché en parallèle avec le filtre, il s'ouvre dans le cas où ce dernier est complètement ou partiellement colmaté.

Le deuxième filtre appartenant au bloc de la pompe à carburant est le filtre de lavage (wash filter) qui sert à nettoyer le carburant qui va à la section servo pression de l'unité hydromécanique (HMU), il contient comme le précédent un clapet de dérivation qui s'ouvre quand le filtre de lavage est colmaté.

La contamination du carburant est la cause de colmatage des filtres, elle est provoquée par une addition des éléments extérieurs au circuit comme la poussière ou intérieurs comme les particules de corrosion et les usures des pompes.

### III.5.2 LE RADIATEUR D'HUILE D'IDG :

Son but principal est de refroidir l'huile de lubrification du générateur intégré d'entraînement (IDG), il utilise le processus de la convection pour transférer la chaleur à partir de l'huile chaude au carburant, il est d'une construction tubulaire ou s'existent deux canalisations liées mécaniquement : une pour l'huile et l'autre pour le carburant.

Le radiateur d'huile d'IDG est placé en série avec un refroidisseur air/huile qui est un élément du système de refroidissement d'IDG.

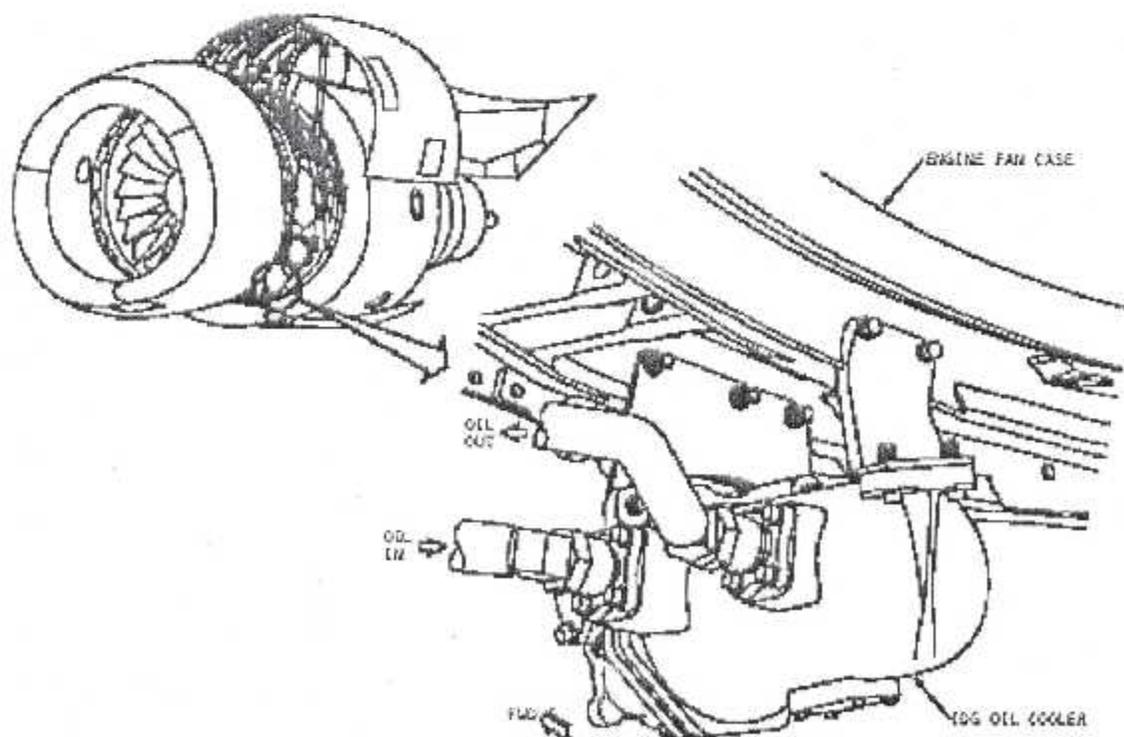


Figure 3.17 LE RADIATEUR D'HUILE IDG

III.5.3 L'ÉCHANGEUR DE CHALEUR PRINCIPALE :

L'échangeur de carburant utilise le carburant par le processus de convection (transfert de chaleur) pour diminuer la température d'huile et le refroidit. L'échangeur de chaleur est monté au-dessus de la pompe carburant positionnée à 8h. le carburant provient de la partie basse pression du bloc pompe à carburant, alors que l'huile provient du filtre retour du circuit du circuit aspiration, donc l'échangeur effectue, l'huile revient vers le réservoir de stockage, pour protéger l'échangeur d'éventuel colmatage une soupape de protection interne s'ouvre pour by-passer. (voir Figure III.6)

III.5.4 LE RECHAUFFEUR DE CARBURANT:

Le réchauffeur carburant est semblable au refroidisseur d'huile d'IDG et au l'échangeur principale dans la conception et même dans le fonctionnement, il utilise le processus de la convection pour transférer la chaleur à partir de l'huile de récupération de moteur vers le carburant.

La différence entre lui et l'échangeur principale est que le réchauffeur ne réchauffe que le carburant qui va au système servo dans le HMU, par contre, l'échangeur principal réchauffe toute la quantité destinée au HMU.

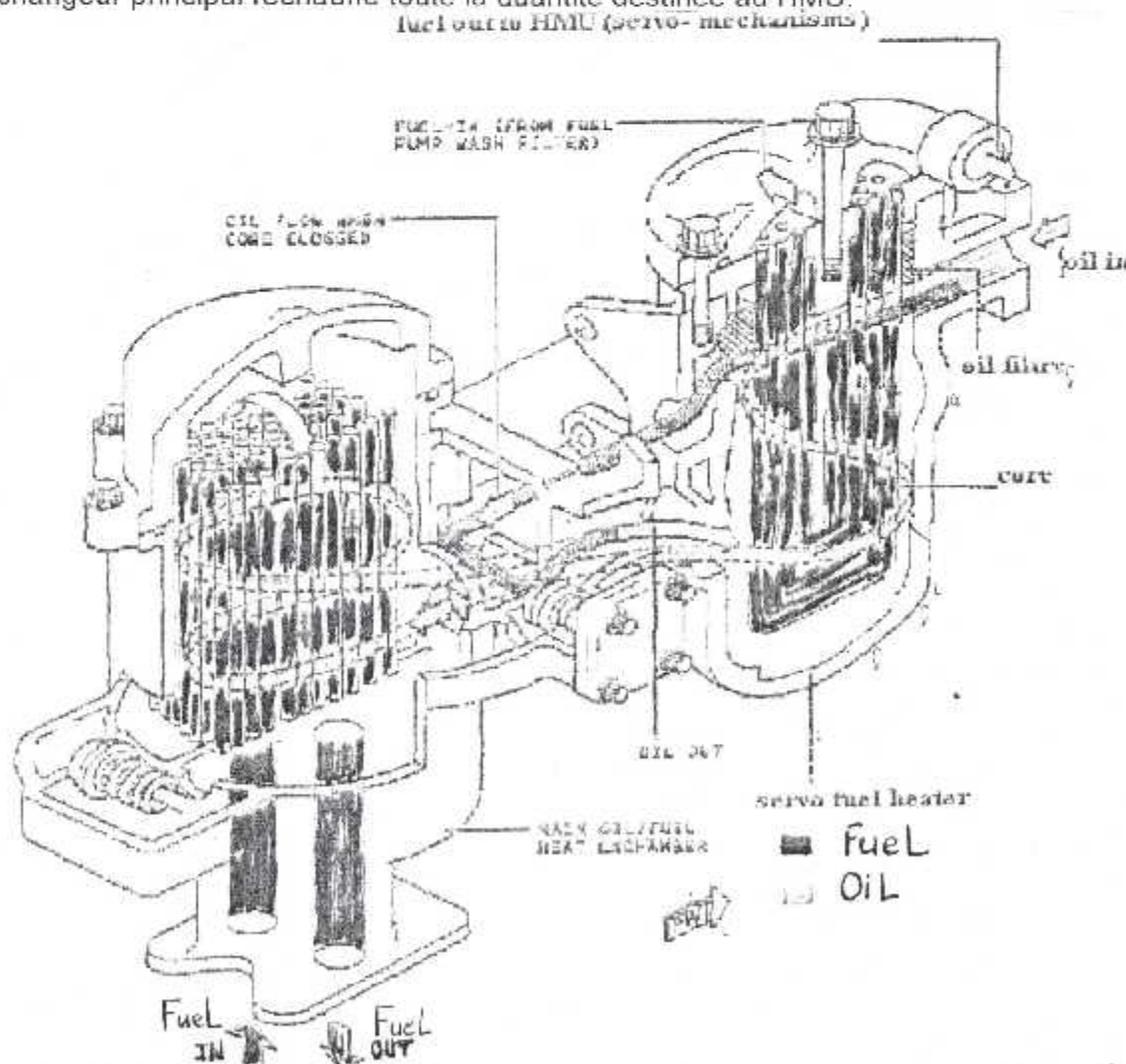


Figure (III-7) : L'ÉCOULEMENT DU CARBURANT ET L'HUILE À L'INTÉRIEUR DE L'ÉCHANGEUR PRINCIPAL.

LE RECHAUFFEUR DE CARBURANT.

### III.5.5 L'UNITE HYDROMECHANIQUE (HMU) :

L'unité hydromécanique HMU est un des éléments qui constituent le système FADEC. Il est positionné à 04 h sur le fan frame au côté arrière de bloc pompe de carburant. Il emploie des commandes électroniques de sortie de la EEC et les convertit grâce à des moteurs-couple ou des solénoïdes et des servo-vannes (EHSV) en ordres hydrauliques pour l'alimentation des injecteurs en carburant et pour tous les systèmes hydromécaniques.

Il reçoit également des commandes du levier de démarrage de l'avion et du commutateur (interrupteur) de poignée coupe feu afin de contrôler toutes les opérations d'écoulement de carburant.

Le HMU a des raccordements électriques et hydraulique (carburant), ceux-ci relient la HMU à la EEC, aux systèmes de commande, et aux systèmes de servo de moteur pour un bon fonctionnement du moteur.

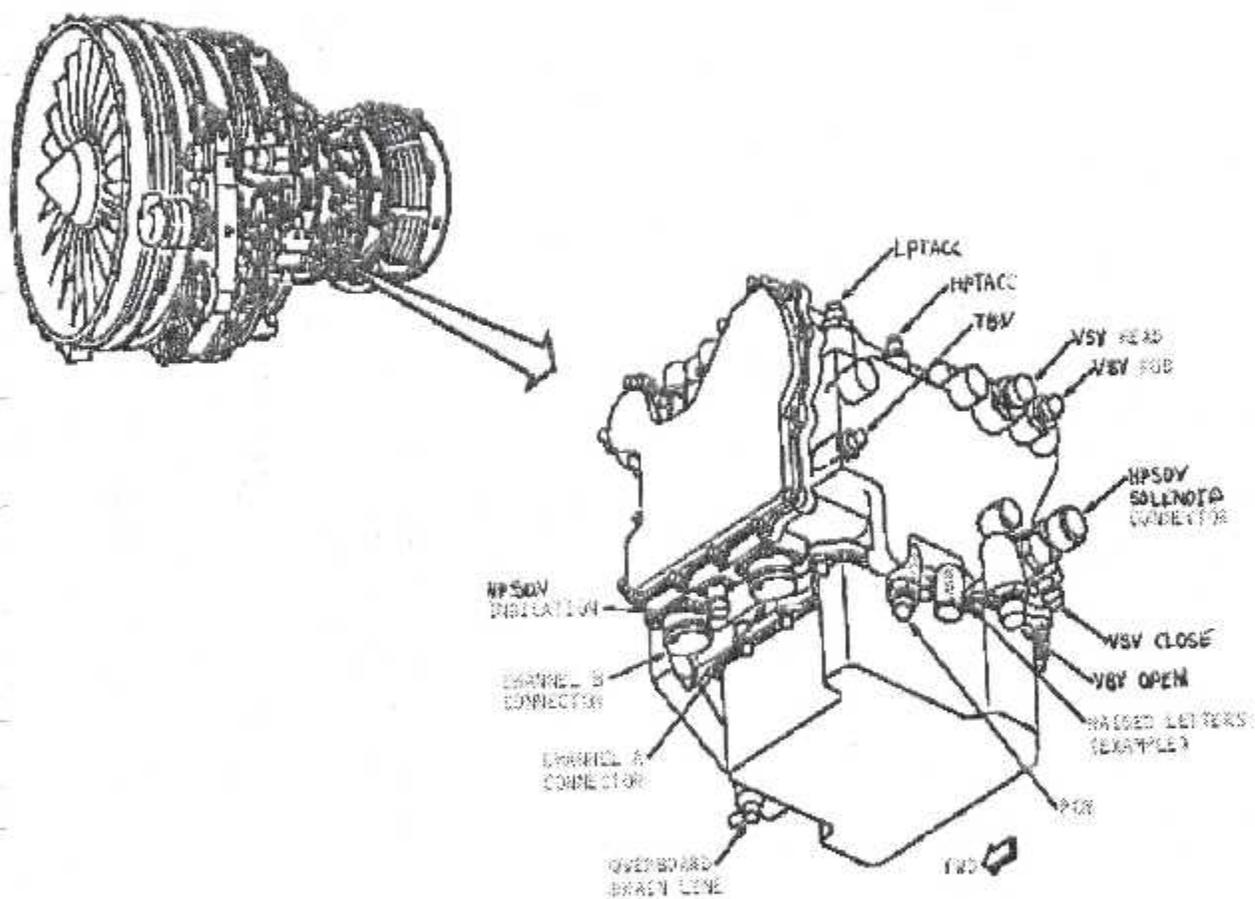
Le HMU est relié électriquement à ces composants :

- La prise électrique du canal « A » de la EEC
- La prise électrique du canal « B » de la EEC
- Le solénoïde du robinet d'arrêt haute pression (HPSOV)
- Indicateur de colmatage de valve (HPSOV)

Le HMU du moteur CFM 56 7B version DAC a sept (07) moteurs-couples et vannes électro-hydraulique (EHSV) qui régulent les signaux de commande hydrauliques en débit

et pression de carburant en fonction des ordres donnés de la EEC, à destination des moteurs et vérins des systèmes suivants :

- Vanne de dosage carburant (FMV) .
- La vanne de répartition injecteurs DMV .
- La vanne de décharge de transition (TBV) .
- La vanne de contrôle de jeu de turbine haute pression (HPTCC) .
- La vanne de contrôle de jeu de turbine basse pression (LPTCC) .
- Les vannes de décharge (VBV) .
- Les stators à calage variable (VSV) .



Figure(III-7) :L'UNITE HYDRAUMECANIQUE HMU

Le HMU est constitué des éléments principaux suivants :

#### 01-LES REGULATEURS DE PRESSION :

les régulateurs de pression ont pour rôle de fournir des pression servo à partir d'un carburant venant du partie d'asservissement pour actionner les différents vérins et les valves par l'intermédiaire des électro servo valves (EHSV).

##### a- LE REGULATEUR PRESSION D'APPROVISIONNEMENT (PSF) :

le régulateur pression d'asservissement fournit une pression servo PSF qui contient approximativement 15 PSI .

cette pression est distribuée à la :

- EHSV de VBV.
- EHSV de VSV.
- EHSV de DMV.
- La valve d'isolement et de pressurisation
- Au régulateur de pression PC
- Au solénoïde de la valve d'isolement d'air-frame .

##### b- LE REGULATEUR PRESSION D'ASSERVISSEMENT (PC) :

Il fournit une pression servo de réglage (PC) qui maintient approximativement 300 PSI au dessus de la pression régulateur de corps (PCB).

La pression PC est distribuée à :

- Le régulateur de pression PCR
- La FMV EHSV
- Le servo de la valve de vitesse
- La LPTCC EHSV
- La HPTCC EHSV
- La MSV solénoïde
- La TBV EHSV
- La DMV EHSV

##### c- LE REGULATEUR PRESSION DE REFERENCE PCR :

Ce régulateur est établi pour régler la pression PCR approximativement 150 PSI au dessus la pression de référence du régulateur de corps PCB.

La pression de référence PCR est distribuée à :

- La tige de la valve de HPTCC
- La tige de la valve de LPTCC
- la tige de la valve TBV
- Le solénoïde de MSV
- La tête de piston DMV

#### 02-LA CLAPET ANTI RETOURE DE PCB :

Le clapet anti-retour de PCB est une vanne qui contient un piston rappelé par un ressort qui maintient à une pression 10PSI au dessus de la pression PB.

### 03-LA SONDE ET LE CLAPET DE DECHARGE :

la sonde et le clapet de décharge fonction ensemble pour maintenir la pression différentielle du FMV P1-P2.

les deux système fonctionnent sur le flux de carburant entre l'entrée de carburant et la FMV. le clapet de décharge renvoi le carburant qui plus de besoins du moteur vers la pompe basse pression ,la pression PB est la pression de retour crie par la pompe.

### 04-LES ELECTRO-HYDRAULIQUE SERVO VALVES (EHSV) :

les electro-hydraulique servo valves sont installées a six (06) positions dans le HMU du moteur 56-7b version SAC et a sept (07) positions dans le HMU du version DAC.

Les EHSVs convertis les commande électrique du EEC aux signaux hydraulique ,un e EHSV commande la valve FMV pendant que cinq EHSVs commande les systèmes hydraulique extérieurs (six pour le DAC) .chaque EHSV a deux étages commandes par un moteur couple ces deux étages sont des amplificateurs fluidiques puisque ils augmentent la pression du carburant d'entrée et l'envoie vers les injecteurs de livraisons qui les suit directement.

L'injecteur de livraison prend leur position en fonction des commandes receptés par le moteur couple ,l'injecteur délivre un carburant servo dans deux tuyaux de réception qui le mène vers les deux extrémités de piston d'EHSV pour le déplacé. Le déplacements de piston sélection la sortie du pression de réglage voulu .

Quand le EHSV est à sa position neutre l'injecteur délivre deux pressions égales dans les deux tuyaux de réception ,donc le piston prend la position du milieu et résulte une pression de sortie moyenne pour les EHSVs a un seul sortie et deux pressions égaux de sortie pour les EHSVs a deux (02) sorties .

Les EHSVs ont deux sortie sont :

- EHSV du VSV.
- EHSV du VBV.
- EHSV du FMV.
- EHSV du DMV (pour la version DAC)

Les EHSVs ont un seul sortie sont :

- EHSV du LPTACC.
- EHSV du HPTACC.
- EHSV du TBV.

Les pressions de sortie envoyiez vers les vérins et les valves pour les actionnes .

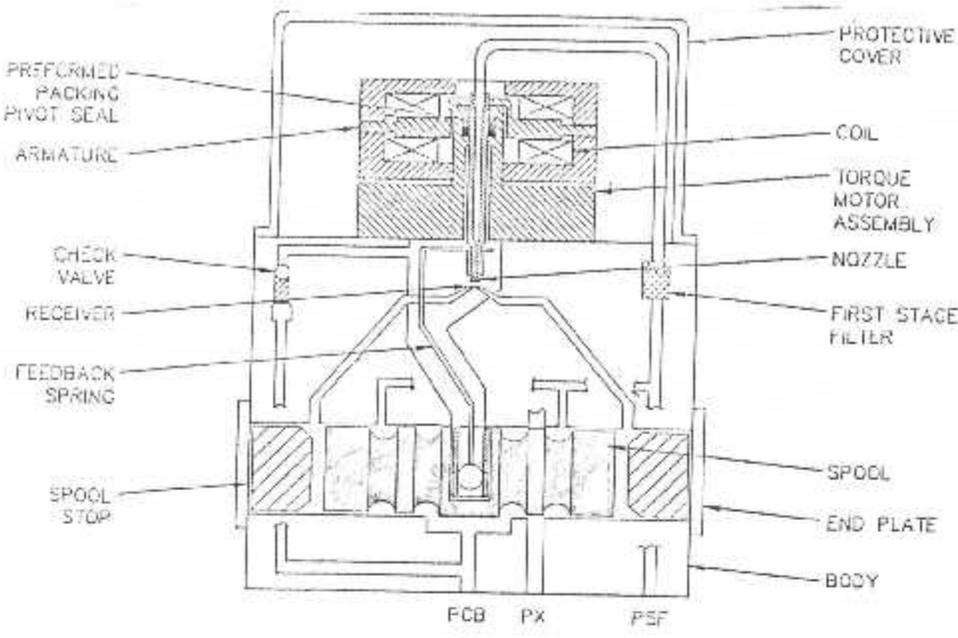


Figure (III-9) : L'ELECRO-HYDRAULIQUE SERVO VALVE A UN SEUL SORTIE

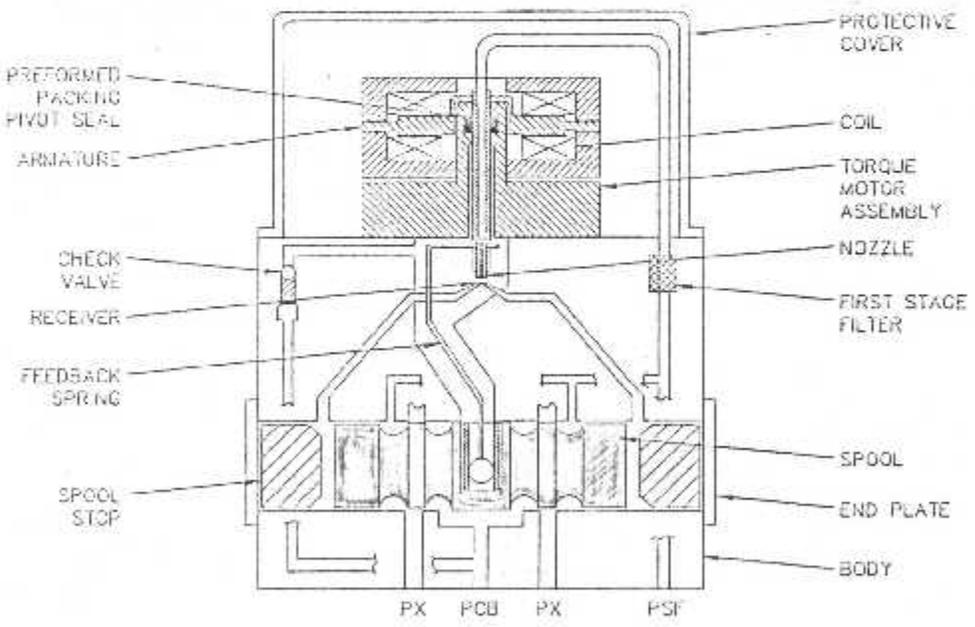
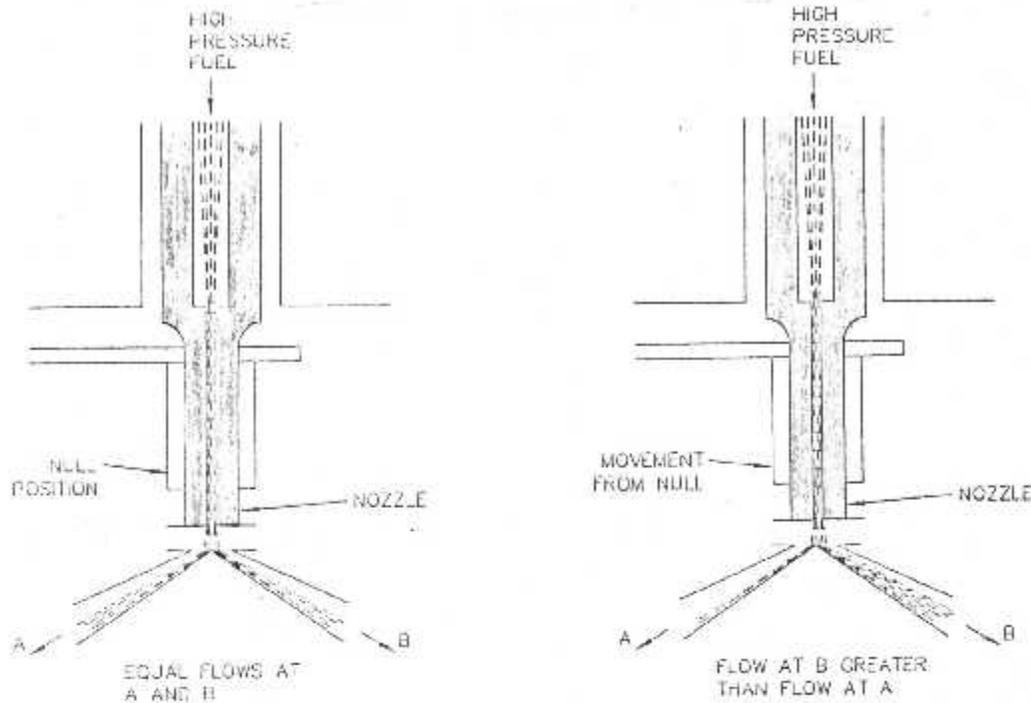


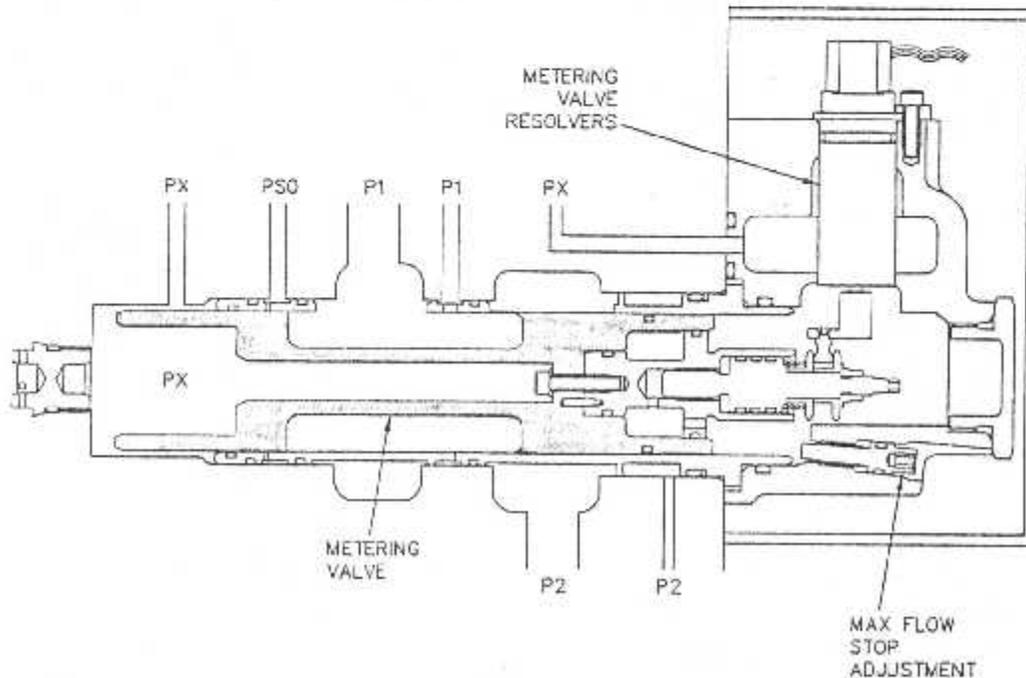
Figure (III-10) : L'ELECTRO-HYDRAULIQUE SERVO VALVE A DEUX SORTIE



**Figure (III-11) : L'INJECTEUR DE LIVRAISON DU EHSV**

**05-LA VALVE DE DOSAGE CARBURANT FMV :**

La valve de dosage carburant (FMV) est commandée par un moteur – couple qui pilote un petit vérin. Le moteur – couple a deux bobines indépendantes, isolées électriquement. Chacune recevant ses ordres d'un canal de la EEC, le débit carburant varie proportionnellement à la position de la valve de dosage. Un dispositif compare les pressions a l'amont et a l'aval de la valve et maintient leurs différences constantes en régulant la quantité de carburant envoyée vers la pompe basse pression et a la FRV. Des capteurs mesurent la position de la valve FMV et transmettent se « retour d'ordre » a la EEC pour boucler l'asservissement.



**FIGURE (III-12) : LA VALVE DE DOSAGE CRBURANT FMV**



**06-LES INDICATEURS DE POSITIONS (RESOLVERS) :**

Les resolvers ont pour rôle de sélectionner les positions de la valve de dosage carburant FMV gras a une tige attaché a l'extrémité du fermeture du piston FMV .cette tige est déplacée a l'intérieur du une bobine .

Le déplacement de tige a l'intérieure du bobine résulte un courant (signal) de position envoyé vers le EEC ,le courant ferme la boucle d'asservissement pour le EHSV .

Durant l'accélération du moteur, le signal de retour empêche le dépassement du débit carburant demandé a partir d'un signal de retour de l'EHSV ,cette dernière réduit le PX envoyé vers l'extrémité d'ouverture .

**07-LE ROBINET D'ARRET HPSOV :**

Le robinet d'arrêt HPSOV exécute deux fonctions; assurez que la pression de fonctionnement servo est dans le réglément pendant le démarrage de moteur et pendant les états de débit faible, et agirez pour couper la livraison de carburant en cas de l'arrêt moteur

Le robinet HPSOV est Placée directement en aval de la soupape de dosage. La force de ressort charge la valve dans la direction fermée et deux pressions (PC et PCR )charge la valve dans la direction ouverte .

En cas de feu moteur ou un demande d'arrêt moteur le EEC envoi un signal de fermée le passage vers le robinet HPSOV ce dernier mis en position d'arrêt.

**08-LE SOLINOIDE DE LA VALVE D'ECHAFAUDAGE MSV :**

Le solénoïde commande la fermeture et l'ouverture du valve de modulation d'échafaudage MSV dans le HMU du moteur a double chambre de combustion DAC par contre dans la version SAC il commande la valve de sélection injecteur .

La fermeture et l'ouverture des deux valve est assurées par la déférence des deux forces pression exercent dans les deux extrémités de chaque valve (force de rappel de ressort et la force de pression PC ou PCR)

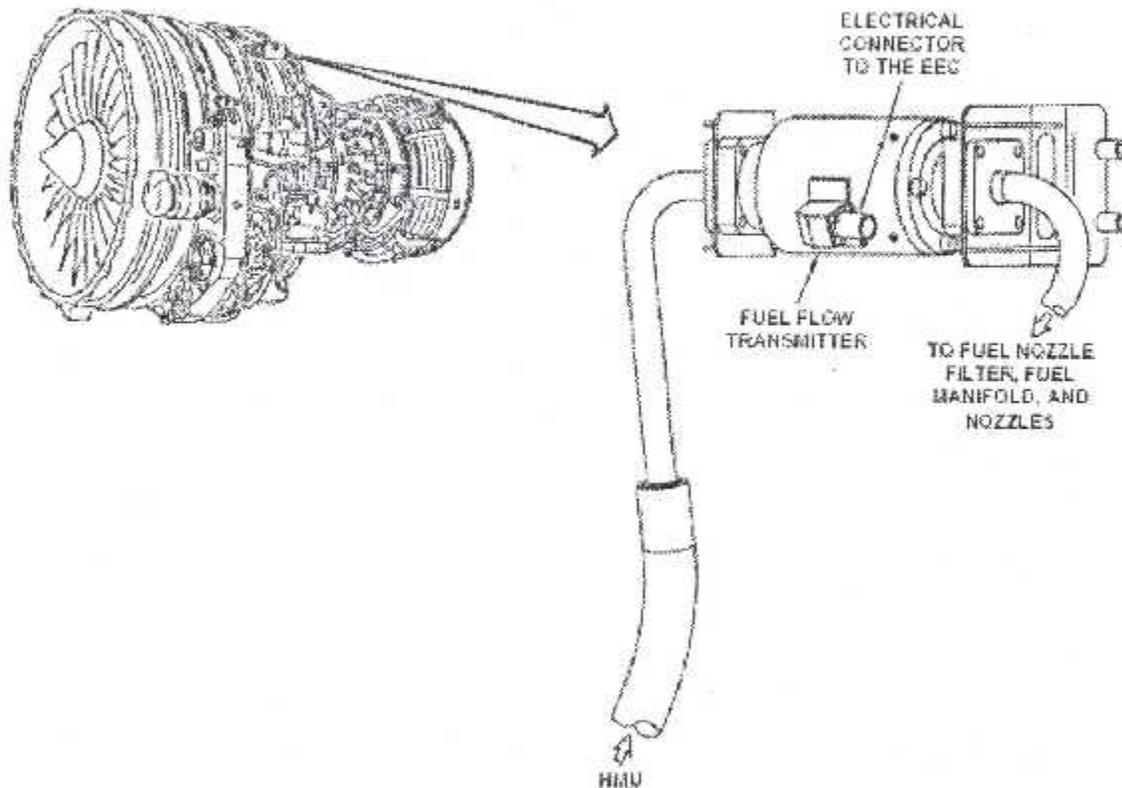
Le choix d'une des deux pressions ( PC ou PCR ) est réalisé a partir d'un signal transmit par le EEC vers le solénoïde

**09-LE GOUVERNEUR MECANIQUE DE SURVITESSE(OSG) :**

Le gouverneur OSG assure la protection de moteur en cas le système FADEC perdu la commande de moteur ;Le HMU comprend un régulateur mécanique à masselottes qui limite le débit carburant d'une façon a éviter que N2 ne dépasse 107,2 %. Pour cela, le régulateur agit sur le dispositif à différence de pression constante entre l'amont et l'aval de la FRV et dérive le carburant en excès vers le circuit bas pression de la pompe. Ce régulateur fournit donc une protection qui est indépendante de la EEC.

### III.5.6 LE DEBITMETRE :

Le débitmètre est monté sur le fan cratère du fan à la position 10h. Il mesure le débit carburant de 0 à 6360 Kg/heure avec une erreur maximum de 45 Kg/heure. Le carburant traverse deux turbines en série liées par un ressort de rappel équilibrant le couple fourni par le passage du carburant du fait de la différence de calage des petites ailettes des deux turbines, ces dernières porte chacune un aimant d'où l'écoulement de carburant les empêche à créer deux signaux envoyés aux canaux A et B de la EEC, et la différence entre les signaux est traitée par la boîte électronique d'affichage (DEUs) et convertie en poids de carburant, elle est ensuite montrée par l'écran d'affichage (CDS).



Figure(III-13) : LE DEBIT METRE

### III.5.7 LE FILTRE DES INJECTEURS :

Le filtre des injecteurs est monté à la position 10h sur le fan case, lié à la sortie du débitmètre, son but est d'éliminer la contamination de la pompe contenant dans le carburant avant qu'il aille à les rampes des injecteurs.

A l'intérieur du filtre, un clapet de dérivation peu s'ouvrir et permet au filtre d'assurer toujours le carburant aux injecteurs si le filtre devient obstrué.

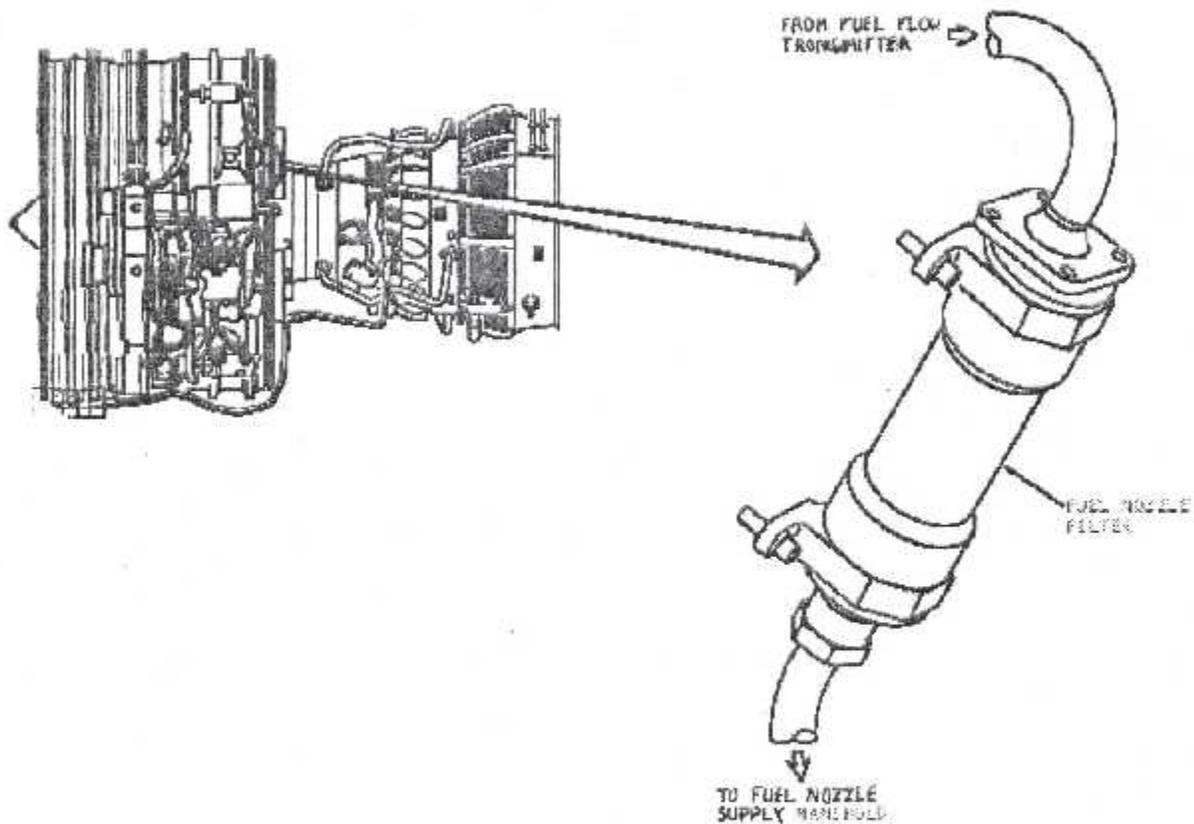


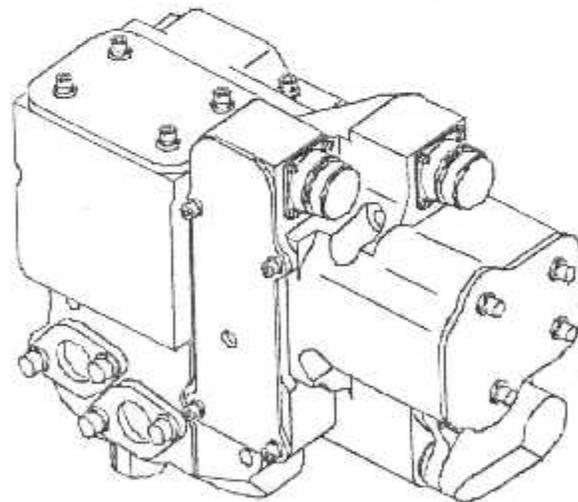
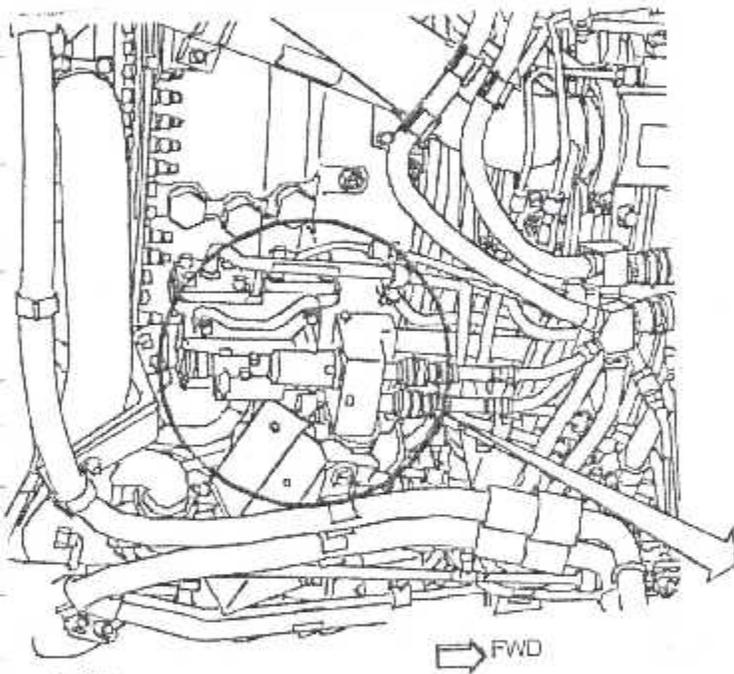
Figure (III-14) : LE FILTRE DES INJECTEURS

### III.5.8 LA VALVE DE REPARTITION DES INJECTEURS (BMV) :

La valve de répartition injecteurs est montée aussi à la position 10h sur le carter du compresseur haute pression, elle a pour rôle de distribuer le carburant à travers les injecteurs suivant le mode voulu qui correspond à la poussée voulue, elle est actionnée par le système servo pression du HMU.

La DMV contient à l'intérieure deux valves :

- La double valve de modulation DMV.
- La valve de modulation d'échafaudage MSV.



Figure(III-15) :LA VALVE DE REPARTITION DES INJECTEURS DMV

### III.5.9 LES RAMPES DES INJECTEURS : (Voire figure III-16)

Les rampes injecteurs ont des canaux circulaire fermées de nombre de trois assures l'alimentation des injecteurs a partis d'un prélèvement du BMV .chaque rampe alimente une série des têtes injecteurs.

- La rampe principale (pilot manifold) aliment l'entrée primaire de tous les injecteurs.
- La rampe secondaire N°01 (main 1 manifold) aliment l'entrée secondaire des 10 injecteurs de soutirages .
- La rampe secondaire N°02 (main 2 manifold) aliment l'entrée secondaire des 10 injecteurs de refroidissement .

NOTE : Les deux rampes secondaires sont alimentées soit par un carburant de soutirage soit par un carburant de refroidissement et celui-là dépend de l'ouverture ou la fermeture du deux valves MSV et DMV .

### III.5.10 LES INJECTEURS :

Pour le moteur CFM56-7B version DAC on a 20 injecteurs 10 qui sont une bande bleue sur les bec on les appels les injecteurs de refroidissements ,les autres a des bec jaune on les appels les injecteurs de soutirage ,ils son placés deux par deux .

Les 20 injecteurs prends une forme similaires mais d'une alimentation déférents puisque chaque injecteur contient deux entrées d'admission (primaire et secondaire) et deux têtes d'injection (primaire et secondaire ) .

Tous les injecteurs prends un prélèvement de carburant du rampe principale par l'entrée primaire d'admission .

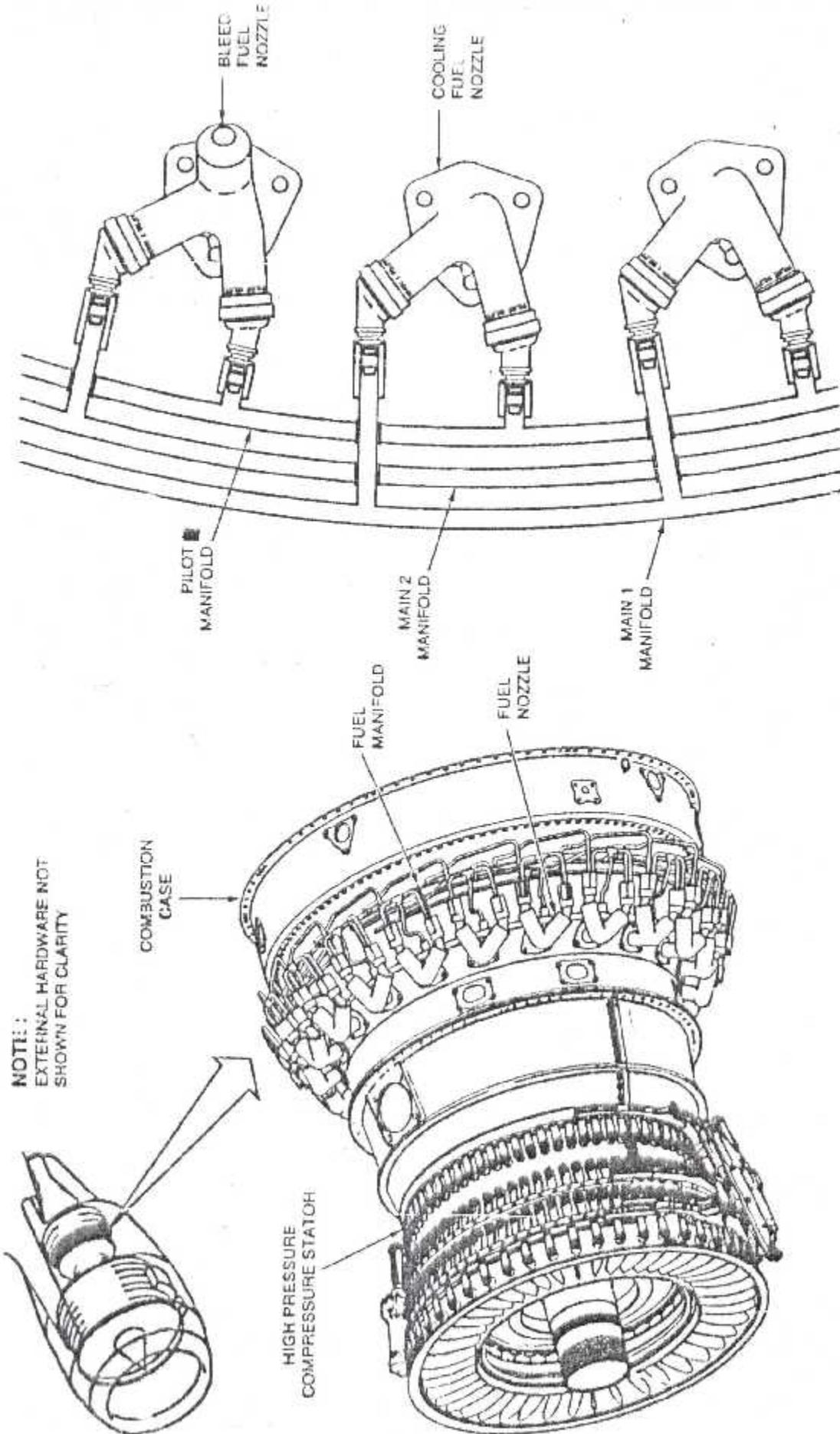


Figure (III-16): Les rampes Injecteurs.

CHAPITR III  
DESCRIPTION DU  
CIRCUIT DE CARBURANT  
DU MOTEUR CFM56-7B DAC

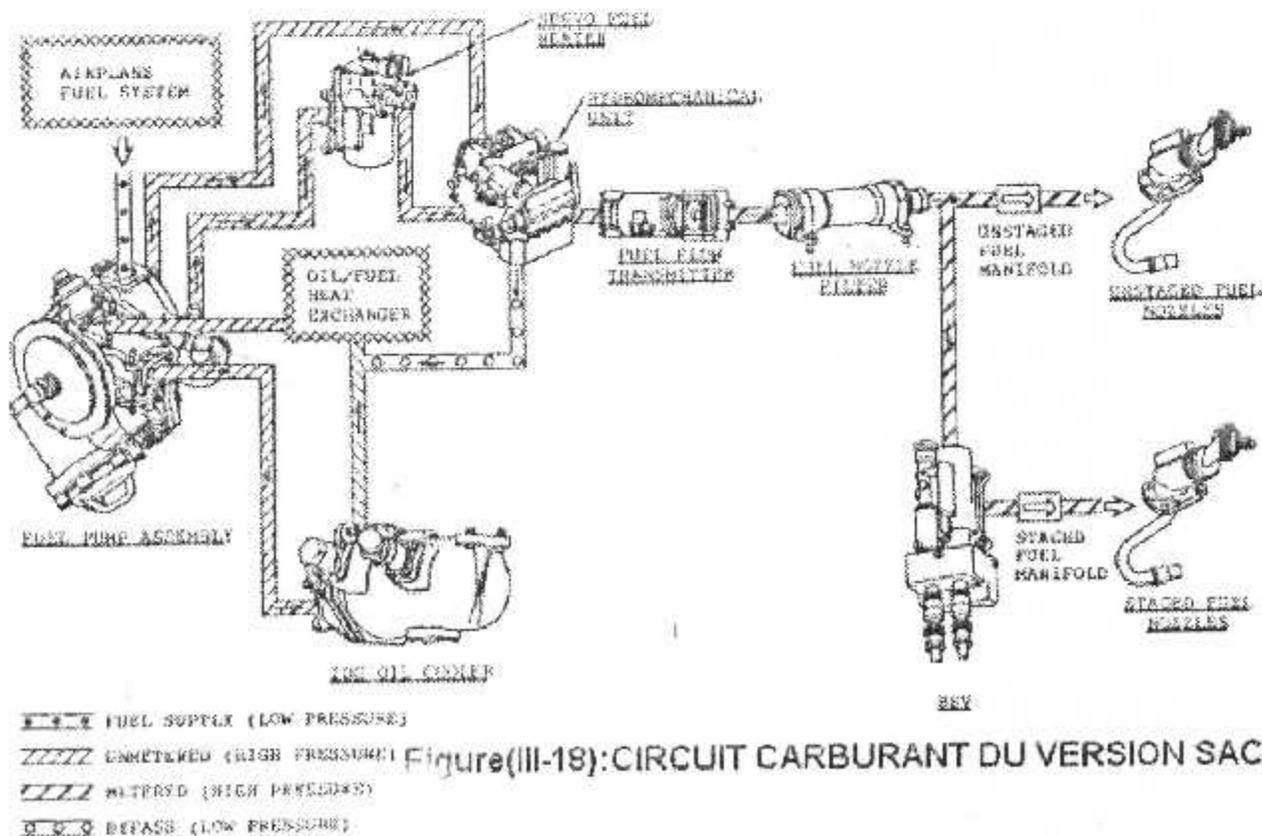
III-6.FONCTIONNEMENT DU CIRCUIT DE CARBURANT DU MOTEUR CFM 56-7B VERSION SAC :

Le fonctionnement du circuit carburant (SAC) est un peu facile par rapport a celle du circuit DAC car le SAC contient deux régimes d'injection seulement (10.10) et (10.00) et pour cela on utilise la vanne de sélection injecteurs BSV. Par contre le DAC a trois (03) régimes d'injection (20.20) , (20.00) , (20.00) et dans ce cas on utilise la valve de répartition des injecteurs BMV :

Le fonctionnement du circuit SAC commence par le carburant qui arrive du réservoir de l'avion, ce carburant passe a la pompe carburant première étage qui le refoule vers la deuxième étage (PHP) passant par le refroidisseur d'huile d'IDG, échangeur principal de chaleur (huile carburant) et le filtre principal. Quand le carburant arrive a la pompe haute pression cette dernière se refoule aussi avec une pression élevée(1200 Psi). carburant passe a travers le filtre de lavage que le divise en deux partie de débit différent. La petite partie (partie servo) va d'abord au réchauffeur carburant qui le réchauffe afin d'évité la congélation puis elle entré dans le HMU ce carburant suivie le cheminement d'asservissement. Finalement ce carburant servo arrive a les différents valves, et les autres systèmes servo comme EHSV, les régulateurs de pression, les résolveurs et l'OSG pour les actionnés.

La grande partie passe directement a l'intérieur du HMU puis arrive au valve de dosage du carburant FMV. Dans le cas ou l'orifice de livraison carburant du FMV est ouvert le carburant s'écoule vers le robinet d'arrêt HPSOV qui le trouve en position ouvert dans les états normale de fonctionnement, le carburant s'écoule encore et cette fois a l'extérieur du HMU vers le débit mètre qui transmise la quantité de carburant passé, puis vers le filtre injecteur et la valve BSV.

Et finalement le carburant arrive au injecteur qui l'injecte directement a l'intérieur d'une simple chambre de combustion annulaire.



**01) FONCTIONNEMENT DE LA VALVE DE DOSAGE CARBURANT FMV: ✓**

La valve de dosage FMV est contenue à l'intérieur un piston qui se déplace pour maintenir la fermeture et l'ouverture d'un orifice de livraison carburant. Le déplacement du piston est basé sur la différence des deux pressions  $P_x$  qui s'exercent sur ces deux extrémités (extrémité d'ouverture, extrémité de fermeture). La pression  $P_x$  est fournie à partir de l'EHSV de la valve FMV pour ouvrir ou fermer la valve.

À la position neutre du piston, les forces sur les deux côtés opposés du piston sont équilibrées, ce piston est fixé au milieu, l'alimentation par orifice du carburant demandé est établie. L'EHSV contrôle la  $P_x$  fournie aux extrémités du piston du FMV selon les commandes du EEC.

Quand une augmentation de débit carburant est demandée l'EHSV du FMV réduit le  $P_x$  à l'extrémité de fermeture du piston du FMV et le  $P_x$  de l'ouverture aura une augmentation ce qui change l'équilibre de piston (déplacement). Finalement l'orifice de livraison sera grandie.

Quand une diminution de débit carburant est demandée, l'EHSV du FMV augmente le  $P_x$  à l'extrémité de fermeture du piston du FMV et le  $P_x$  de l'ouverture aura une diminution ce qui change l'équilibre de piston (déplacement vers la fermeture). Finalement l'orifice de livraison sera diminuée.

Deux résolveurs (indicateur de positions) donnent des indications de la position du FMV. Ces indications sont envoyées vers les canaux de l'EEC.

**02) FONCTIONNEMENT DE LA VALVE DE SÉLECTION INJECTEURS BSV: ✓**

La BSV est une valve d'arrêt de type clapet qui est ouverte suivant la pression du carburant ( $P_C$  ou  $P_{CR}$ ). L'unité hydromécanique du contrôle moteur est reliée au solénoïde de la BSV par des hampeaux électriques. Le solénoïde contrôle une servo-vanne lorsqu'il reçoit les deux pressions du carburant.  $P_C$  ou  $P_{CR}$ .

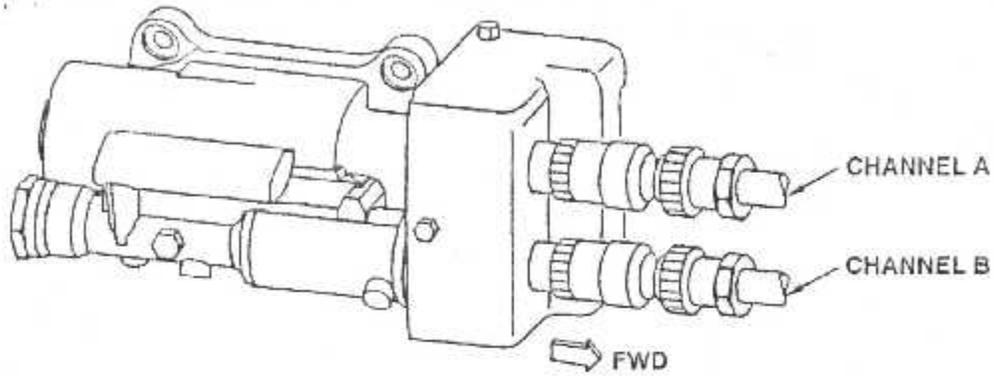
**A- VINGT (20) INJECTEURS EN OPERATION :**

Dans la position ouverte, le solénoïde désactive (coupe l'alimentation), la pression  $P_{CR}$  alimente dans la cavité supérieure de la BSV. La pression  $P_{CR}$  fournie dans les deux extrémités de la valve papillon. Le ressort garde la valve ouverte et laisse le carburant d'aller dans les injecteurs à travers l'orifice de sortie P22.

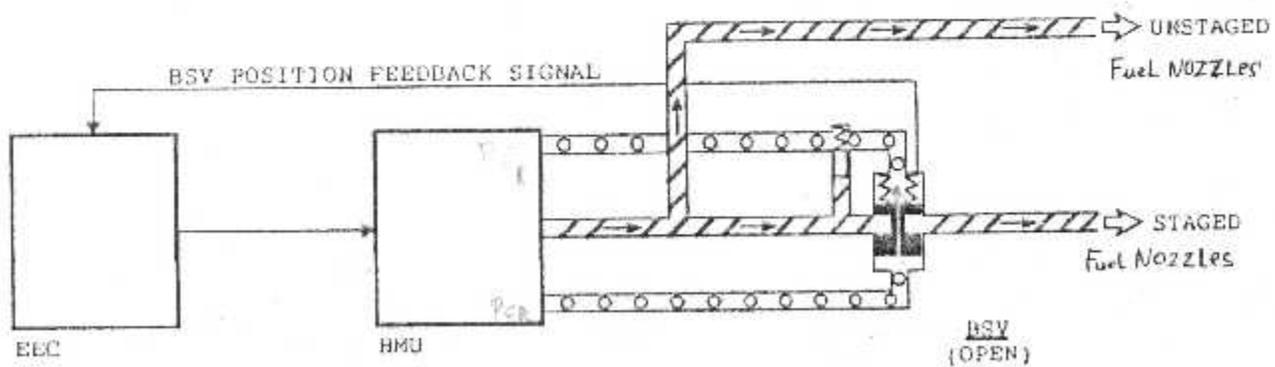
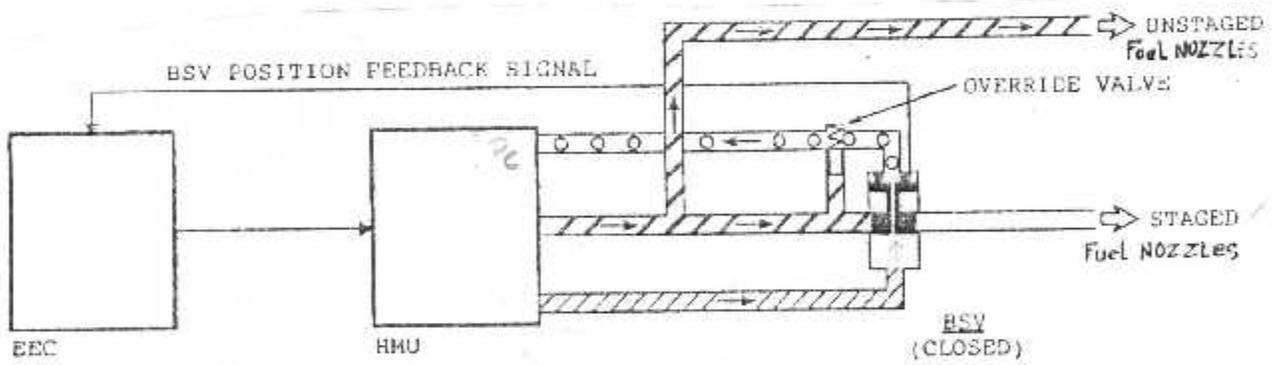
**B- DIX (10) INJECTEURS EN OPERATION :**

Pour fermer la valve papillon, un signal électrique est appliqué au solénoïde vers le HMU par le EEC. Le solénoïde bouge et la pression de carburant  $P_C$  est portée vers la cavité supérieure de la BSV. Le piston se déplace vers le bas, donc, la valve papillon se ferme. La différence de pression entre  $P_C$  et  $P_{CR}$  cause la fermeture de la valve. Donc on aura un seul passage de carburant qui passe vers les dix (10) injecteurs.

La BSV ouvre à 25% de  $N_2$  et ferme à 55% de  $N_2$  elle s'ouvre pour la deuxième fois à 80% de  $N_2$ .



Figure(III-19) LA VALVE DE SLECTION INJECTEURS



- PRESSURE (SERVO) FUEL
- METERED FUEL
- RETURN FUEL

Fig. 9) : LES DEUX REGIMES DE FONCTIONNEMENT DU BSV

**III-7.FONCTIONNEMENT DU CIRCUIT DE CARBURANT DU MOTEUR CFM56-7B VERSION DAC :**

Dans l'étude du fonctionnement du circuit de carburant du moteur CFM56-7B version DAC on peut diviser le circuit en deux parties :

- 1<sup>er</sup> partie elle contient le même fonctionnement du circuit carburant SAC. elle débute au départ du circuit et finit à la sortie du filtre injecteur.
- 2<sup>ème</sup> partie elle contient un fonctionnement différent de celui du circuit carburant SAC. elle débute à la fin de la première partie et finit à la fin du circuit.

**01) LA FONCTIONNEMENT DE LA 1<sup>ER</sup> PARTIE DU CIRCUIT :**

La première partie du circuit carburant DAC est similaire à celle du circuit carburant SAC. Sauf que le HMU du circuit carburant DAC contient une électrovalve hydraulique servo EHSV supplémentaire qui est l'EHSV de la double valve de modulation DMV. Donc cette partie a le même fonctionnement et les mêmes étapes de circuit carburant SAC.

**02) LA FONCTIONNEMENT DE LA 2<sup>EME</sup> PARTIE DU CIRCUIT :**

Cette partie est un peu plus compliquée par rapport au circuit carburant SAC.

Après la sortie du filtre injecteur le carburant est envoyé à l'intérieur du BMV (valve de répartition injecteur). À l'intérieur du BMV le carburant se divise en trois parties égales :

- Une partie va à la rampe injecteur principale passant par la valve DMV qui est située à l'intérieur du BMV. ce passage carburant est toujours en position ouverte.
- Une partie va à la rampe injecteur secondaire N°01 passant par la valve DMV. L'ouverture de ce passage dépend de la position de la valve DMV.
- Une partie va à la rampe injecteur secondaire N°02 passant par la valve MSV qui est aussi située à l'intérieur du BMV. L'ouverture de ce passage dépend de la position de la valve MSV.

Chaque rampe injecteur assure l'alimentation des entrées des injecteurs qui les contiennent. Finalement le carburant sera injecté dans la double chambre de combustion.

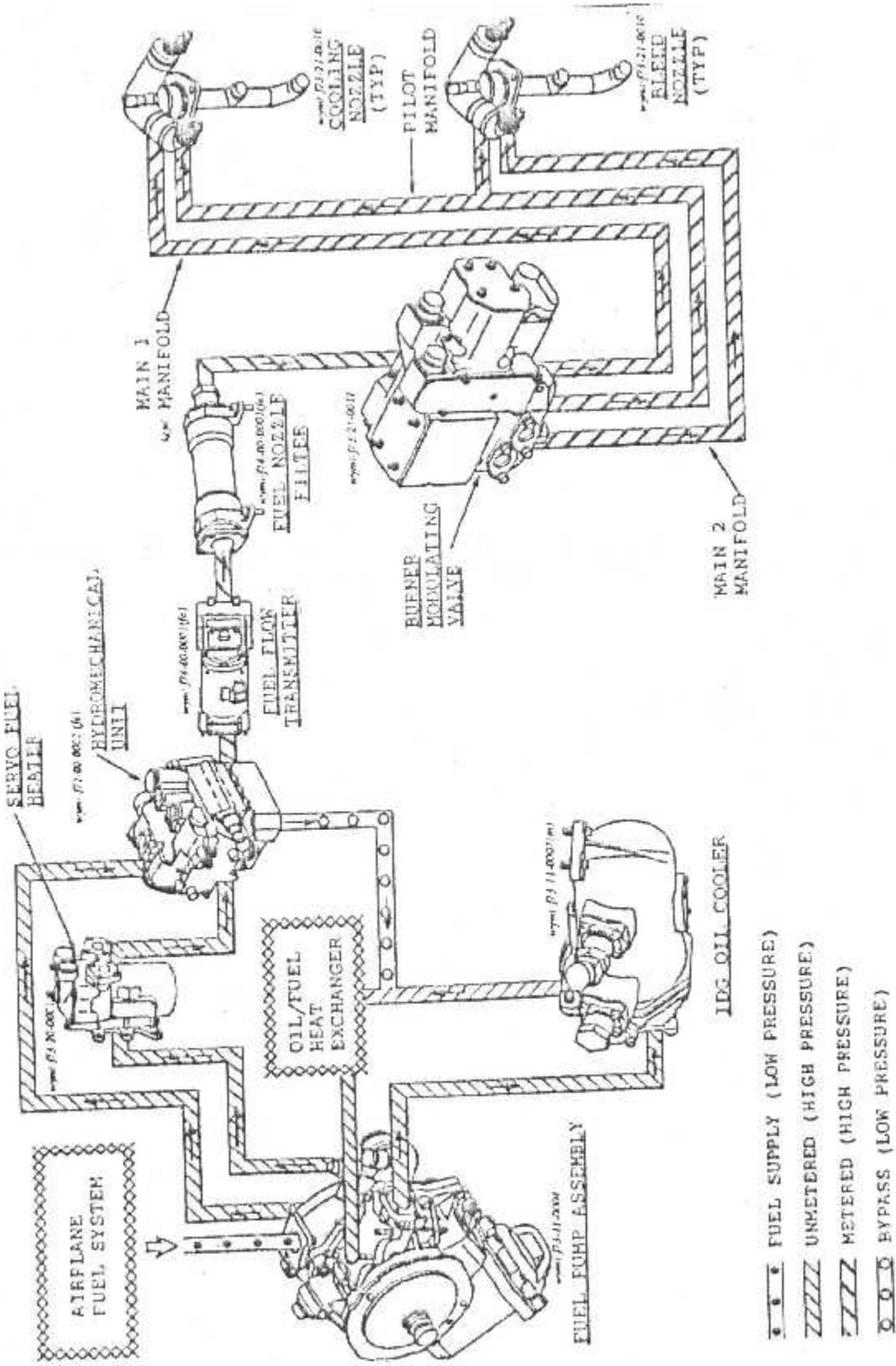
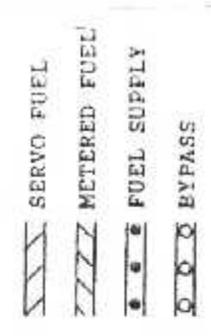
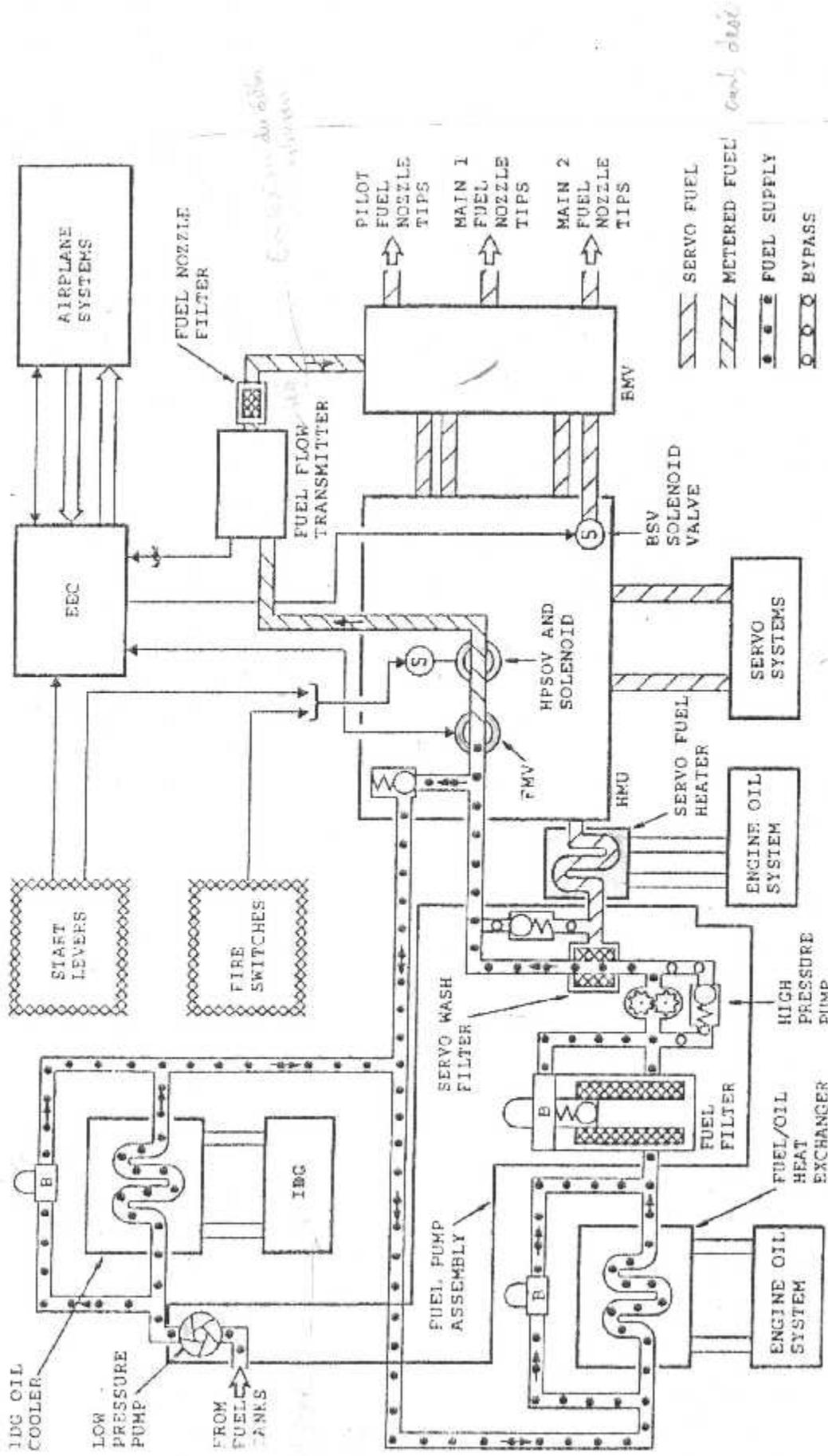


Figure (II-20): VU DU CIRCUIT CARBURANT DAC DE L'EXTERIEUR.



*HPSOV = Réserve d'urgence*  
*FMV = Vanne de stop carburant*

Figure (III-21): VU DU CIRCUIT CARBURANT DAC DE L'INTERIEUR.

**03) FONCTIONNEMENT DE LA VALVE DE REPARTITION DES INJECTEURS BMV :**

Le carburant qui arrive au valve de répartition des injecteurs est dévisé en trois (03) parties, une partie passe vers la valve MSV et les deux autres passent vers la DMV :

**A- LA DOUBLE VALVE DE MODULATION MSV :**

C'est une vanne actionnée par un solénoïde ; qu'à deux positions ouverture (passage de carburant) ou fermeture.

Elle contient un piston poussé d'un côté par un ressort, elle reçoit à ces deux extrémités des carburant-servo à des pressions différents ou égales pour changer sa position. Ces pressions sont :

- PCR : La pression référence de réglage (140-150 Psi).
- PC : La pression servo de réglage (290-310 Psi).

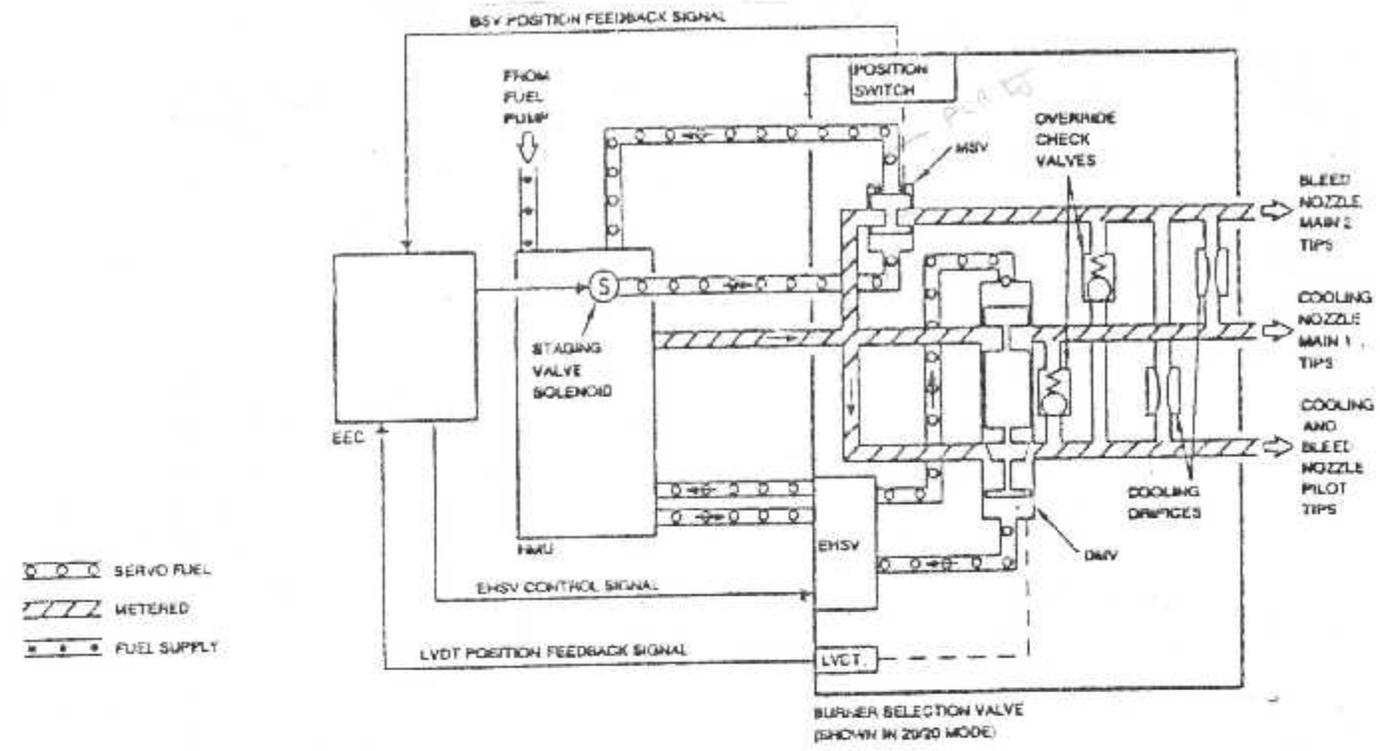
Le côté haut (côté du ressort) contient toujours le PCR, le deuxième côté est soit alimenté par du PCR ; dans ce cas, le ressort empêche le piston à fermer la MSV, ou bien alimenté par du PC, et dans ce cas, la MSV s'ouvre sous l'effet de la grande pression PC. Le ressort est choisi d'une façon que sa force de rappel (FR) vérifie la relation :

$$PC > FR + PCR$$

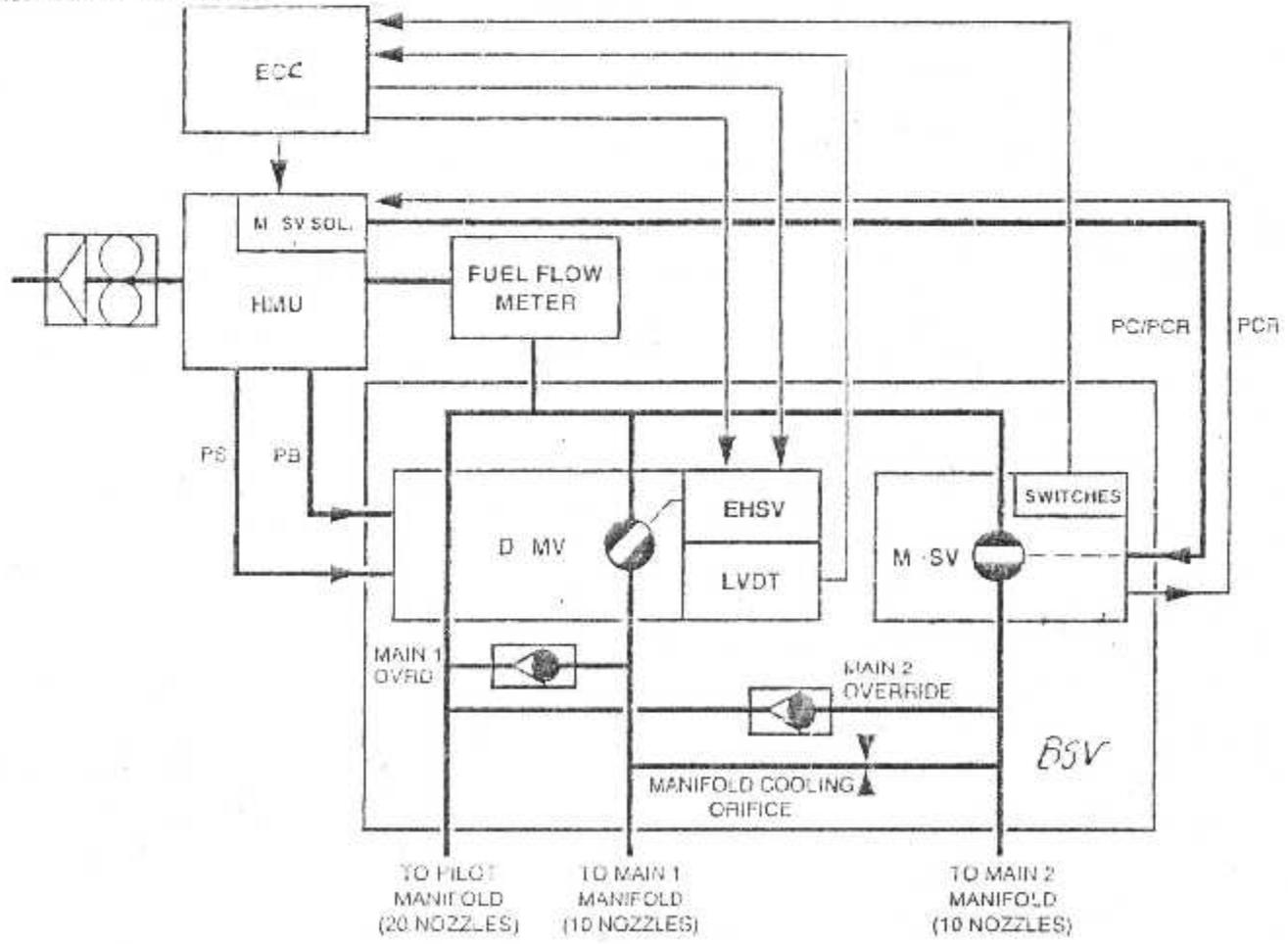
La pression du carburant servo qui alimente le côté bas de la MSV (PCR ou PC) est choisie grâce au solénoïde qui reçoit des signaux électriques de la EEC identifiant sa position : ouverte ou fermée.

**B- LA VALVE DE MODULATION D'ECHAFAUDAGE DMV :**

Et aussi une vanne mais actionnée par un EHSV qui contient deux entrées et deux sorties ces deux derniers fournissent du carburant servo qui agit sur le piston de la DMV pour identifier la position demandée par le principe de la différence de pression. Pour fermée la boucle, on voit deux signaux électriques de positions vers le EEC à partir d'un transformateur différentiel variable linéaire LVDT et le commutateur de position (bouton, switch). La position de la DMV est déterminée par un courant qui résulte d'un champ induit variable suivant le déplacement d'une tige liée au piston à l'intérieur d'une bobine.



NOTE : BSV IS SHOWN IN THE 2020 MODE



Figure(III-22) : FONCTIONNEMENT DE LA BMV

**03) FONCTIONNEMENT DES INJECTEURS :**

Chaque injecteur contient à l'intérieur deux circuits ( primaire et secondaire) indépendantes et déferents, le circuit primaire guidée le carburant de s'écoule du l'entrée primaire vers la sortie et puis l'injection. le circuit secondaire guidée le carburant de s'écoule du entrée secondaire vers la sortie mais cette fois on trouve deux cas :

- ✓ Lorsque les entrées secondaires reçoivent le carburant de soutirage, ce prélèvement capable d'ouvrir les clapets des têtes secondaires donc on aura une injection.
- ✓ Lorsque les entrées secondaires reçoivent le carburant de refroidissement, ce prélèvement n'être pas capable d'ouvrir les clapets des têtes secondaires (pression faible ) donc ce carburant va retourné vers la rampe qui convient a travers une canule de retour .

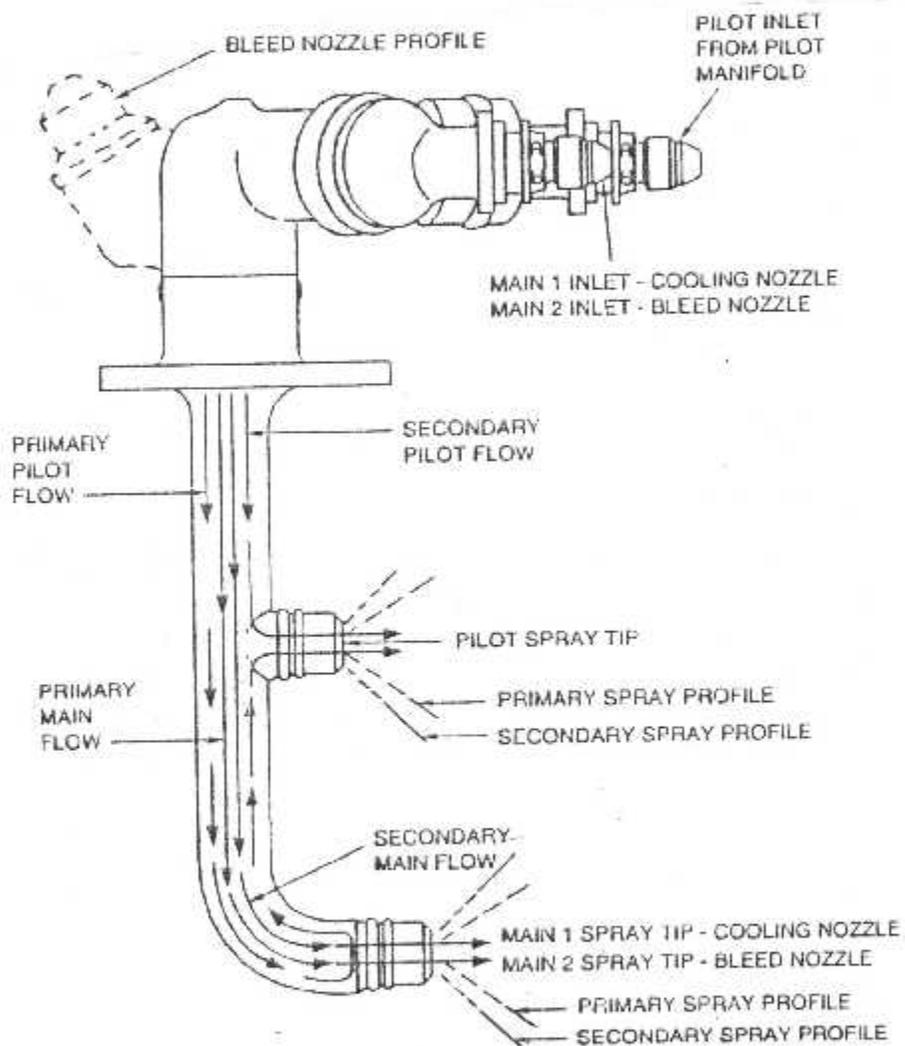
Pour la continuités du circulation carburant a l'intérieure des injecteurs on trouve des valves dans les têtes des dix (10 ) injecteurs de soutirages , ces valves permit au carburant de passe vers les têtes primaires dans le cas ou les têtes secondaires n'aurons pas d'injection.

**04) REFROIDISSEMENT DES INJECTEURS :**

Le refroidissement des injecteurs est très importantes sur tout dans les régimes ( 20 :10 ) et ( 20 :00 ) car on nous trouvons l'injection de carburant est bloqué dans les têtes et pour cela il faut un circulation de fuel (carburant de refroidissement) cette dernière évite le fusion des têtes injecteurs et la formation de dépôt de carbone (calamine) au niveau des gicleurs .

Le carburant de refroidissement résulte d'un circuit ouvert débits au niveau des étranglers (cooling orifices) dans la BMV et des petites orifices dans la rompe n°03, ces dernières diminuée le débit du carburant jusqu'à ce que la pression de ce dernier n'être pas capable d'ouvrir les clapets diviseur des têtes injecteurs .

Le carburant de refroidissement assure un rôle aussi important ;il donne un délit de réponse » court suit un demande brusque de puissance .



Figure(III-23) : L'ECOULEMENT DE CARBURANT A L'INTERIEUR DE L'INJECTEUR

### III.8 LES DIFFÉRENTS RÉGIMES DU MOTEUR :

Lorsque en vérifiant la constitution de la valve de répartition injecteurs BMW on conclut qu'il y a trois régimes importants :

- RÉGIME (accélération) 20 :20 .
- RÉGIME (intermédiaire) 20 :10 ;
- RÉGIME (ralenti) 20 :00.

Ces trois régimes dépendent de la position de la valve MSV et la valve DMV :

- La MSV assure l'alimentation de la rampe injecteurs principale .
- La DMV assure l'alimentation des rampes injecteurs secondaires N° 01 et N° 03 .

Note : la rampe principale est toujours alimentée (en tous régimes) ; le passage carburant en position ouverte .

#### 01) RÉGIME 20 :20 (PUISSANT) : (voir Figure III-24 )

La MSV est ouverte ; la rampe secondaire N° 02 est alimentée.

La DMV en position ouverte des deux passages (rampe principale et N° 01)

C'est à dire l'alimentation de tous les rampes.

#### 02) RÉGIME 20 :10 (INTERMÉDIAIRE) : (voir figure III-25)

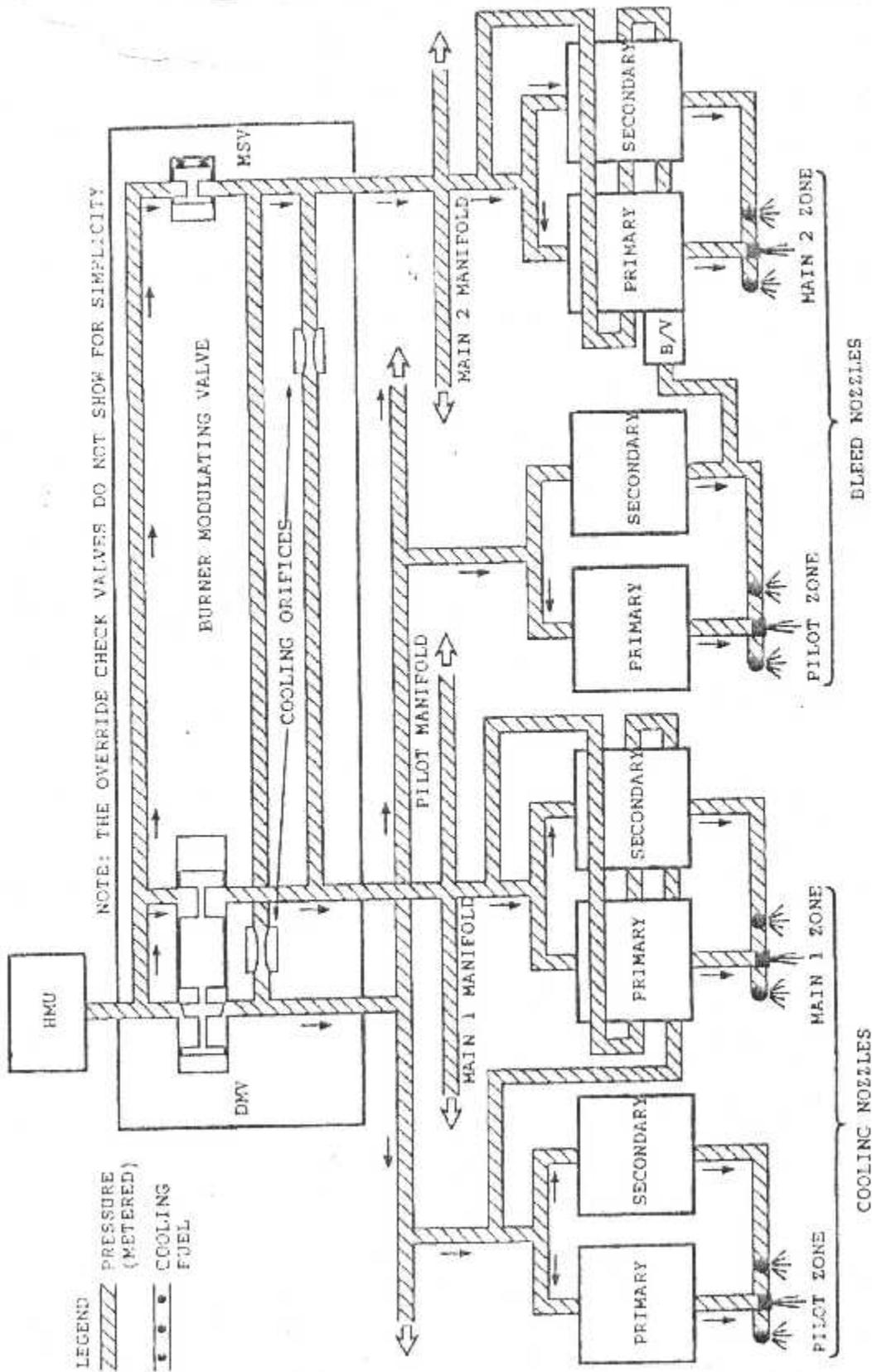
La MSV en position fermée implique la rampe secondaire N° 02 non alimentée .

La DMV en position ouverte pour les deux passages ; les deux rampes sont alimentées.

#### 03) RÉGIME 20 :00 (RALENTI) : (voir figure III-26)

La MSV en position fermée implique la rampe secondaire N° 02 non alimentée .

La DMV pour la rampe secondaire N° 01 le passage est fermé et pour l'autre rampe le passage est ouvert . .



Figure(III-24): LE REGIME (20:20).

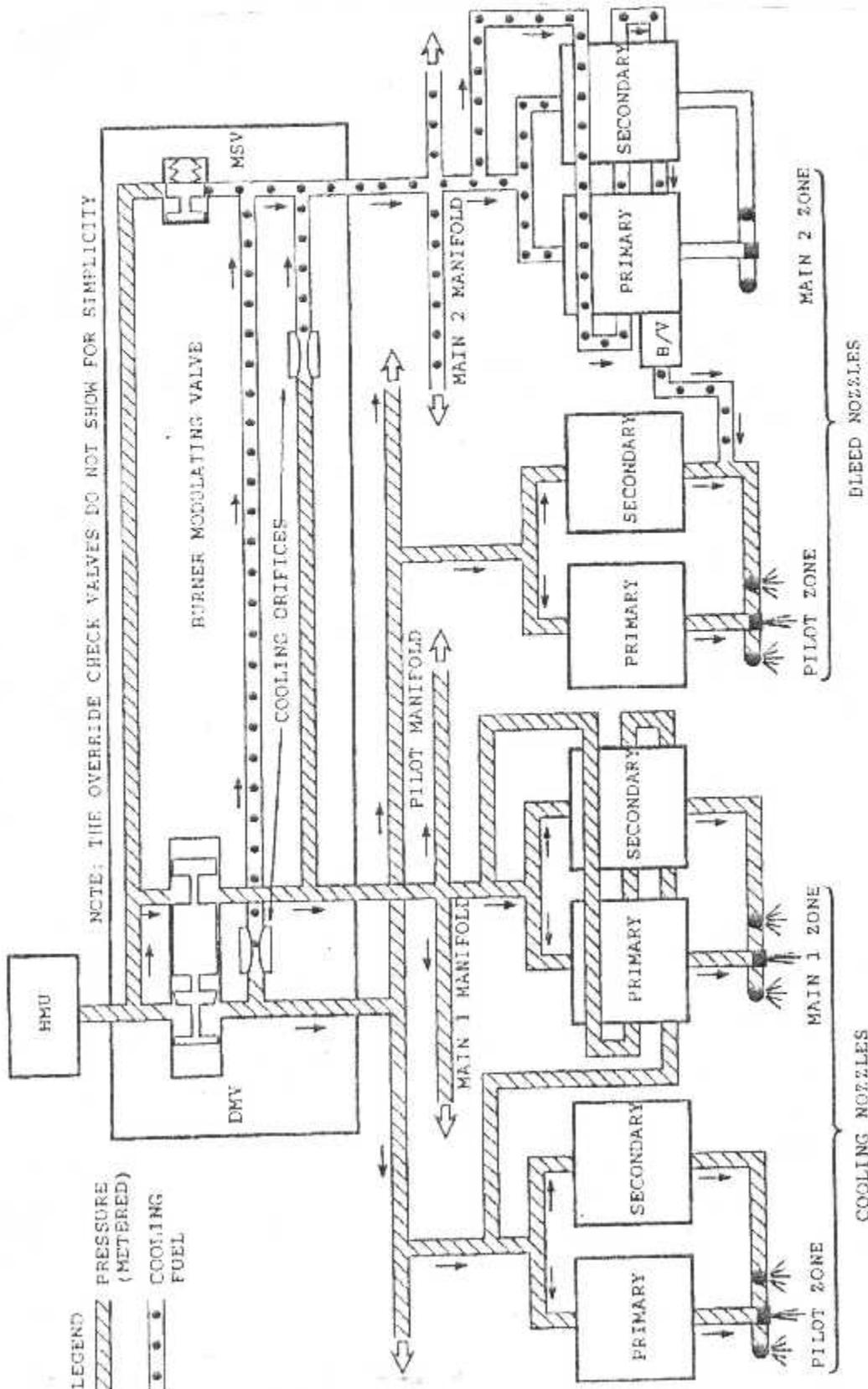


Figure (II-25): LE REGIME (20:10).

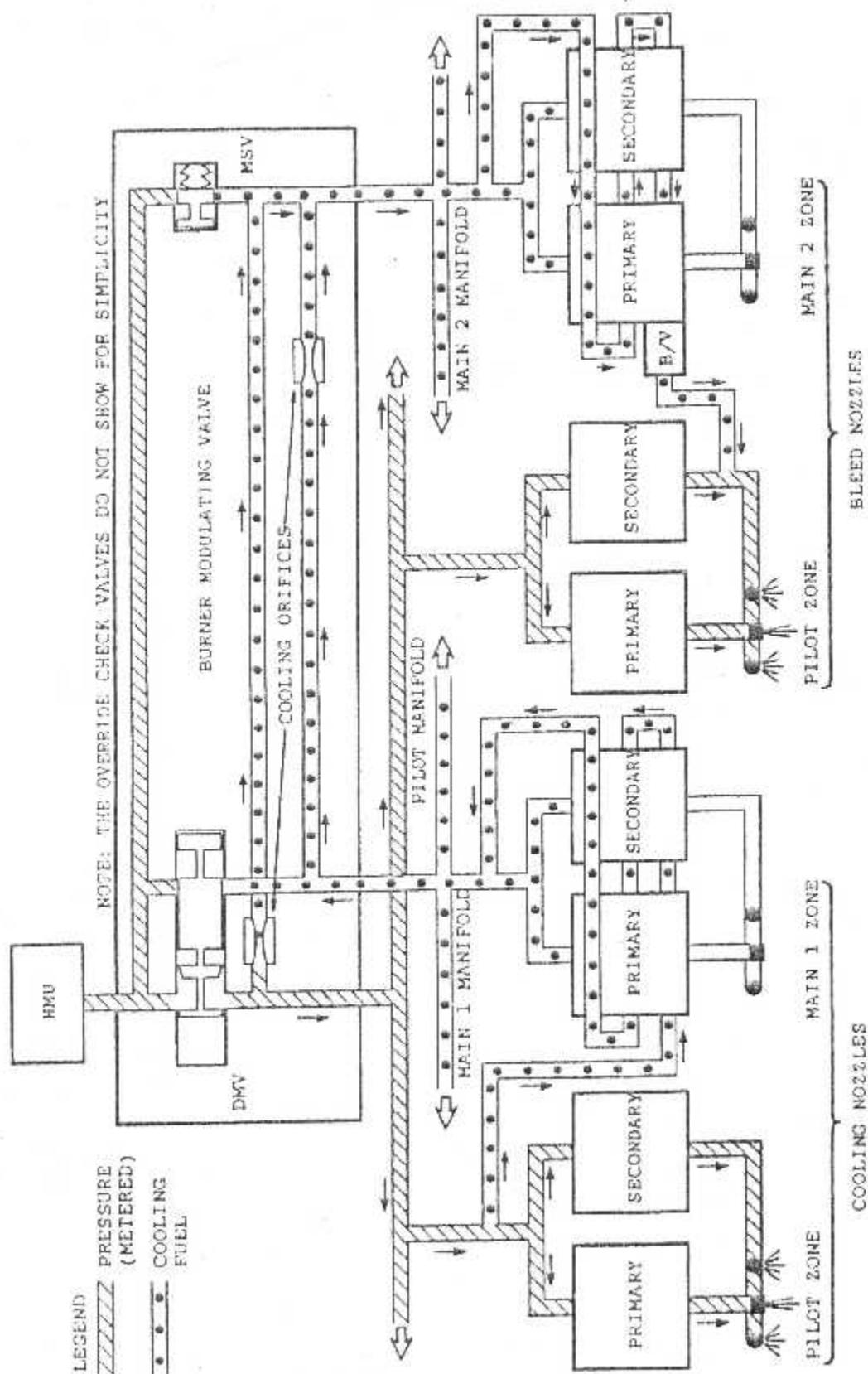


Figure (III-26): LE REGIME (20:00).

### III.9 CONTROL 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 secondaires moteurs.
- D'un rayant d'alarme du colmatage filtre situé au panneau supérieur p5-2 au la cockpit.
- D'un voyant associé au robinet carburant haute pression (HPSOV).

CHAPITR IV  
COMPARAISON ENTRE  
LE SAC ET LE DAC

## CHAPITRE IV

## COMPARAISON ENTRE « SAC » ET « DAC »

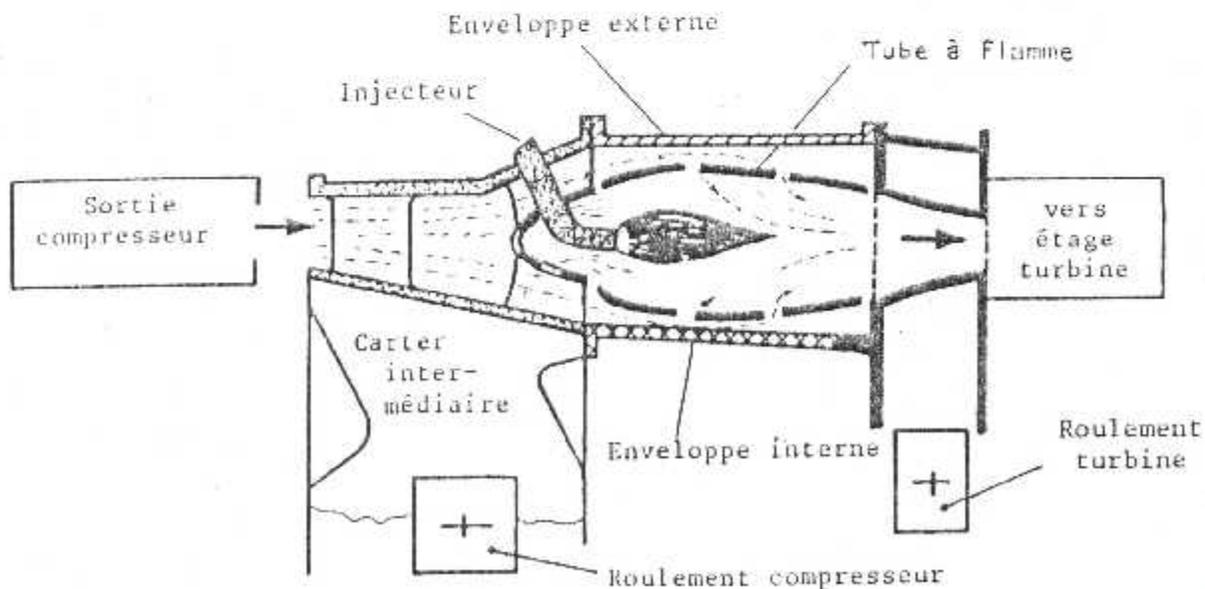
## IV.1 INTRODUCTION :

Les chambres de combustion doivent pouvoir assurer le mélange kérosène et oxygène (contenu dans l'air) et permettre la transformation la plus complète possible de l'énergie chimique du mélange en énergie calorifique (moins d'imbrûlés possible donc moins polluants) et cela dans toute la gamme de vol.

## IV.2 DESCRIPTION D'UNE CHAMBRE DE COMBUSTION :

Les chambres de combustion 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 injecteurs.
- Un ou plusieurs tubes à flamme dans le ou lesquels séjournera la flamme.
- Une enveloppe externe et une enveloppe interne dans laquelle passe l'arbre compresseur - turbine.
- Un carter de raccordement au premier étage de la turbine.



### IV.3 FONCTIONNEMENT D'UNE CHAMBRE DE COMBUSTION:

L'air sortant du compresseur pénètre dans la chambre de combustion (enceinte ouverte) où est injecté du combustible liquide finement pulvérisé sous pression. Lorsque le régime moteur est maintenu constant, le taux de compression ne varie pas, l'alimentation en air de la chambre de combustion se fait donc sous pression constante. Le mélange air/carburant s'effectue au niveau de l'injecteur ; ce mélange est enflammé pour le démarrage, la combustion doit ensuite s'auto-entretenir.

La combustion est d'une importance primordiale si l'on songe qu'elle doit s'effectuer d'une façon parfaite dans un délai très court (débit important) et que l'échange de température transmis à la masse d'air doit être le plus uniforme possible.

Pour satisfaire ces conditions impératives, la combustion s'effectue en deux phases essentielles :

#### IV.3.1 PREMIERE PHASE :

Afin d'obtenir une combustion complète, le combustible est mélangé à l'air dans un dosage théorique de 1/15. L'air alimentant en oxygène la combustion est appelé AIR PRIMAIRE et traverse les aubages de turbulence. Avec un tel dosage, la température s'élève aux environs de 1800°C à 2000°C à l'extrémité de la flamme. Les gaz environnants la flamme ne peuvent être utilisés à ces températures par la turbine et les matériaux constituant la chambre de combustion ne résisteraient pas longtemps. On est donc amené à refroidir les gaz et les matériaux, c'est le but de la seconde phase.

#### IV.3.2 DEUXIEME PHASE :

Cette diminution de température est obtenue en diluant les gaz chauds par un flux d'air frais. Cet air froid appelé AIR SECONDAIRE ou AIR DE REFROIDISSEMENT, après avoir léché les parois internes et externes du tubes à flamme qu'il refroidit, se mélange aux gaz chauds et ramène ainsi leurs températures aux environs de 1300°C à 1400°C. un profil convergent continuant la veine d'air permet encore d'abaisser cette température avant l'entrée de l'étage turbine.

Actuellement sur moteur moderne, la température avant turbine avoisine les 1300°C. Cet air de refroidissement crée une paroi fluide entre le tube à flamme et la flamme empêchant celle-ci de toucher aux tôles.

Des perçages correctement orientés et de formes particulières génèrent des turbulences ayant pour but de plaquer la flamme au niveau de l'injecteur évitant ainsi qu'elle décroche.

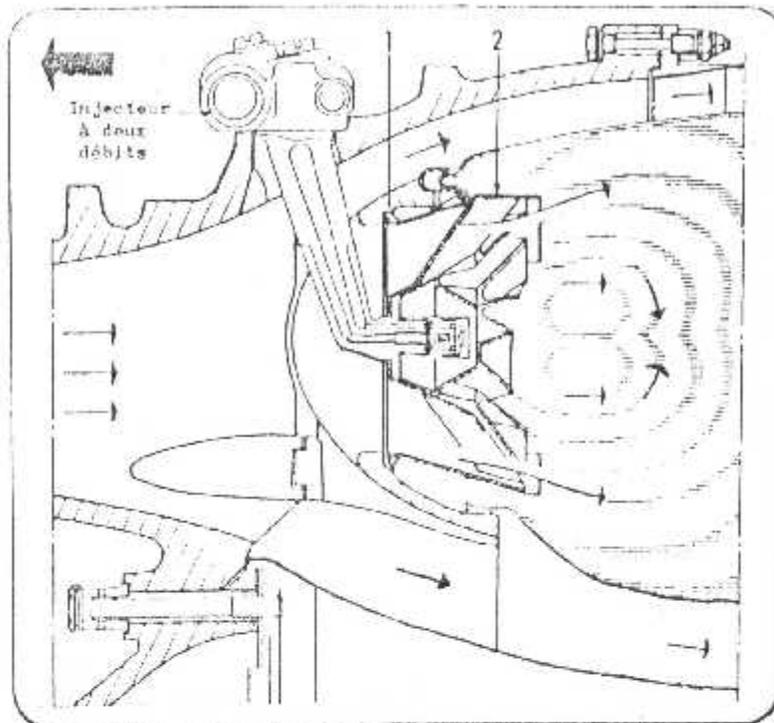


Figure (IV-2) : L'AIR PRIMAIRE ET L'AIR SECONDAIRE DE LA CHAMBRE DE COMBUSTION

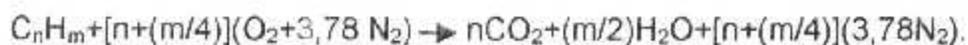
#### IV.4 LES TYPES DE COMBUSTIONS :

Il existe trois types de combustions :

- La combustion neutre.
- La combustion oxydante.
- La combustion réductrice.

##### IV.4.1 LA COMBUSTION NEUTRE :

La combustion neutre dite théorique ou stœchiométrique est une combustion complète qui s'effectue avec la quantité d'air juste nécessaire appelée « quantité d'air théorique », sa réaction chimique s'écrit comme suit :

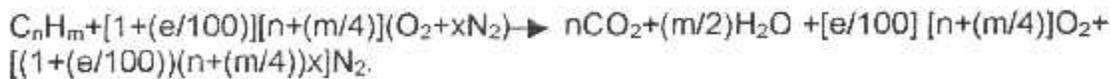


On applique cette équation sur le combustible qui a pour formule générale : ( $C_8H_{18}$ ) :

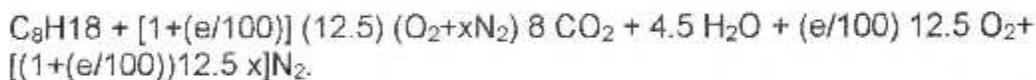


#### IV.4.2 LA COMBUSTION OXYDANTE :

En réalité, pour la combustion soit complète, il faut une quantité d'air supérieure à la quantité d'air théorique, car, dans la pratique, il n'y a jamais mélange absolument intime entre le combustible et le comburant. Ce deuxième type de combustion, dite « combustion oxydante », est une combustion complète avec excès d'air, sa réaction chimique s'écrit comme suit :

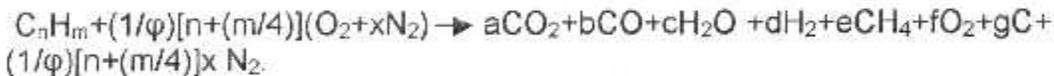


Où « e » représente l'excès d'air en pourcentage. On applique cette équation sur le combustible précédent, on aura :



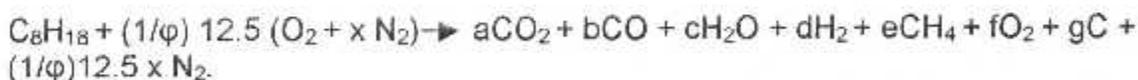
#### IV.4.3 LA COMBUSTION REDUCTRICE :

La combustion réductrice est une combustion incomplète avec défaut d'air ; les gaz de combustions contiennent donc de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène, sa réaction chimique s'écrit comme suit :



Où  $\varphi$  représente la richesse du milieu réactionnel qui est le rapport de la quantité du combustible par celle du comburant ; et a, b, c, d, e, f et g sont des inconnus à déterminer.

Dans ce type de combustion, l'équation du  $C_8H_{18}$  s'écrit comme suit :



#### IV.5 LES EMISSIONS POLLUANTES DUES A UNE COMBUSTION :

L'air ambiante se compose de l'oxygène ( $O_2$ ), l'azote ( $N_2$ ) et l'argon (Ar) ; tous les combustibles peuvent être brûlés complètement et efficacement. Les produits de leur combustion ne se composent alors que de bioxyde de carbone ( $CO_2$ ) et vapeur d'eau ( $H_2O$ ), qui ne sont pas considérés comme des polluant, et, en faible part, oxydes de soufre et d'azote.

Mais la combustion est rarement complète et provoque alors, suivant la nature de combustible, des appareils, des conditions d'installation et de conduites de chauffe, des émissions de particules et de gaz polluants.

On trouve ainsi dans les gaz de combustion :

#### **IV.5.1 LES COMPOSES DU CARBONE :**

- Le gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) qui n'est pas nocif par lui même mais dont les concentrations importantes peuvent provoquer, dans les locaux mal ventilés, des gênes ou tout au moins raréfier la quantité d'oxygène.
- L'oxyde de carbone ( $\text{CO}$ ) très toxique, mais qui se diffuse rapidement dans l'atmosphère.
- Les hydrocarbures imbrûlés ou plus ou moins oxydés (aldéhydes et acides) tel que le carbure d'hydrogène (HC).

#### **IV.5.2 LES COMPOSES DU SOUFRE :**

L'anhydride sulfureux ( $\text{SO}_2$ ) qui peut plus ou moins se transformer en anhydride sulfurique ( $\text{SO}_3$ ) et donner l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) en présence d'eau.

#### **IV.5.3 LES OXYDES D'AZOTE :**

Les oxydes d'azote ( $\text{NO}$  et  $\text{NO}_2$  appelés  $\text{NO}_x$ ) qui sont surtout formés dans les combustions à très haute température.

#### **IV.5.4 LES SUIES :**

Particules de carbone imbrûlé provenant du craquage des goudrons ou des hydrocarbures. Les particules élémentaires sont très fines (inférieurs à  $1\mu$ ) et très légères, mais peuvent s'agglomérer entre elles.

#### **IV.5.5 LES FUMERONS :**

L'agglutination des suies forme dans certains cas des filaments cotonneux ou des plaques pouvant atteindre plusieurs millimètres. Leur densité est très faible et ils sont presque toujours acides.

#### **IV.6 CARACTERISTIQUES DES POLLUANTS POUR UN TURBOFAN :**

Les polluants ont, selon la phase de vol, des conséquences et des influences négatives sur l'environnement, ces influences sont représentées dans le tableau suivant :

Polluant	Phase de vol	Conséquences
Les hydrocarbures imbrûlés (CH)	Bas régime	Toxique, réactions photochimiques, odeur.
Le monoxyde de carbone (CO)	Ralenti sol	Toxique.
Les oxydes d'azote (NOx)	Haut régime y compris la croisière	Réactions Photochimiques (mélange fumée/brouillard), pluie, toxique, possibilité de l'incidence d'ozone.
Les fumerons	Décollage et montée	Visibilité (réduction de la transmission de la lumière).

Il est nécessaire de noter que l'émission des oxydes d'azote (NOx) prene le temps le plus long dans un vol d'un avion, ainsi qu'ils sont les plus toxiques parmi les gaz d'émissions et leur influence est la plus dangereuse.

**IV.7 DISTRIBUTION DES POLLUANTS DANS LES DIFFERENTS PHASES DE VOL :**

La quantité des émissions polluantes se diffèrent d'une phase de vol a une autre, chaque polluant est montré si contre par un graphe :

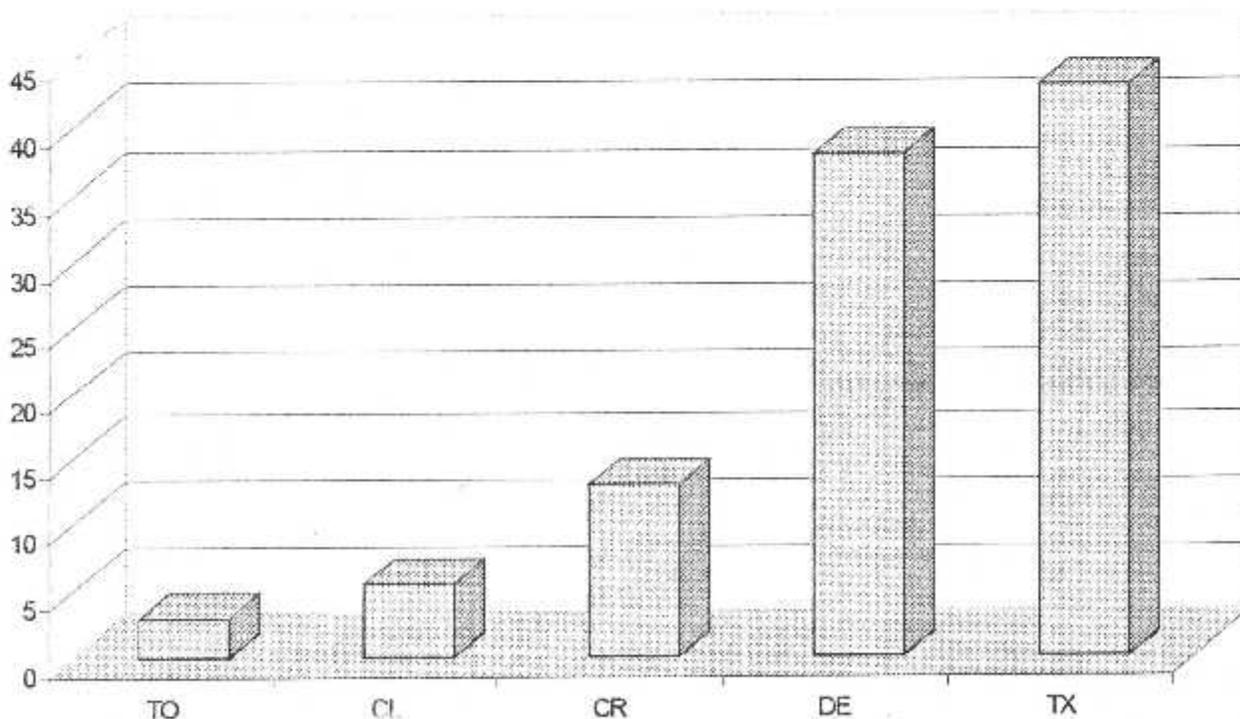


Figure (IV-3) : L'EMISSION DE HC

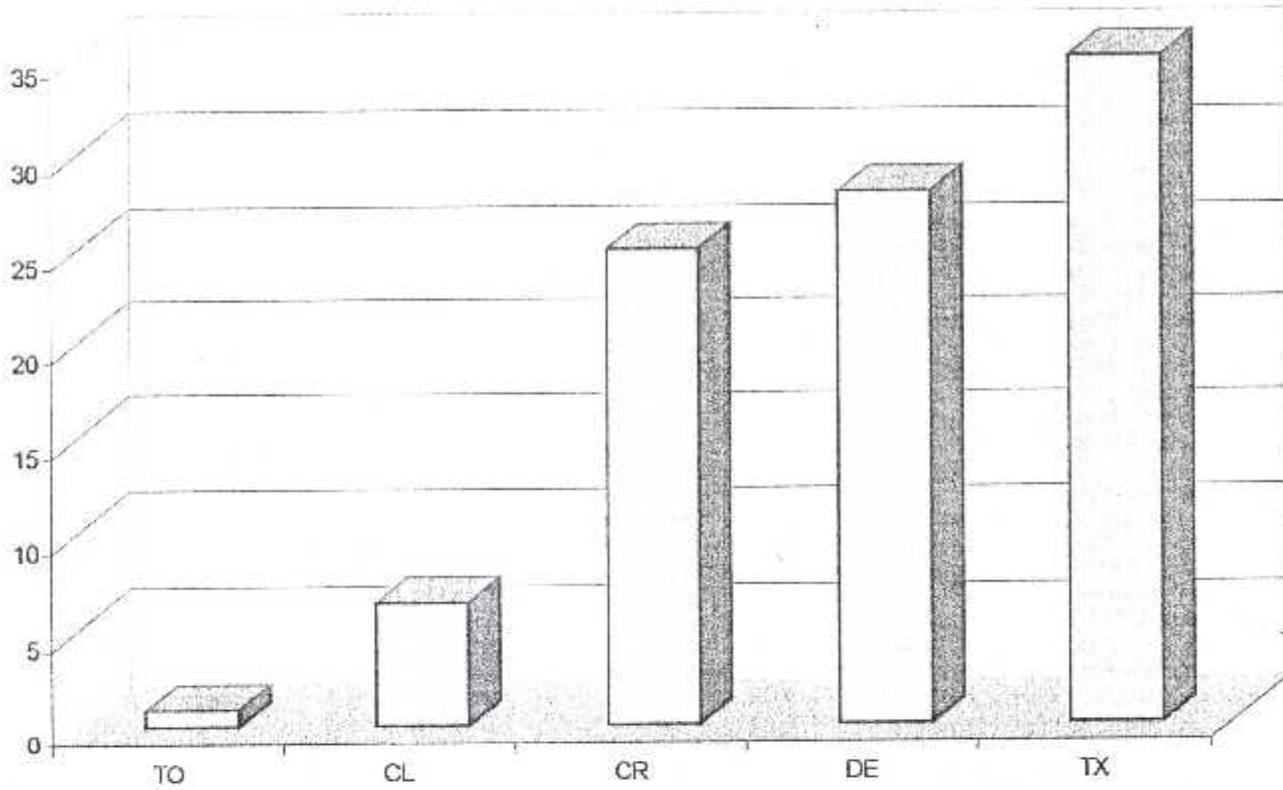


Figure (IV-4) : L'EMISSION DE CO

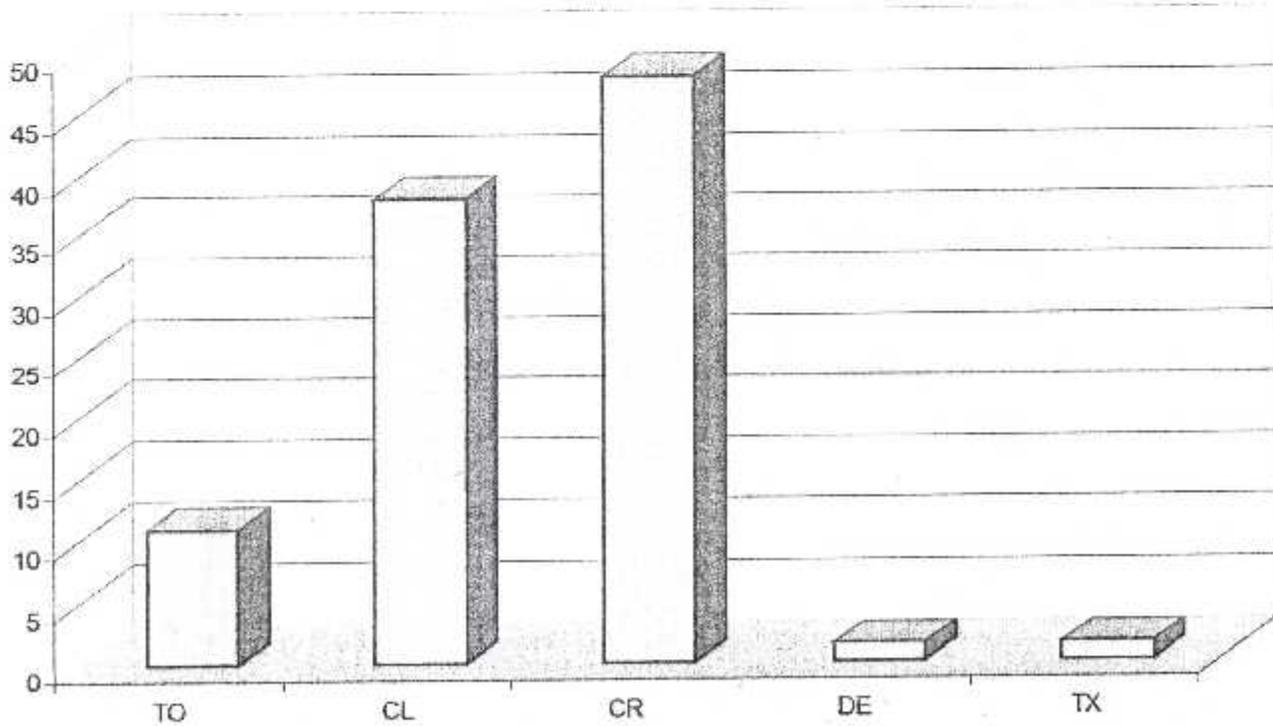


Figure (IV-5) : EMISSION DES NOx

TO : décollage (takeoff)  
CL : montée (climb)  
CR : croisière (cruise)  
DE : descente (descent)  
TX : circulation au sol (taxi)

Ces trois graphes montrent le pourcentage des gaz toxiques dans chaque phase de vol. On remarque que l'oxyde de carbone CO et le carbure d'hydrogène HC dominants à la basse puissance de moteur tandis que les oxydes d'azote NOx dominant à la puissance élevée.

Un graphe globale de la distribution de tout les polluants dans les phases de vol est montré si contre :

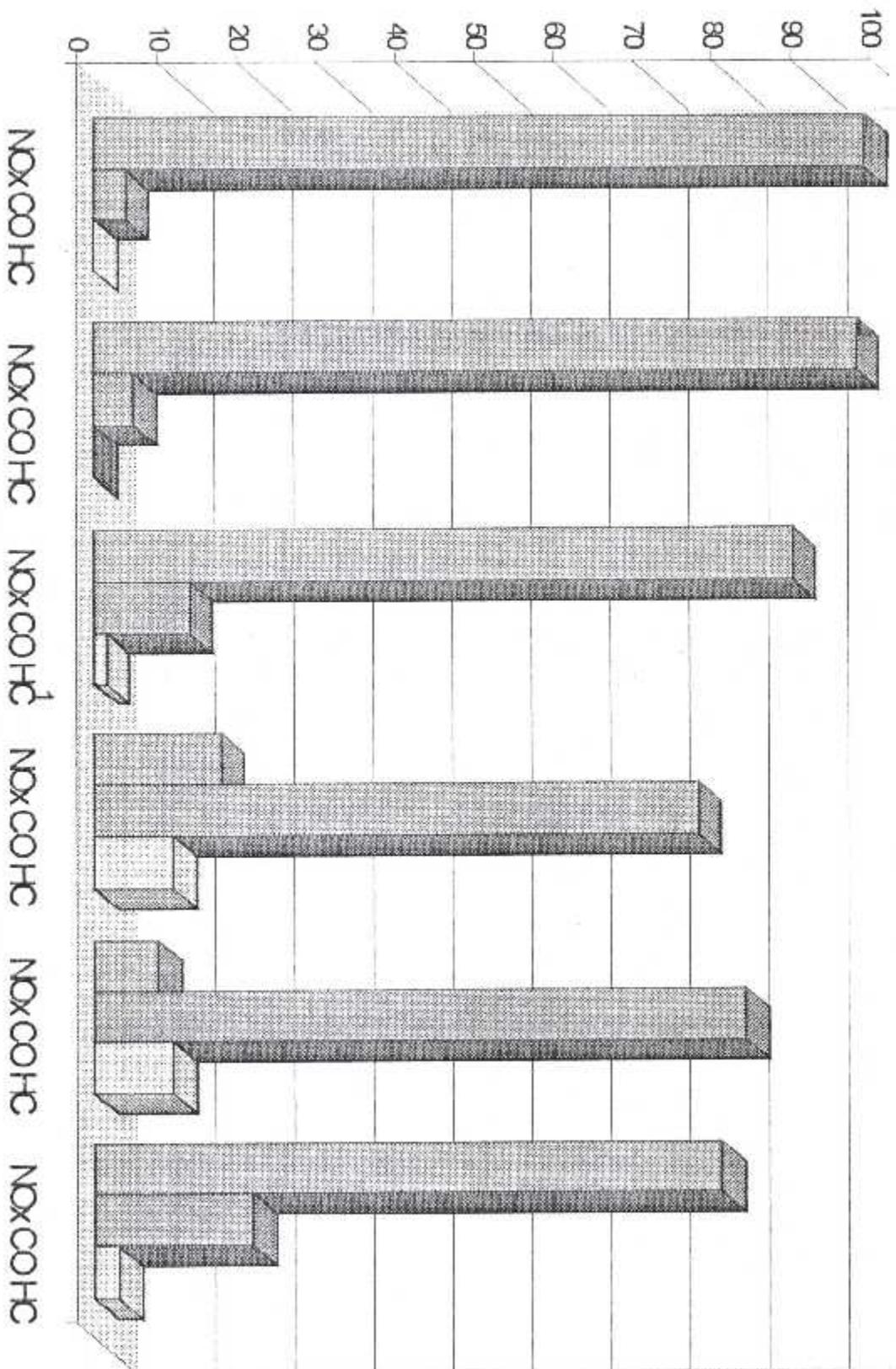


Figure (IV-6) : DISTRIBUTION DES POLLUANTS AUX PHASES DE VOL

Ce graphe montre la distribution des polluants a travers les phases de vol ; on note que 80% de tout ces polluants est les oxydes d'azote (Nox).

#### IV.8 REGLEMENTATIONS DES EMISSIONS POUR UN TURBOFAN :

Afin de protéger l'environnement des gaz toxique, l'organisation internationale de l'aviation civile (OACI) a conditionné a tout utilisateurs de respecter certains limites d'émissions polluantes ; par exemple : l'émission du HC ne doit pas dépasser 12.7 g/KN de la poussée, le CO est limité de 96.2 g/KN et les Nox de 85 g/KN. Le tableau suivant montre quelques exemples des émissions pour les CFM56 :

Emissions	CFM56-2B	CFM56-3B	CFM56-5A1	La limite
FUMMEE	6.9	6.0	15.8	18
HC (g/KN)	3.5	3.0	2.7	12.7
CO (g/KN)	61	59.2	27.7	96.2
NOx (g/KN)	44.3	48.2	47.7	85

On remarque que tout les CFM56 ont des valeurs inférieures a la limite autorisée, elles sont donc a un niveau supérieur dans leur qualité.

#### IV.9 AMELIORATION DES CHAMBRES DE COMBUSTION REDUCTION DE LA POLLUTION :

##### IV.9.1 GENERALITES :

Nous avons vu que la réaction chimique théorique s'accompagnait de production de CO<sub>2</sub> et d'eau. en toute rigueur, l'air contenant de l'azote (N<sub>2</sub>) dans une grande proportion, celui-ci se combine au très hautes températures à l'oxygène pour donner des oxydes d'azote dont en particulier, le monoxyde d'azote NO (qui est toxique) suivant la relation :



Ce monoxyde d'azote apparaît donc aux hautes températures, ce qui correspond au régime de décollage.

D'autre part, le CO<sub>2</sub> se transforme en CO (monoxyde de carbone) surtout au régime de ralenti (faible pression). Au ralenti, apparaît une gamme d'imbrûlés importante provenant du mauvais brassage. Nous donnons ci-après une courbe rassemblant les constatations précédentes.

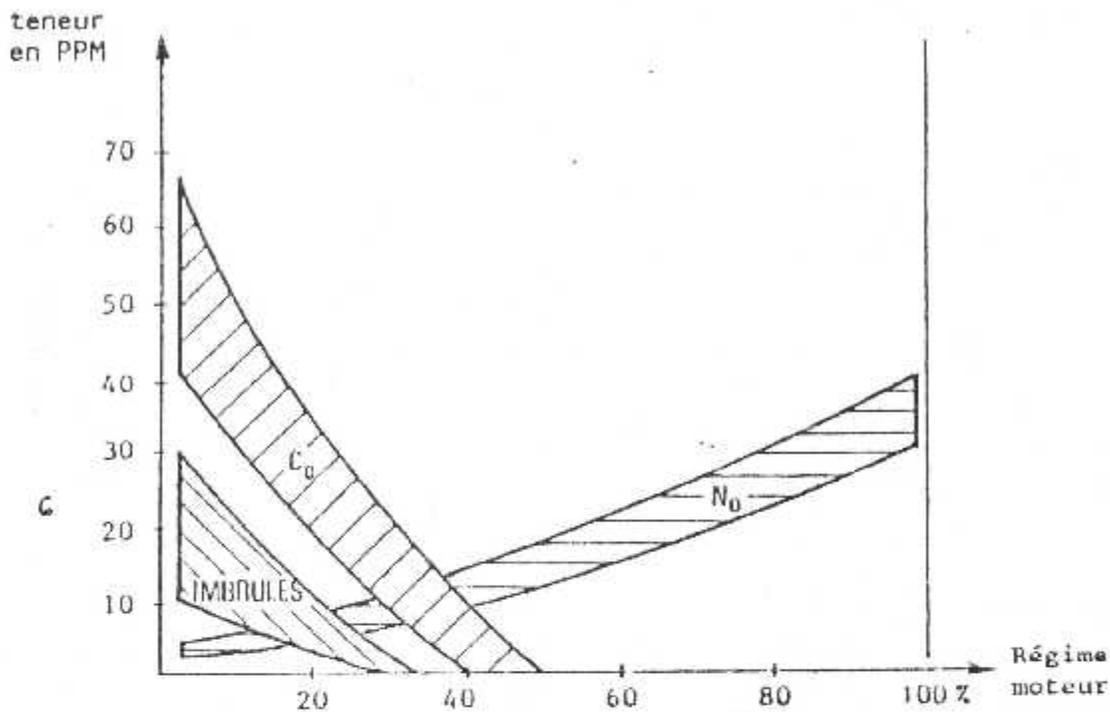


Figure (IV-8) : LA TENEUR DES POLLUANTS

1.9.2 TYPES DE CHAMBRES DE COMBUSTION:

Pour une chambre classique (annulaire simple), l'alimentation carburant est assurée par un injecteur, celui-ci délivrant deux débits : un débit de base pour le régime de ralenti, et un débit principal s'ajoutant au débit de base pour garantir toute la gamme de débit, du ralenti au plein gaz. Le constructeur est amené alors à optimiser la forme de ces brûleurs pour réduire l'une ou l'autre des principales pollutions (CO, NO) ; ce qui se traduit souvent par un compromis.

Afin d'essayer de reculer ce compromis, et d'améliorer la combustion au ralenti et au plein gaz, GENERAL ELECTRIC propose les solutions suivants :

- Chambre classique. (a)
- Chambre radiale/axiale. (b)
- Double chambre annulaire. (c)

Ces deux types de chambres radiale/axiale et double annulaire sont des chambres annulaires dans lesquelles sont disposées deux injecteurs, un assurant le débit de base ; la préchambre est optimisée pour la réduction de la production de CO et d'imbrûlés, alors que la partie de la chambre recevant le débit principal est étudiée pour amenuiser l'émission de monoxyde d'azote.

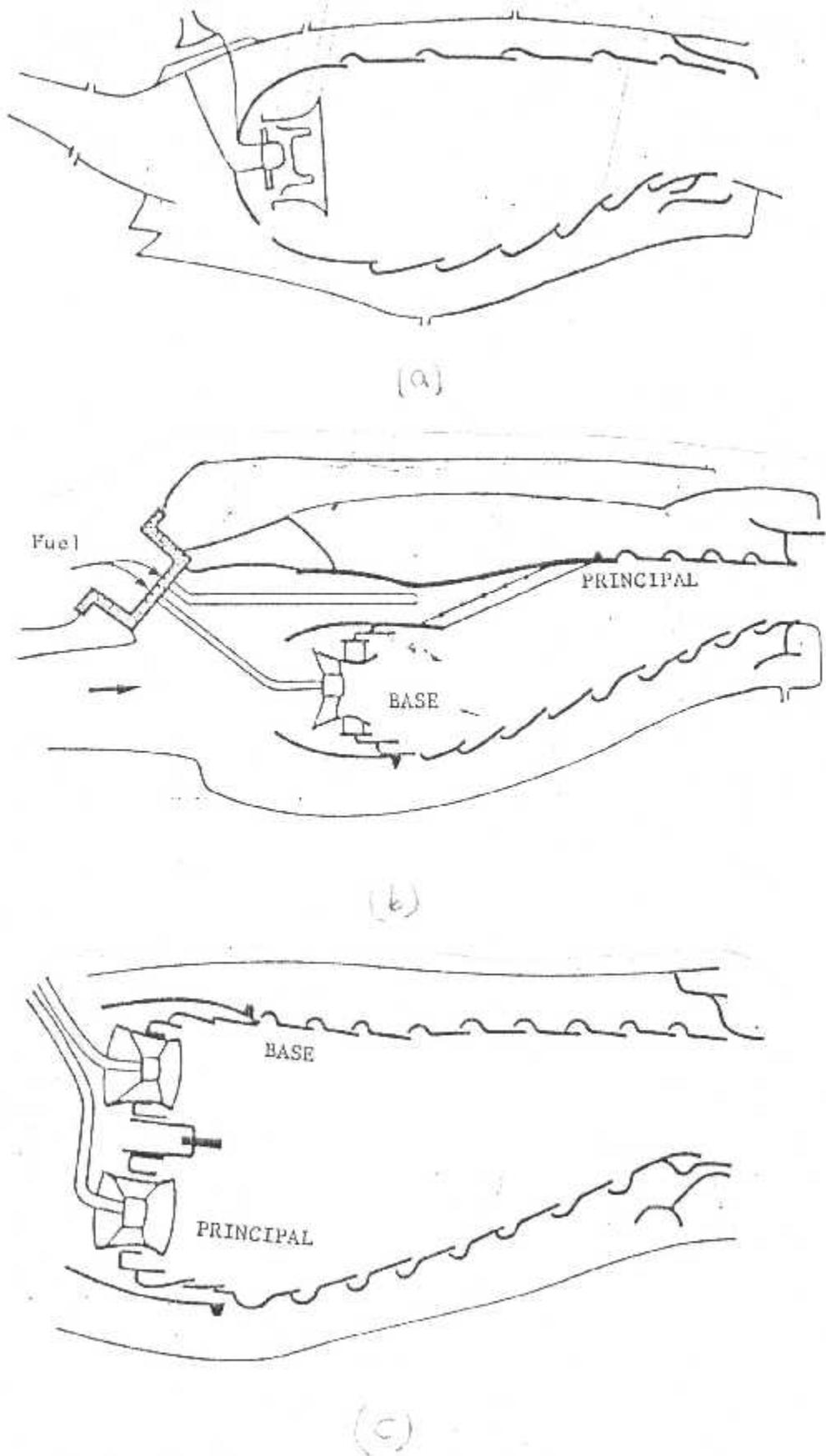


Figure (IV-9) : LES TYPES DES CHAMBRES DE COMBUSTION

La chambre radiale/axiale est basée sur une pré pulvérisation aérodynamique du débit principal, l'air passant par les aubages de turbulences de l'injecteur de base (débit carburant faible) étant relativement froid, vient refroidir les gaz chauds de la partie principale baissant leur température et retardant ainsi l'apparition du monoxyde d'azote. l'injecteur principale délivre le carburant sous forte pression.

Sur la double chambre annulaire, le principe est le même, les injecteurs sont installés dans les générateurs de tourbillons dont le débit d'air est contrôlé. Avec ces types de chambres, les essais ont donné les résultats suivants :

Conditions d'utilisation		CO	Imbrûlée	NO
Chambre classique	Ralenti	73	30	2.5
	Approche	4.3	-	10
	Montée	-	-	29.5
	Décollage	-	-	35.5
Double annulaire	Ralenti	19.3	2.2	3
	Approche	3.1	-	12.8
	Montée	-	-	13.3
	Décollage	-	-	16.9
	Croisière	8.8	0.17	8
Radiale/axiale	Ralenti	53.8	6.1	3.1
	Approche	1.3	0.2	9.2
	Montée	10.9	0.2	14.2
	Décollage	8.5	0.1	16.1
	Croisière	-	-	-

Les chiffres sont assez significatifs, entre la chambre classique et la chambre double annulaire, les valeurs manquantes n'ont pas été fournies. Ceux-ci représentent la teneur en PPM de carburant de diverses émissions. Sur la chambre double annulaire, et radiale/axiale en approche, seuls les débits de bases fonctionnent.

#### IV.10 COMPARAISON ENTRE LE SAC ET LE DAC :

On dit qu'une chambre de combustion est meilleure lorsqu'elle réduit les émissions des Nox ; pour atteindre cet objectif, des différentes méthodes ont été utilisées ; elles sont montrées dans le tableau suivant :

Méthode	Gain dans la réduction
<b>Amélioration de conception courante :</b> - optimisation de distribution d'air. - des chambres de combustion plus courtes.	10 à 20%
<b>Chambres de combustion par étapes:</b> - double annulaire radial. - double annulaire axial.	30 à 40%
<b>Conception réduction de Nox :</b> - conception pauvre/pauvre. - conception riche/pauvre.	Plus de 70%

On note que la chambre de combustion de conception double annulaire (DAC) a été choisie pour la réduction des émissions polluantes dans le moteur d'aujourd'hui. Cette réduction entre la chambre SAC et la DAC est représentée dans le tableau suivant :

Polluants	SAC	DAC	REDUCTION
HC	10.9 %	6.3 %	4.6 %
CO	17.5 %	12.5 %	5 %
Nox	50.3 %	34.1 %	16.2 %

On remarque que la conception DAC permet une réduction importante des polluants surtout dans les oxydes d'azote (Nox) où la réduction est en ordre de 16.2%.

On vue de la protection de l'environnement aux gaz toxiques, l'organisation internationale de l'aviation civile (OACI) impose toujours des lois et des limites que les moteurs des avions ne doit pas les dépassés, ces lois et ces limites peuvent être Changées dans certains cas suivant l'incidence de l'environnement.

Avec les dernières limites que l'OACI a conditionné, le fameux moteur CFM56-7B avec ses deux conceptions de la chambre de combustion : simple (SAC) et double (DAC) respecte toujours ces limites.

On remarque que la conception DAC est la meilleure par rapport a la SAC parce qu'elle est moins polluante, surtout au niveau de l'éjection des NOx comme le montre le schéma graphique suivant :

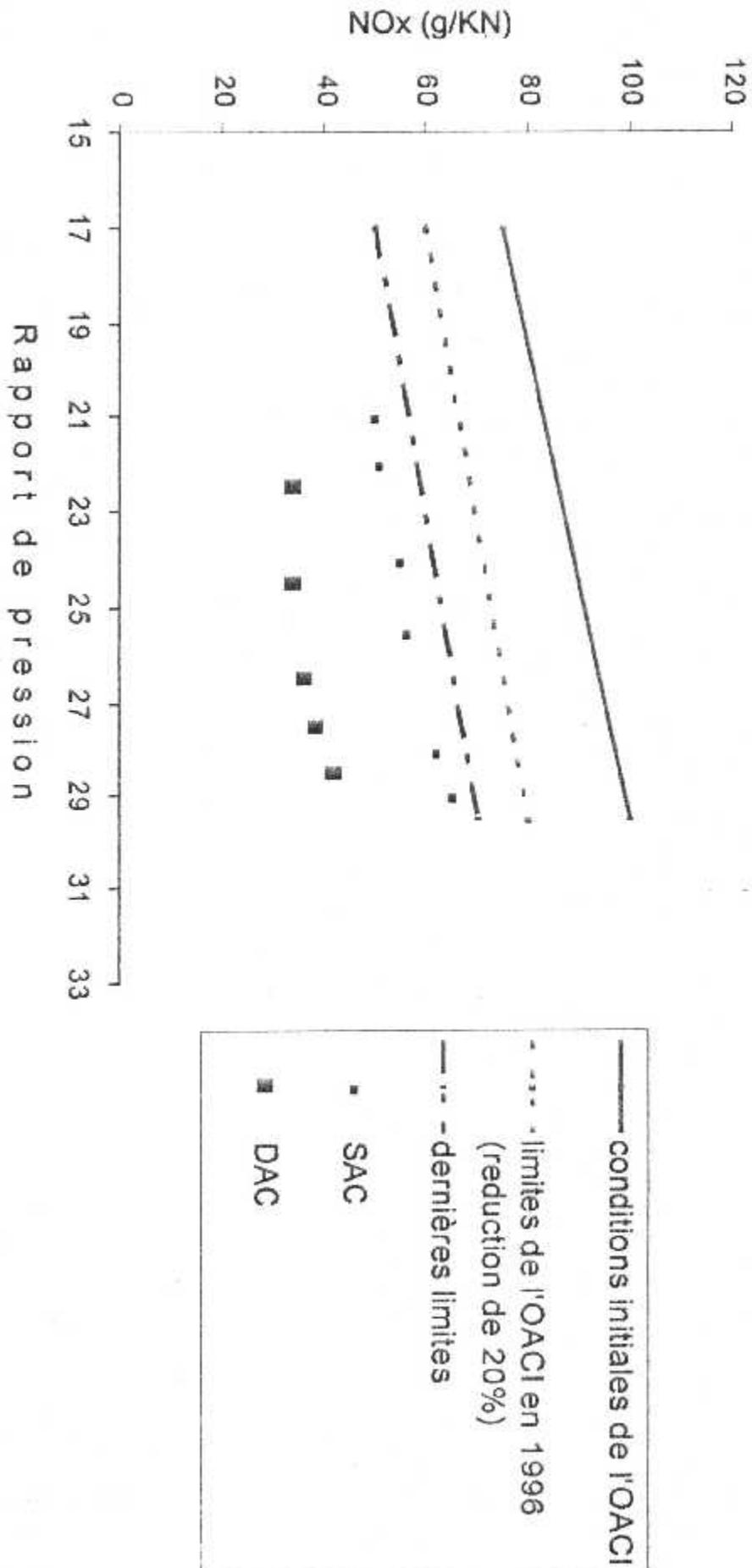


Figure (IV-10) : LES EMISSIONS NO<sub>x</sub> DU MOTEUR CFM56-7B

# CONCLUSION

## CONCLUSION

D'après cette étude on a trouvé que le moteur CFM56-7B DAC a plusieurs avantages que les autres, il donne une poussée importante malgré son poids et son diamètre (en qu'ils sont petites).

Ce moteur est un type économique, il contient trois régimes de combustion, cette dernière est assurée par vingt injecteurs doublés, logés dans une double chambre de combustion, les trois régimes sont choisis suivant la phase de fonctionnement moteur qui convient.

Ce moteur a un système de sécurité pour prévenir des dégâts sérieux sur notre moteur.

Ce moteur a un avantage aussi important qui est la diminution des gaz toxiques par rapport à un moteur version SAC.

Finalement nous espérons que le moteur CFM56-7B DAC sera utilisé dans notre pays.

## BIBLIOGRAPHIE

- Training manual.
- Les cd-rom :
  - Moteur CFM56-7B.
  - CBT boeing 737-800 of flight .
  - CBT boeing 737-800 of maintenance.
  - AMM du CFM56-7B
- Les cours de combustion de 2<sup>ème</sup> année aéronautique avec monsieur Bentrade .
- L'ouvrage « Technologie des turboréacteurs »  
Prédacteurs : LEHMANN et LEPOURKY  
EDITION 1989 ENAC - TOULOUSE.
- Component maintenance manual (HMM).
- Protection de l'environnement annexes 16 (OACI)  
Volume II : Emissions des moteurs d'aviation  
2<sup>ème</sup> édition - juillet 1993.

# SOMMAIRE

INTRODUCTION .....	1
<b>CHAPITRE I : L'HISTORIQUE ET LA DESCRIPTION DU MOTEUR CFM56-7B</b>	
<b>I.1 Historique .....</b>	<b>2</b>
I.1.1 SNECMA .....	2
I.1.2 GE AIRCRAFT ENGINES .....	2
I.1.3 L'histoire de coopération .....	3
<b>I.2 Description du moteur CFM56-7B .....</b>	<b>6</b>
I.2.1 Définition .....	6
I.2.2 Les applications du moteur .....	8
I.2.3 Poussées et diagrammes d'utilisation .....	8
I.2.4 Plaque de données moteur .....	9
I.2.5 Caractéristiques du moteur .....	9
I.2.6 Les modules du moteur .....	9
I.2.6.1 Le module FAN .....	11
I.2.6.1.1 la soufflante .....	11
I.2.6.1.2 Le compresseur basse pression (LPC).....	12
I.2.6.2 Le module CORE .....	13
I.2.6.3 Le module LPT .....	15
I.2.6.4 Le module des commandes des accessoires (GEARBOX) .....	16
I.2.7 Roulements du moteur et carters de vidange .....	18
I.2.8 Les brides du moteur .....	19
I.2.9 Les stations aérodynamiques .....	20
I.2.10 Le capotage du moteur .....	21
<b>CHAPITRE II : LE SYSTEME FADEC</b>	
II.1 Description du système FADEC .....	22
II.2 Fonction du système FADEC .....	23
II.2.1 contrôle du réacteur .....	23
II.2.2 protection .....	24
II.2.3 gestion de la poussée .....	24
II.2.4 équipement automatique du démarrage .....	24
II.2.5 séquence manuel du démarrage .....	24
II.2.6 commande de l'inversion de poussée .....	24
II.2.7 commande de la circulation carburant .....	24
II.2.8 transmission et surveillance des paramètres pour les indications au poste pilotage .....	25
II-3 avantages du système FADEC .....	26
II-4 unité de contrôle électronique EEC .....	27
II.4.1 le refroidissement de la EEC .....	27
II-5 Alimentation Electrique de la EEC .....	29

II-6 contrôle du Système d'allumage .....	29
II-7 interfaces principales .....	29
II.8 perte de canal d'un FADEC .....	31
II.9 quelques définitions des acronymes .....	31
II.9.1 TBV -la valve de decharge et de trantransition .....	31
II.9.2 HPTACC contrôle actif du jeu turbine haute pression .....	32
II.9.3 LPTACC contrôle actif du jeu turbine basse pression .....	32
II.9.4 HMU l'unité hydromécanique .....	32
II.9.5 VSV stator a calage variable .....	32
II.9.6 VBV vanes de décharge .....	32
II.9.7 BMV vanne des répartition injecteurs .....	32
II.9.8 FRV la valve de retour carburant .....	32

### CHAPITRE III : LE CIRCUIT CARBURANT DU MOTEUR CFM56-7B DAC

III.1 Introduction .....	33
III.2 définition .....	33
III.3 les réservoirs et leurs pompes .....	33
III.4 circuit du carburant .....	36
III.4.1 but du circuit .....	36
III.4.2 fonctionnement du circuit .....	36
III.5 description de chaque composant .....	37
III.5.1 l'ensemble de la pompe carburant .....	39
III.5.2 le radiateur d'huile d'IDG .....	40
III.5.3 l'échangeur de chaleur principale .....	41
III.5.4 le réchauffeur de carburant .....	41
III.5.5 L'unité hydromécanique (HMU) .....	42
III.5.6 Le débitmètre .....	49
III.5.7 le filtre des injecteurs .....	50
III.5.8 La valve de répartition des injecteurs (BMV) .....	51
III.5.9 les rampes des injecteurs .....	52
III.5.10 les injecteurs .....	52
III.6.fonctionnement du circuit de carburant du moteur CFM 56-7B version SAC .....	54
III.7.fonctionnement du circuit de carburant du moteur CFM56-7B version DAC .....	57
III.8 Les différentes régimes du moteur :.....	64
III.9 Contrôle du circuit carburant .....	68

### CHAPITRE IV : COMPARAISON ENTRE « SAC » ET « DAC »

IV.1 Introduction .....	69
IV.2 Description d'une chambre de combustion .....	69
IV.3 Fonctionnement d'une chambre de combustion .....	70
IV.3.1 Première phase .....	70

IV.3.2 Deuxième phase .....	70
IV.4 Les types de combustions .....	71
IV.4.1 La combustion neutre .....	71
IV.4.2 La combustion oxydante .....	72
IV.4.3 La combustion réductrice .....	72
IV.5 Les émissions polluantes dues à une combustion .....	72
IV.5.1 Les composés du carbone .....	73
IV.5.2 Les composés du soufre .....	73
IV.5.3 Les oxydes d'azote .....	73
IV.5.4 Les suies .....	73
IV.5.5 Les fumerons .....	73
IV.6 Caractéristiques des polluants pour un turbofan .....	73
IV.7 Distribution des polluants dans les différents phases de vol .....	74
IV.8 Réglementations des émissions pour un turbofan .....	78
IV.9 Amélioration des chambres de combustion réduction de la pollution .....	78
IV.9.1 Généralités .....	78
IV.9.2 Types de chambres de combustion .....	79
IV.10 comparaison entre le SAC et le DAC .....	81
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>82</b>