

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement supérieure et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté des sciences de l'ingénieur

Département d'aéronautique

## PROJET DE FIN D'ETUDES

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'ETUDE  
UNIVERSITAIRE APPLIQUE EN AERONAUTIQUE

OPTION : PROPULSION

### THEME

# RÉALISATION D'UNE MAQUETTE DE SYSTÈME DE CIRCUIT CARBURANT MOTEUR CFM56-5B

Réalise par :

- ROUCHAI Salim
- LADRAA Mohamed

Promoteur: Mr. ABADA

2008/2009

---

## RESUME

L'objectif de ce travail est :

- Elaborer une étude descriptive de système circuit carburant CFM56-5B.
- Réalisation d'une maquette explicative du fonctionnement ainsi que la démonstration des circuits de système.

Grace à ce travail, on peut identifier et voir clairement les différents circuits et éléments constituant le système carburant et comprendre son principe de fonctionnement.

## THE RESUME WORKS

The objective of this work is:

- Developed a descriptive study of fuel system of CFM56-5B.
- Create an explanatory model of this system with demonstration circuits and components of the latter.

Thanks to this work, we can identify and vain clearly different circuited and components of this system and also understand the works principle.

---

## Dédicace

*On dédie ce modeste travail :*

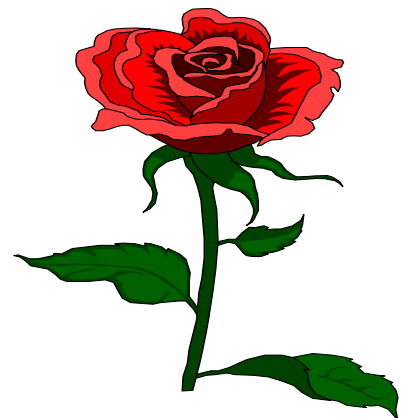
*À nos très chères parents et que dieu  
les protègent.*

*À nos très chères frères et sœurs.*

*À toute la grande famille.*

*À tous nos amis « Chafik, Zohair, Ali,  
Tarek, Redouane, Elhadi, Ahmed, Elyes,  
Azzedine, Mohamed, Farhat,  
Karim...etc. ».*

*À tous nos collègues.*



# Remerciement

Nous remercions notre dieu qui nous a donné la vie pour puissent arriver a ce moment la

Et nous tenons a témoigner notre remerciement a nos promoteur monsieur « ABAD A OMAR » pour son aides.

Que tous les enseignants qui ont contribué à notre formation. Tous nos amis et camarade de la promotion spéciale.

Nous remercions les membres de jury qui nous font l'honneur de siéger dans ce jury, nous les prions de bien vouloir trouver ici l'expression de nos salutations distinguées.

*MOHAMED et SALIM*

# SOMMAIRE

---

Résumé

Remerciements

Introduction

## CHAPITRE I : HISTORIQUE

I.1. L'HISTOIRE DE CFM56-5B .....	1
I.2. LES MOTEURS PRODUITS PAR CFMI .....	3
I.2.1. Le CFM56-2 .....	3
I.2.2. Le CFM56-3.....	4
I.2.3. Les CFM56-5A et CFM56-5B.....	4
I.2.4. Le CFM56-5C.....	5
I.2.5. Le CFM56-7B .....	5

## CHAPITRE II : DESCRIPTION DU MOTEUR CFM56-5B

II.1. DESCRIPTION GENERALE DU CFM56-5B.....	6
II.2. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES MOTEURS CFM56-5B.....	7
II.3. LES MODULES DU MOTEUR CFM56-5B .....	8
II.3.1. Module FAN.....	8
II.3.2. Le Module CORE.....	10
II.3.2.1. Compresseur Haute Pression (HPC) .....	10
II.3.2.2 : Chambre de Combustion .....	11
II.3.2.3. Turbine Haute pression (HPT) .....	12
II.3.3 Module (LPT).....	12
II.3.4 Module Gear box .....	13
II.3.4 .1. L'arbre d'entraînement horizontal .....	13
II.3.4 .2. Le carter de L'AGB.....	13
II.4. LES PALIERS ET LES ROULEMENTS DU MOTEUR .....	15
II.5. LES STATIONS AERODYNAMIQUES DU MOTEUR.....	16
II.6. LE CAPOTAGE .....	17

## CHAPITRE III : SYSTÈME FADEC

III.1. INTRODUCTION.....	18
III.2. L'AVANTAGE DE LA REGULATION NUMERIQUE.....	19
III.3. LA FONCTION DU FADEC.....	20
III.3.1. Réglage de la Pousser en Mode Manuel ou Automatique.....	20
III.3.2. La Transmission des paramètres moteurs pour affichage.....	20
III.3.3. Contrôle moteur.....	20
III.4. LES CAPTEURS MOTEURS.....	21
III.4.1. Les stations aérodynamiques.....	21
III.4.2. Les paramètres d'admission du moteur.....	22
III.4.3. Les capteurs de vitesse.....	23
III.4.4. Les sondes de pression.....	23

---

# SOMMAIRE

---

III.4.5. Les sondes de température.....	24
III.4.6. Les Sonde de type de thermocouple.....	25
III.4.7. La température d'huile du moteur (TLO).....	26
III.4. 8.La préparation des capteurs du moteur.....	26
III.5. L'UNITE DE CONTROLE ELECTRONIQUE (ECU).....	27
III.5.1. La structure de l'ECU.....	27
III.5.2. Refroidissement de l'ECU.....	28
III.5.3. Les Connecteurs Electriques de l'ECU.....	29
III.6. L'UNITÉ HYDROMECHANIQUE (HMU).....	31
III.6.1. Le système de régulation de servo pression.....	33
III.6.2. Les différents types du servo pression.....	34

## CHAPITRE IV : LES CIRCUITS MOTEUR

IV.1. LE CIRCUIT D'ALLUMAGE.....	36
IV. 2. LE CIRCUIT DE DEMARRAGE.....	36
IV.2.1. Démarrage normal (automatique).....	37
IV.2.2.Démarrage alternatif (manuel) .....	38
IV. 3.LE CIRCUIT DE GRAISSAGE.....	39
IV. 4.LE CIRCUIT D'ALIMENTATION .....	42
IV. 5. LE CIRCUIT DE RECUPERATION.....	43
IV. 6. LE CIRCUIT DE CARBURANT.....	46
IV.7. LE CIRCUIT D'AIR .....	49
IV.7.1. Le pompage.....	49
IV.7.2. Le système de control du jeu turbine.....	53
IV.8.LES INVERSEURS DE POUSSEES.....	55
IV.8.1. Description.....	56
IV.8.2.Opération .....	56

## CHAPITRE V : LE CIRCUIT CARBURANT

V.1. DESCRIPTION DES COMPOSANTS.....	59
V.1.1.Ensemble Pompe et filtre.....	59
V.1.2.Le Filtre de carburant.....	59
V.1.3.le Filtre de lavage .....	60
V.1.4.Réchauffeur de carburant.....	60
V.1.5.Le radiateur d'huile (IDG).....	61
V.2. LA VALVE DE SELECTION D'INJECTEURS (BSV).....	61
V.3.LE SYSTEME DE DOSAGE DE CARBURANT (FMV).....	64
V.3.1.Fonctionnement de la valve de dosage (FMV).....	65
V.3.2.Le system e regulation delta P et by-pass.....	66
V.4. SYSTEME DE REGULATION DE SURVITESSE.....	67
V.4.1.condition normal ( $N_2 < \text{overspeed}$ ).....	67
V.4.2.condition de survitesse ( $N_2 > \text{overspeed}$ ).....	67

## CHAPITRE VI : LA REALISATION

VI.1.INTRODUCTION .....	68
VI.2. LA CONCEPTION DE LA MAQUETTE .....	68
VI.3. LA CONCEPTION SUR CAO .....	69
VI.4. LES CARTES ELECTRONIQUES.....	71

---

## SOMMAIRE

---

VI. 4.1. La Précision de l'idée .....	71
VI .4.2. La Recherche .....	71
VI.4.3. Le Schéma .....	71
VI .4.4. Le Routage .....	71
VI.4.5. La Création de la carte.....	72
VI .4.6. l'impression .....	72
VI. 4.7. Le découpage de la carte.....	73
VI.4.8. L'insolation .....	73
VI.5.LAMPE UTILISE .....	74
VI. 6. LE MONTAGE .....	75
VI.6.1. Le perçage.....	75
VI.6.2. La soudure .....	76
VI.6.3. Tests de fonctionnement .....	77
VI.7. LA REALISATION DE LA MAQUETTE .....	78

Conclusion

---

## LISTE DES FIGURES

---

Figure (I.1) : moteur CFM56-2.....	3
Figure (I.2) : moteur CFM56-3.....	4
Figure (I.3) : Le CFM56-5A.....	4
Figure (I.4) : CFM56-5B.....	4
Figure (I.5) : CFM56-5C.....	5
Figure (I.6) :CFM56-7B.....	5
Figure (II.1) : Soufflante.....	9
Figure (II.2) : Le rotor de la compresseur haute pression (HP).....	10
Figure (II.3) : Chambre de Combustion.....	11
Figure (II.4) : La turbine haute pression (HPT).....	12
Figure (II.5) : GEAR BOX.....	14
Figure (II.6) : Les roulements du CFM56-5B.....	15
Figure (II.7) : Les stations aérodynamiques du moteur.....	16
Figure (II.8) : Les capots moteurs.....	17
Figure (III.1) : System FADEC.....	18
Figure(III.2) : Les stations aérodynamiques.....	21
Figure (III.3) : Refroidissement de l'ECU.....	28
Figure (III.4) : Les collecteurs électrique de l'ECU.....	29
Figure (III.5) :L'HMU.....	32
Figure (III.6) : Les servos pression de l'unité hydromécanique (HMU).....	32
Figure (III.7) : Les types du Servo pression.....	35
Figure (IV.1) : Procédure de démarrage automatique.....	37
Figure (IV.2) : procédure de démarrage.....	38
Figure (IV.3) : Le réservoir d'huile.....	40
Figure(IV.4) : L'unité de lubrification.....	42
Figure (IV.5) : Détecteur de l'émaille (chip detector).....	44
Figure (IV.6) : L'échangeur de chaleur l'huile / carburant.....	45
Figure (IV.7) : Circuit de carburant.....	48
Figure (IV.8) : Le pompage.....	49
Figure (IV.9) : Le fonctionnement de la VSV.....	50
Figure (IV.10) : La position fermée de la valve VSV.....	51
Figure (IV.11) : La position ouverte de la valve VSV.....	52
Figure (IV.12) : Contrôle actif du jeu turbine haute pression et basse pression.....	54
Figure (IV.13) : Le système d'inverseur de poussée.....	55
Figure(V.1) :L'écoulement de carburant et l'huile à l'intérieur de réchauffeur de carburant.....	60
Figure(V.2) : La location de BSV.....	62
Figure(V.3) : La position ouverte de la BSV.....	63
Figure(V.4) : La position fermée de la BSV.....	63
Figure(V.5) : Le système de dosage de carburant FMV.....	64
Figure(V.6) : Fonctionnement de la valve de dosage (FMV).....	65
Figure (V.7) : Le system e regulation delta P et by-pass.....	66
Figure (VI.1) : plaque en bois « isorel ».....	68
Figure (VI.2) : Les dimensions de la maquette.....	68
Figure (VI.3) : Photoshop.....	69
Figure (VI.4) : Photo filtre.....	70
Figure (VI.5) : La carte routée.....	72
Figure (VI.6) : La carte imprimée sur du papier calque.....	72
Figure(IV.7) : La carte électronique prête.....	73

---



## LISTE DES FIGURES

---

Figure (VI.8) : photo d'une LED rouge avec son support pour châssis.....	75
Figure (IV.9) : Montage et soudure des composants électriques.....	76
Figure (VI.10) carte mémoire raccordé aux câbles électrique.....	76
Figure (IV.11) :la maquette après le montage.....	77
Figure (VI.12) : Les cas .l'alimentation du carburant.....	78
Figure (VI.13) : 2eme cas le dosage du carburant.....	79
Figure(VI.14) : 3eme cas servomécanisme du carburant.....	79
Figure (V.15) : 4eme cas échangeur huile/carburant.....	80



## ABREVIATIONS

---

- ❖ ADIRU : centrale de référence inertielle de donnée aérienne.
  - ❖ AGB : la boîte de commande d'accessoire.
  - ❖ APU : l'unité de puissance auxiliaire.
  - ❖ A/C A/T : l'avion.
  - ❖ BITE : équipement d'essai incorporé-contrôle intégré.
  - ❖ BSV : la valve de sélection des injecteurs.
  - ❖ CCLD : canal de liaison des données de transmission.
  - ❖ CDS : système de visualisation commun.
  - ❖ CDU : boîte de commande d'affichage.
  - ❖ CFMI : CFM international.
  - ❖ CFDU : unité de visualisation centralisée de défaut.
  - ❖ CFDS : système de visualisation centralisé de défaut.
  - ❖ DAC : moteur à chambre de combustion annulaire double.
  - ❖ DOD : dégât causé par un phénomène naturel.
  - ❖ EEC : unité de contrôle électronique.
  - ❖ EGT : température des gaz d'échappement.
  - ❖ FADEC: system de régulation électronique numérique a plein autorité.
  - ❖ FMV : vanne de dosage de carburant.
  - ❖ FOD : dégât causé par des corps étrangers.
  - ❖ FRV : la valve de retour de carburant.
  - ❖ HMU : unité hydromécanique
  - ❖ HPC : compresseur haute pression.
  - ❖ HPT : turbine haute pression.
  - ❖ HPTACC : contrôle actif du jeu turbine haute pression.
  - ❖ HPTACCV : la valve de contrôle actif du jeu turbine haute pression.
  - ❖ IDG : générateur d'entraînement intégré.
  - ❖ LPC : compresseur basse pression.
  - ❖ LPT : turbine basse pression.
  - ❖ LPTACC : contrôle actif du jeu turbine basse pression.
  - ❖ LPTACCV : la valve de contrôle actif du jeu turbine basse pression.
-

## ABBREVIATIONS

---

- ❖ P0 : pression de l'aire statique
  - ❖ PS3 : pression de décharge du compresseur.
  - ❖ RDS : arbre d'entraînement radial.
  - ❖ RPM : nombre de tour par minute.
  - ❖ RVDT : transformateur différentiel variable radiale.
  - ❖ SNECMA : société d'étude et de construction de moteur avion.
  - ❖ TRS : inverseur de poussé.
  - ❖ VBV : vanne de décharge.
  - ❖ VSV: stator a calage variable.
  - ❖ ECU : dispositif de régulation numérique du moteur.
  - ❖ FMV : vanne de dosage carburant
  - ❖ OGV : aubages directeur de sortie.
  - ❖ IGB : boitier du dispositif d'admission.
-

# INTRODUCTION

---

Parmi les fournisseurs principaux des moteurs du transport dans le monde, il ya la famille

CFMI qui est résulte par la coopération entre général électrique (GE) de l'USA et SNIECMA de France. Cette famille aujourd'hui occupe une portion commerciale très importante dans le marché des moteurs de forte poussé et elle occupe la place N° 1 dans le monde des avions plus de 100 places.

Notre étude a porté sur la description d'un membre de cette famille qui est le CFM56-5B qui équipe les avions A321, A320 et A319. Et la réalisation d'une maquette de circuit de carburant de ce moteur. L'étude proposée a et réalisée en-six chapitres:

**Chapitre 1 :** ce chapitre concerne l'histoire et la chronologie du développement du moteur CFM

**Chapitre 2 :** dans ce chapitre on a fait une description générale du moteur CFM56-5B à savoir les différents modules, et composants

**Chapitre 3 :** ce chapitre traite le système de régulation numérique a plein autorité (FADEC)

**Chapitre 4 :** ce chapitre explique les différents circuits du moteurs CFM56-5B à savoir les circuits (carburants, graissage, démarrage, reverse, anti-pompage, pompage) et les fonctionnements des différents mécanismes hydromécanique à savoir (système de contrôle de jeu turbine), le système de survitesse et by basse... etc.)

**Chapitre 5 :** dans ce chapitre on a étudié les circuits de carburants et ces composants

**Chapitre 6 :** dans ce chapitre on passe à la réalisation de la maquette de circuit de carburant

Enfin on a terminé notre travail par une conclusion.

---

**I.1. L'HISTOIRE DE CFM56-5B :**

L'histoire débuta en juin 1971 avec la première rencontre entre General Electric et Snecma. Le CFM56 est né en 1971 grâce au génie, à la détermination et à l'amitié de deux hommes : le français, René Ravaut, et l'américain, Gerhard Neumann. Le programme a reçu des soutiens prestigieux en la personne des Présidents Pompidou et Nixon qui décidèrent fin 1973 de l'heureuse poursuite de la coopération entre la France et les États-Unis.

La route était désormais libre pour le développement d'un nouveau moteur moderne silencieux et consommant peu : le CFM56. Nos deux sociétés commencèrent alors à construire une magnifique entreprise technique industrielle, commerciale et humaine.

Quelles sont les clefs du succès de cette « joint venture » ? .La première est sans aucun doute de ne pas s'endormir sur des lauriers éphémères et de ne pas cesser de préparer le Futur.

Le premier moteur CFM56 fut essayé en juin 1974. La première commande, bienvenue parce que longtemps attendue, a été passée en mars 1979 grâce à la décision d'United Airlines de remotoriser ses DC8. La certification du CFM56-2 a été obtenue à la fin 1979. A la même époque, le 2 décembre a eu lieu le premier vol d'un 707 équipé de moteurs CFM56-2. Ceci constituait vraiment le couronnement d'un programme lancé par René Ravaut, Gerhard Neumann et le Président T. Wilson de la Société Boeing. Aujourd'hui, 526 avions sont équipés du CFM56-2.

En 1981, Boeing décide de lancer le nouveau 737-300 équipé du CFM56-3, moteur à plus faible diamètre de soufflante, couvrant la gamme de poussée de 18 000 à 23 500 lbs pour équiper les différentes versions d'avions 737 - 300 - 400 - 500.

Aujourd'hui 1 523 avions 737 / CFM56-3 sont en service.

En 1984, c'est Airbus qui utilise pour la première fois CFM avec un nouveau dérivé : le CFM56-5A1, un CFM56-2 très modernisé consommant 15 % de moins et équipé d'un FADEC.

Actuellement, 316 Airbus A320 sont en service équipés du CFM56-5A.

Pour l'Airbus A340, nous avons développé le CFM56-5C qui fut certifié en octobre 1991 à 31 500 lbs de poussée, et en octobre 1994, à 34 000 lbs pour motoriser l'avion A340 jusqu'à 275 tonnes. 56 Airbus A340 sont aujourd'hui opérationnels chez 14 clients.

L'A320 évoluant en A321 son moteur, le CFM56-5A donne naissance au CFM56-5B capable de 33 000 lbs de poussée. Ce moteur certifié en mai 1993 peut équiper les 3 avions de la famille Airbus A319, A320 et A321.

Le CFM56-7 devait naître de la nécessaire évolution de l'avion et du moteur 737/CFM56-3. Il est le résultat d'une étude commune entre Boeing et CFM, qui a conduit à la meilleure intégration du nouvel avion 737 et du nouveau moteur CFM56-7.

Le premier essai du moteur a eu lieu fin avril, la certification aura lieu en octobre 1996. 144 avions sont d'ores et déjà commandés en ferme.

CFM continue à élargir la famille et propose le CFM56 Lite de 16 à 20 000 lbs de poussée, excellent candidat, grâce à ses qualités éprouvées et à un coût de maintenance particulièrement faible, à la motorisation des nouveaux avions de 100 places.

L'amélioration continue des caractéristiques des différents modèles de la famille est le résultat d'une évolution technique qui a incorporé, à partir d'une architecture de base inchangée, à la fois les résultats en service et les nouvelles technologies développées par General Electric et par Snecma grâce à leurs programmes de recherche.

Ceci a permis d'offrir les augmentations de poussée demandées par les avionneurs en les accompagnants par une diminution de la consommation de carburant, du niveau de bruit et de pollution ainsi que du coût de maintenance.

Pour résumer les différentes étapes de cette évolution, on peut affirmer que la poussée a été augmentée de près de 50 %, la consommation de carburant réduite de 20 % et le coût de maintenance très fortement abaissé. Ces paramètres évoluent encore dans la famille CFM56.

Depuis la première application du CFM56-2 pour remotoriser les avions DC8 en avril 1982, nous avons livré à la fin mai 1995, sur un total de 10 000 moteurs commandés, 7 144 moteurs pour 21 applications, 190 clients répartis en 75 pays.

Sur les 10 dernières années, les ventes CFM représentent 37 % du marché total des moteurs des avions de plus de 100 places

La courbe de l'expérience en service CFM est impressionnante. Cette aventure commença en juin 1971 puis avec une exploitation commerciale en avril 1982 se concrétise par aujourd'hui 66 millions d'heures accumulées et dans un futur proche (1997) de 100 millions. Cette preuve des qualités des moteurs CFM reconnues par nos clients qui caractérisent le moteur CFM56 comme « the cheapest engine today in service ».

Mais il ne s'agit pas, je l'ai dit je crois en commençant, de rester en contemplation et d'admirer le caractère exponentiel d'une courbe : CFM International doit continuer à préparer le futur en élargissant la gamme aujourd'hui couverte par le moteur CFM56.

C'est pourquoi, General Electric et Snecma travaillent activement à la définition du moteur CFMXX dont la première application est la motorisation de la version future de l'avion A340 à plus de 300 tonnes de masse maxi au décollage.

La poussée requise est d'environ 20 tonnes, le corps haut pression est capable d'une gamme de poussée comprise entre 30 000 et 50 000 lbs. La technologie du core dérive à la fois de l'expérience du core du moteur GE90 et du core de démonstration PAT, développé par Snecma.

Ce core est constitué d'un compresseur haute pression à 10 étages entraîné par une turbine à 2 étages. Le corps bas pression comprend une soufflante à 84 pouces (2,134 mètres) de diamètre, un compresseur à 2 étages et une turbine à 5 étages.

Le CFMXX est conçu pour répondre aux besoins futurs du marché. Les objectifs de performance, de respect de l'environnement, de coût de possession sont particulièrement ambitieux.

Fidèle à l'histoire de l'évolution du CFM56, les nouvelles technologies seront appliquées à la définition du moteur CFMXX après la nécessaire double démonstration technique et économique.

Lorsque le besoin aura été précisé, permettant l'établissement avec l'avionneur des spécifications détaillées, CFM International est prêt à proposer le CFMXX au tout début des années 2 000. Ce sera un nouveau départ pour un nouveau moteur qui élargira la famille CFM56 et renforcera encore la coopération entre General Electric et Snecma.

## **I.2.LES MOTEURS PRODUITS PAR CFMI :**

A travers CFM International, filiale à parité avec l'américain General Electric, Snecma est présent sur la majeure partie du marché civil. Les moteurs CFM56, considérés comme les plus fiables de leur génération avec un taux de disponibilité proche de 100 %, sont les moteurs civils les plus vendus au monde. Ils touchent une grande partie du marché des avions de plus de 100 places et offrent une poussée qui s'étend de 18 500 à 34 000 lb. Propulsant de nombreuses versions d'Airbus et de Boeing, ils affichent une réussite commerciale exceptionnelle.

Depuis sa création il y a près de 30 ans, CFM International travaille au développement constant de ses moteurs en leur apportant sans cesse les avancées technologiques les plus récentes. La prise en compte des nouvelles exigences du marché, telles que l'environnement (bruit et émissions), est également un facteur important de sa réussite et de sa reconnaissance.

La famille CFM56 offre la plus large gamme de moteurs au monde, dans le domaine civil ou militaire :

### **I.2.1. Le CFM56-2 :**

Motorise des avions militaires : les ravitailleurs Boeing KC-135, C135-FR et KE-3, les avions de surveillance électronique Boeing E3 Awacs, E6 et RC-135R, ainsi que les avions DC-8 Super 70 re-motorisés en version cargo ou transport.



**Figure (I.1) : moteur CFM56-2**

**I.2.2. Le CFM56-3 :**

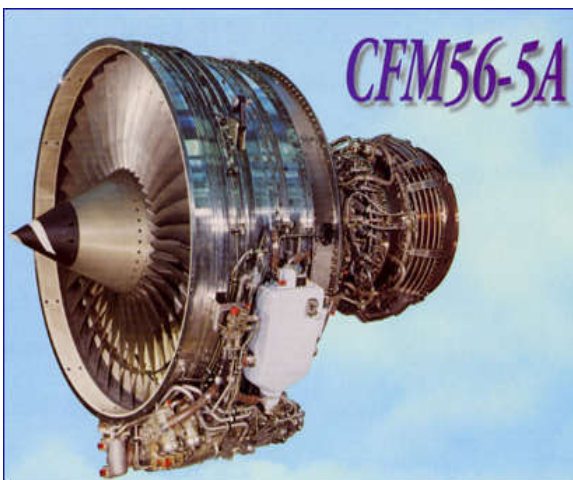
A été choisi en source unique pour équiper les Boeing 737. Sa remarquable fiabilité a permis à la famille CFM56 de s'implanter mondialement sur le marché des avions à couloir unique de 100 à 200 places.



**Figure (I.2) : moteur CFM56-3**

**I.2.3. Les CFM56-5A et CFM56-5B :**

Motorisent plus de 60 % des avions de la famille A320. Le CFM56-5B est proposé depuis 1995 avec une chambre de combustion à double tête (Dual Annular Combustor) qui réduit de 40% la production d'oxydes d'azote (NOx), contribuant au respect de l'environnement



**Figure (I.3) : Le CFM56-5A**



**Figure (I.4) : CFM56-5B**



**I.2.4. Le CFM56-5C :**

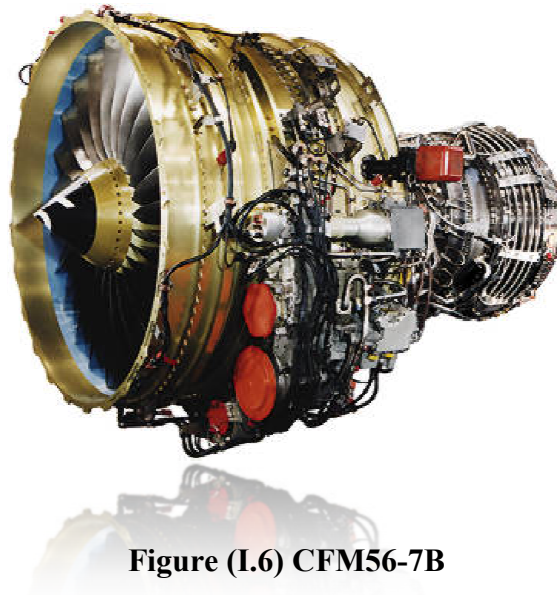
Équipe les quadriréacteurs long-courriers de la famille Airbus A340. C'est le moteur le plus puissant de la gamme, et également l'un des plus silencieux de sa catégorie.



**Figure (I.5) : CFM56-5C**

**I.2.5. Le CFM56-7B :**

Équipe la nouvelle famille d'avions court et moyen-courrier Boeing 737 « Next Génération » ainsi que le Boeing Business Jet.



**Figure (I.6) CFM56-7B**

## II.1.DESCRPTION GENERALE DU CFM56-5B :

Le CFM56-5B est un moteur double flux, double corps, turbo fan a écoulement axial.et le seul moteur à équiper la totalité de la gamme des Airbus A318, A319, A320 et A321. Il fut le pionnier de la technologie à faible émission de NOx pour les avions mono couloir. Plus de 1 400 moteurs sont en service et ont dépassé les 15 millions d'heures de vol.

Ce moteur est capable de fournir différentes poussées dont la sélection s'effectue au moyen d'une simple prise sur le calculateur de régulation moteur.

Offrant des poussées au décollage compris entre 98 et 142,50 KN, certifié simultanément par la Fédéral Aviation Administration (FAA) et la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) en 1993, le CFM56-5B est le seul moteur à équiper toutes les versions de la famille Airbus A320. Entré en service en 1994, il enregistre un taux de fiabilité exceptionnel se traduisant par de faibles coûts d'exploitation.

Conçu pour minimiser le coût global de possession de la famille A320, le CFM56-5B associe l'architecture éprouvée du CFM56 aux avancées technologiques les plus récentes telle la conception aérodynamique tridimensionnelle des aubes de compresseur et de turbines haute et basse pression, afin d'accroître le rendement global.

S'appuyant sur l'architecture de la famille CFM56, le CFM56-5B offre un taux élevé de disponibilité et a été très rapidement certifié ETOPS 120\*.

Associé a une dynamique des fluides informatisée, cette aérotechnique tridimensionnelle qui se caractérise également par la mise en œuvre d'aubes fixes et d'aubes mobiles mono cristallines de deuxième génération dans la turbine haute pression, contribue a réduire dans ces proportions importantes les températures de cycle du moteur. En conséquence, cette technologie améliore la consommation spécifique du moteur 3% ainsi que les plages de température de sortie des gaz, cc qui offre aux compagnies une plus longue d'urée d'utilisation du moteur installe, aussi bien en première monte qu'après visite en atelier

Depuis 1995, pour satisfaire aux exigences environnementales, CFM International propose aux compagnies aériennes une chambre de combustion à double tête, réduisant jusqu'à 40 % les émissions d'oxydes d'azote (NOx) par rapport aux chambres de combustion classiques.

Avec un nombre réduit de pièces à durée de vie limitée et un excellent taux de disponibilité, le CFM56-5B présente de faibles coûts de maintenance en ligne et en atelier.

Enfin, a l'inverse de ses concurrents dont les efforts de conception ont été concentrés uniquement sur les économies de carburant aux dépens d'autres coûts d'exploitation, le CFM56-5B utilise moins de pièces a durée de vie limitée, dont la longévité a en outre été augmentée, et garantit ainsi à la compagnie un coût réduit. Cela se traduit par une économie moyenne de plus de 3 millions USD par avion, sur une période de 18 ans

**II.2.CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES MOTEURS CFM56-5B :**

Le moteur CFM-5B est la suite du programme technique apporté à ce moteur dans le but d'améliorer sa capacité de fournir des différentes poussées ; améliorer la consommation spécifique du moteur ; ainsi que les plages de température des gazes de sorties. Le tableau suivant représente l'amélioration des différentes caractéristiques du moteur CFM56-5B :

<i>Version de Moteur</i>							
<i>Caractéristiques</i>	<i>5B1</i>	<i>5B2</i>	<i>5B3</i>	<i>5B4</i>	<i>5B5</i>	<i>5B6</i>	<i>5B7</i>
<i>Poussée Max au Décollage (KN)</i>	133.50	138.00	142.50	120.30	98.00	104.50	120.30
<i>Taux de Dilution</i>	5.5	5.5	5.4	5.7	6.0	5.9	5.7
<i>T° à Poussée Nominale Maintenu (C°)</i>	30	30	30	44	45	45	44
<i>Poussée Max en Montée (KN)</i>	28.50	28.50	28.50	25	25	25	28.50
<i>Taux de Compression général</i>	34.4	34.4	34.4	32.6	32.6	34.6	34.4
<i>Longueur (mm)</i>	2601	2601	2601	2601	2601	2601	2601
<i>Diamètre de soufflante (mm)</i>	1735	1735	1735	1735	1735	1735	1735
<i>Application</i>	A321	A321	A321	A320	A319	A319	A319

Tableaux (II.1) : Les caractéristiques des moteurs CFM

### II.3.LES MODULES DU MOTEUR CFM56-5B :

Le moteurs CFM56-5B est un moteur de construction modulaire. Il se compose de quatre (04) modules, chaque module peut être démonté seul, ce qui facilite la maintenance du moteur et de minimiser le cout d'entretien. Les modules de CFM56-5B sont de conceptions identiques qui sont les suivants:

- Module fan:
  - La soufflante
  - Compresseur BP (LPC)
  
- Module core:
  - Compresseur HP (HPC)
  - Chambre de combustion
  - Turbine HP(HPT)
  
- Module LPT:
  - Turbine BP (LPT)
  
- Commande des accessoires.

La soufflante, l'attelage basse pression en l'occurrence, compresseur et turbine basse pression et l'attelage haute pression, c'est à dire compresseur haute pression, chambre de combustion et turbine haute pression sont de conception identique pour les deux moteurs c'est à dire le CFM56-5B et CFM56-7B, Par cotre le module GEAR BOX est différent.

La soufflante, la compresseur basse pression et la turbine basse pression sont montes sur l'arbre N1. La compresseur haute pression et la turbine haute pression sont montes sur l'arbre N2.

#### II.3.1. Module FAN :

##### La Soufflante et Compresseur Basse Pression :

La soufflante du moteur CFM56-5B est composée de 36 ailettes par contre dans le CFM56-7B est composée de 24 ailettes. Elle possède un seul étage, elle augmente la vitesse de Lair.

Le flux primaire est dirige dans le réacteur. Le compresseur basse pression augmente la pression du flux primaire et l'envoi à la compresseur haute pression.

Le flux secondaire est dirige dans le canal de la soufflante. li génère approximativement de 80% de poussée durant le décollage. Le compresseur basse pression a trois (03) étages, il est entraîné également par la turbine basse pression (LPT).

La soufflante et le compresseur basse pression forment un compresseur de quatre (04) étages

La soufflante accélère la vitesse de l'air, un carénage du splitter divise l'air en deux parties (flux)

- L'air primaire
- L'air secondaire.

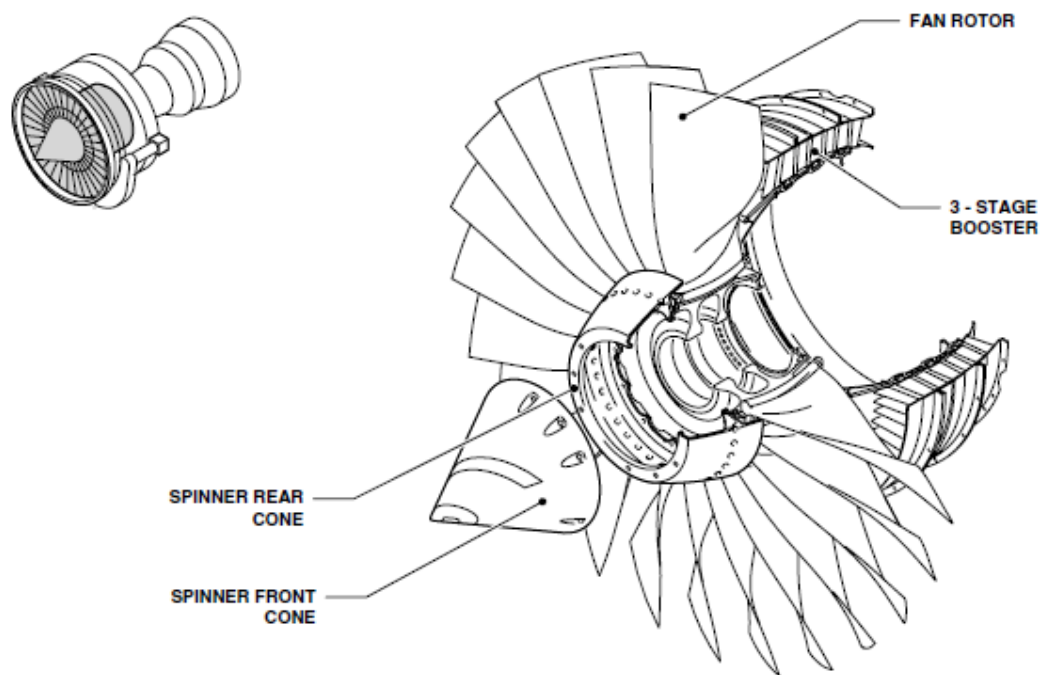


Figure (II.1) : Soufflante

## II.3.2. Le Module CORE :

### II.3.2.1. Compresseur Haute Pression (HPC) :

C'est un compresseur axial constitué de neuf(09) étages, il est entraîné par l'étage de la turbine haute pression. Il augmente la pression de l'air provenant du compresseur basse pression et l'envoie vers la chambre de combustion.

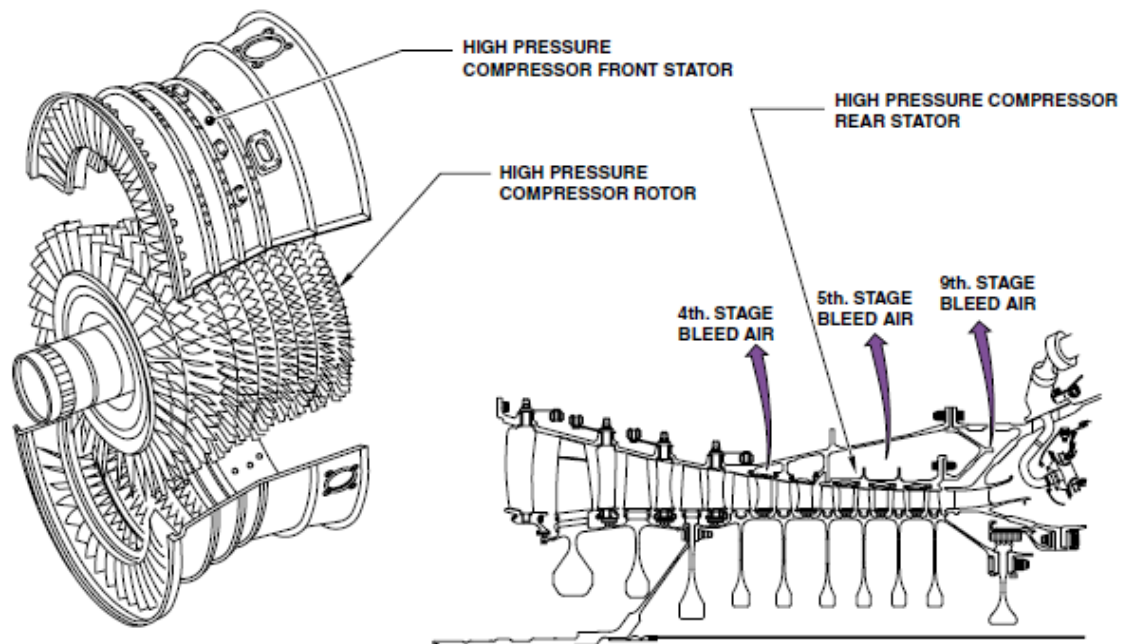


Figure (II.2) : Le rotor de la compresseur haute pression (HP)

**II.3.2.2 : Chambre de Combustion :**

La chambre de combustion est de type annulaire comporte 20 injecteurs et deux (02) bougies d'allumage. A ce niveau l'air provenant de la compresseur haute pression est admis avec du carburant pulvérisé des injecteurs. Ce mélange fut bruler et génère des gaz chauds qui se dirige vers la turbine haute pression (HPT).

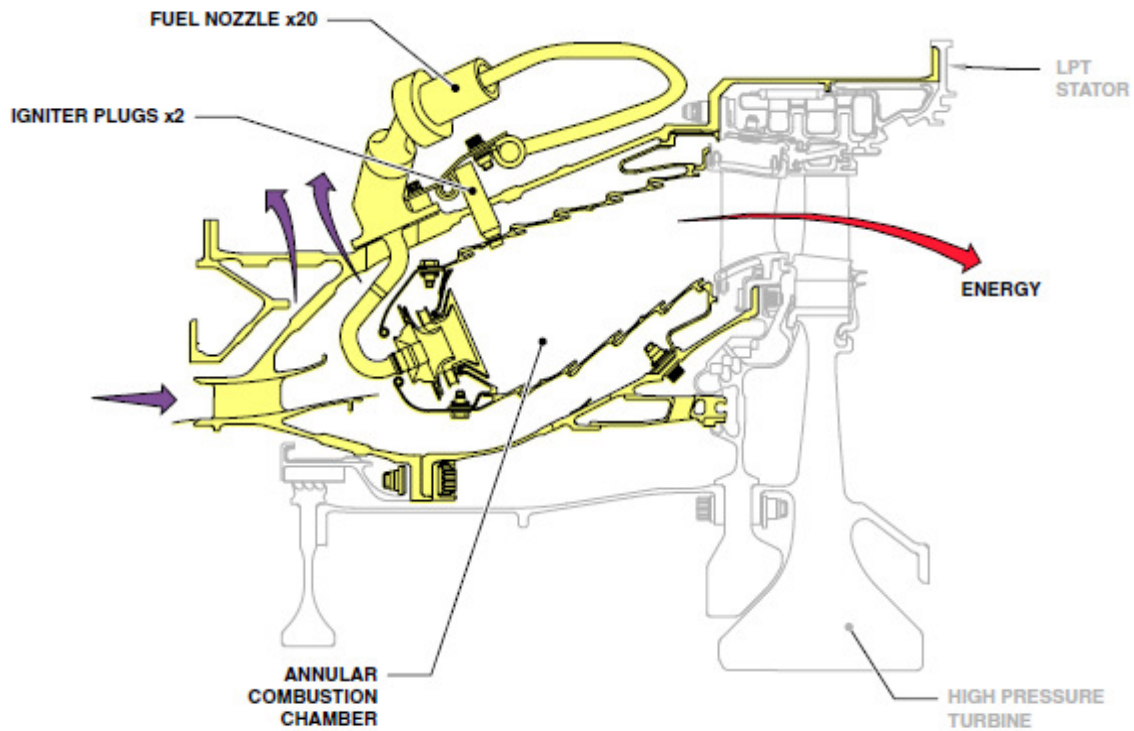


Figure (II.3) : Chambre de Combustion

### II.3.2.3. Turbine Haute pression (HPT) :

C'est un module à un seul étage, elle effectue la transformation de l'énergie des gaz chauds à l'énergie mécanique pour entraîner le compresseur haute pression (HPC) et la commande des accessoires. La turbine haute pression est refroidie par l'air de l'ensemble compresseur et turbine haute pression (HPT-HPC) appelé « attelage HP (N2), cet attelage tourne dans le sens horaire.

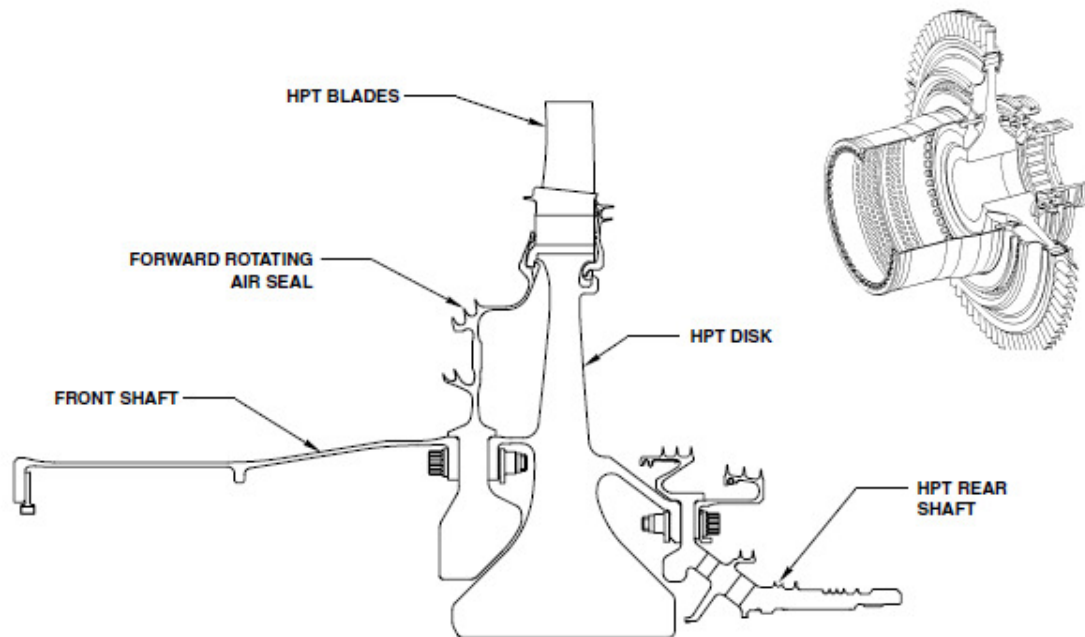


Figure (II.4) : La turbine haute pression (HPT)

### II.3.3 Module (LPT) :

La turbine basse pression se compose de quatre (04) étages. Elle transforme l'énergie des gaz chauds en énergie mécanique qui sert pour entraîner la soufflante et le compresseur basse pression (LPC). L'ensemble compresseur basse pression et la turbine basse pression (LPC-LPT) est appelé « attelage BP (N1), cet attelage tourne dans le sens horaire, l'aube fixe de distributeur de premier étage a refroidi et fournit l'air de refroidissement pour les disques du turbine haute pression et basse pression, la turbine basse pression (LPT) entraîne le rotor de la soufflante par l'arbre concentrique intérieur et est aérodynamiquement couplé au système à haute pression.



### II.3.4 Module Gear box :

Le boîtier à accessoires est monté à 6.00 en bas du carter de la soufflante. Elle se compose d'un d'engrenages qui réduit et augmente le rapport de vitesse pour reprendre

Aux exigences spécifiques d'entraînement de chaque accessoire. La plupart des accessoires sont montés sur l'AGB est composée des éléments principaux suivants :

#### II.3.4 .1. L'arbre d'entraînement horizontal :

L'ensemble de l'arbre horizontal d'entraînement joue le rôle d'un transmetteur de mouvement entre l'AGB et la TGB, il est inclus le carter de couplage AGB-TGB et l'arbre horizontal d'entraînement. Il est fabriqué à partir d'acier allié. Il est cannelé aux deux extrémités et entraîne l'AGB par les dents d'une de ces cannelures.

L'arbre d'entraînement horizontal est maintenu dans le conduit d'entraînement de l'AGB et embrayé par un écrou à créneaux dans l'arbre du pignon.

#### II.3.4 .2. Le carter de L'AGB :

Le carter de l'AGB est fabriqué en aluminium. Il est monté en bas de la soufflante par deux bâtis de chape avec des douilles épaulées. Il possède des supports de fixation pour les accessoires et les équipements suivants :

- Unité de lubrification
- La pompe hydraulique
- Levier d'entraînement
- Alternateur à entraînement intégré IDG
- Alternateur de l'alimentation du FADEC

La partie arrière du carter de l'AGB est connectée à l'arbre d'entraînement horizontal et elle supporte les accessoires suivants:

- La pompe du carburant/Boîtier de la HMU
- Démarreur
- Capteur de vitesse de l'arbre N°2

Le capteur de vitesse de l'arbre N°2 est installé sur l'AGB, le réglage d'espace d'air est obtenu par les cales laminées et boulonnées de carlingue. Le signal électrique est utilisé par le FADEC et l'indicateur N°2 du cockpit.

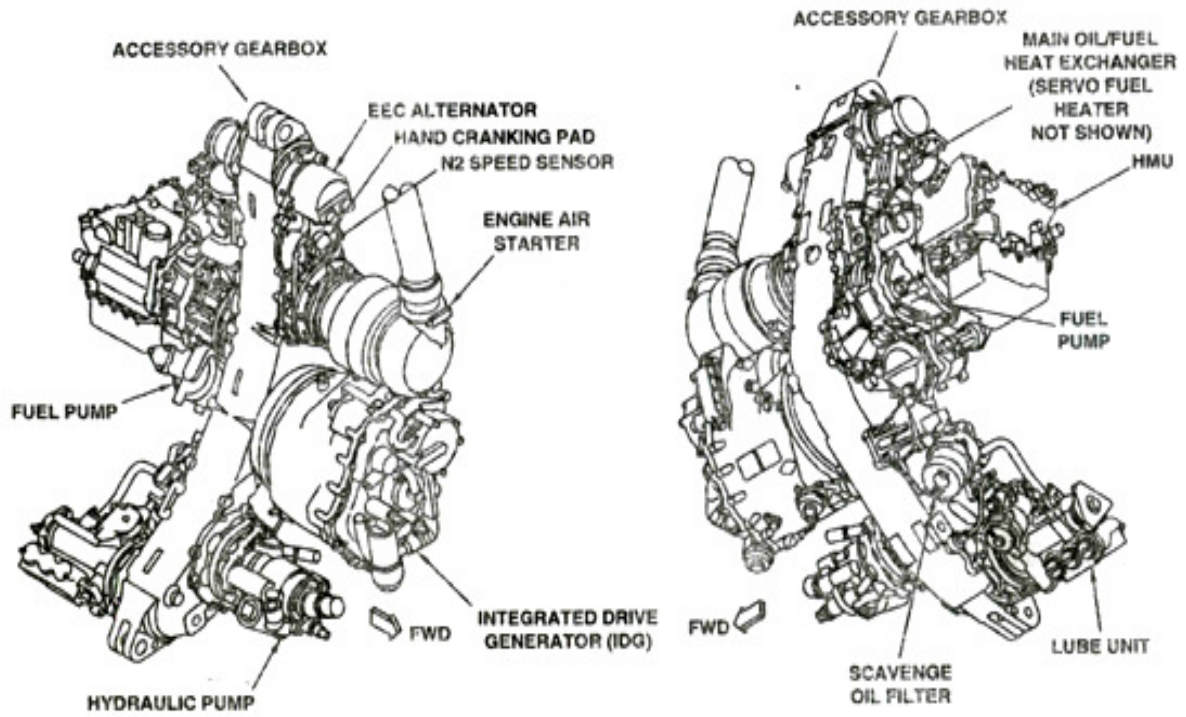


Figure (II .5): GEAR BOX

## II.4. LES PALIERS ET LES ROULEMENTS DU MOTEUR :

Il y a deux (02) paliers pour le moteur :

- Palier avant.
- Palier arrière.

Cinq (05) roulements principaux (deux(02) a bille et trois(03) a galets) sont contenus dans le palier avant (roulement 1B, 2R, 3B, et 3R) et palier arrière (roulement 4R et 5R) Cinq (05) roulements moteurs principaux supportent les arbres N1 et N2. Les roulements sont identifiés par les numéros allant de 1 à 5.

Les roulements a billes absorbent les charges axiales et radiales de l'arbre.les roulements a galets absorbent seulement les charges radiales.

- Roulement à billes N°1 et roulement a galet N°2 supportent l'arbre fan.
- Roulement a billes N°3 et roulement a galet N°3 supportent l'arbre HPC dans l'extrémité avant et est localisé dans l'IGB.
- Roulement à galet N°4 supporte l'arrière de l'arbre rotor HPT et roulement a galets N05 supporte l'arrière de l'arbre LPT.

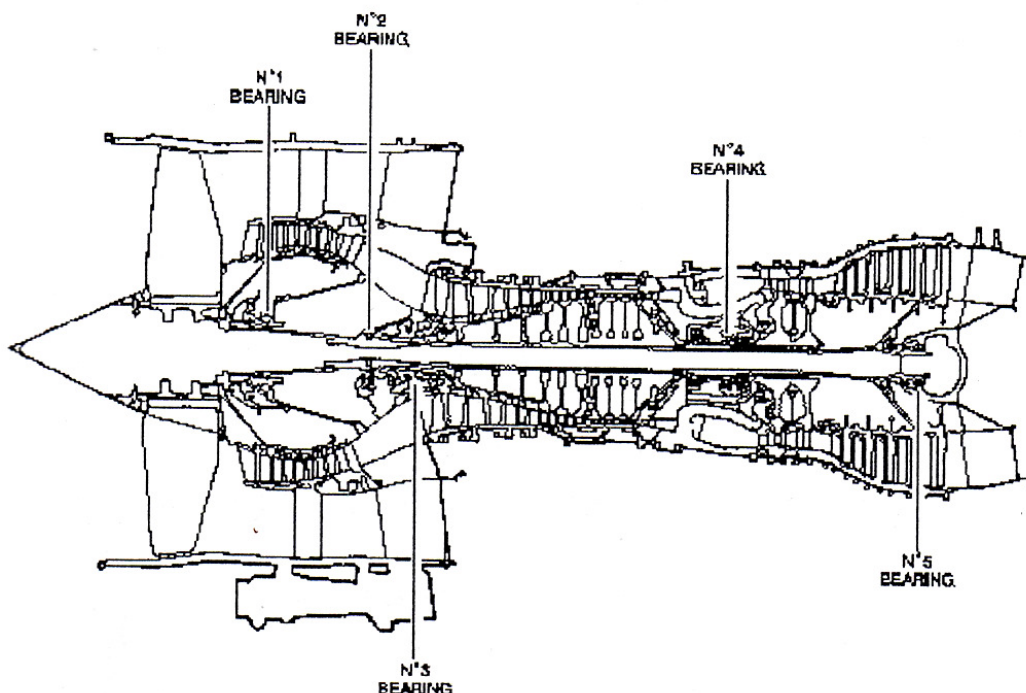


Figure (II.6) : Les roulements du CFM56-5B

## II.5. LES STATIONS AERODYNAMIQUES DU MOTEUR :

Il existe des capteurs et des sondes aux sept (07) stations adynamiques

- Station 0 : air ambiant.
- Station 12: entrée d'air.
- Station 25 : température d'entrée HPC.
- Station 30 : décharge HPC (pression sortie HPC)
- Station 49.5 : deuxième étage de la LPT

Si le moteur est équipé du kit surveillance d'état optionnel, plus de sonde sont a ces stations.

- Station 13 : décharge fan.
- Station 25 : entrée HPC.
- Station 50 : décharge LPT

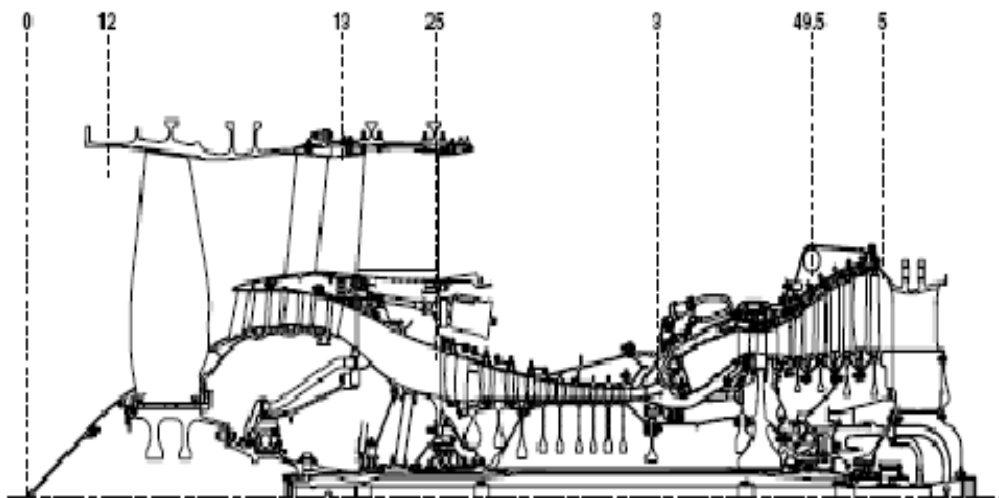


Figure (II.7) : Les stations aérodynamiques du moteur

## II.6. LE CAPOTAGE :

Le capotage du moteur CFM56-5B comprend :

- 1) Capot d'entrée d'air
- 2) Les deux demi-capots de la soufflante (gauche et droite), articulés au mat par pour permettre une fois relevées et maintenue ouvert par des bielles, un accès aisé au moteur pour les opérations de maintenance (notamment pour la dépose/pose du moteur). Ces deux demi-capots sont attachés en bas par des verrous on dehors des opérations ci-dessous:
- 3) Les demi-capots de poussée soufflante (directe et inverse), comme les capots de soufflante, ils peuvent être relèves et maintenus ouverts pour la maintenance.
- 4) Les capots forment la tuyère primaire

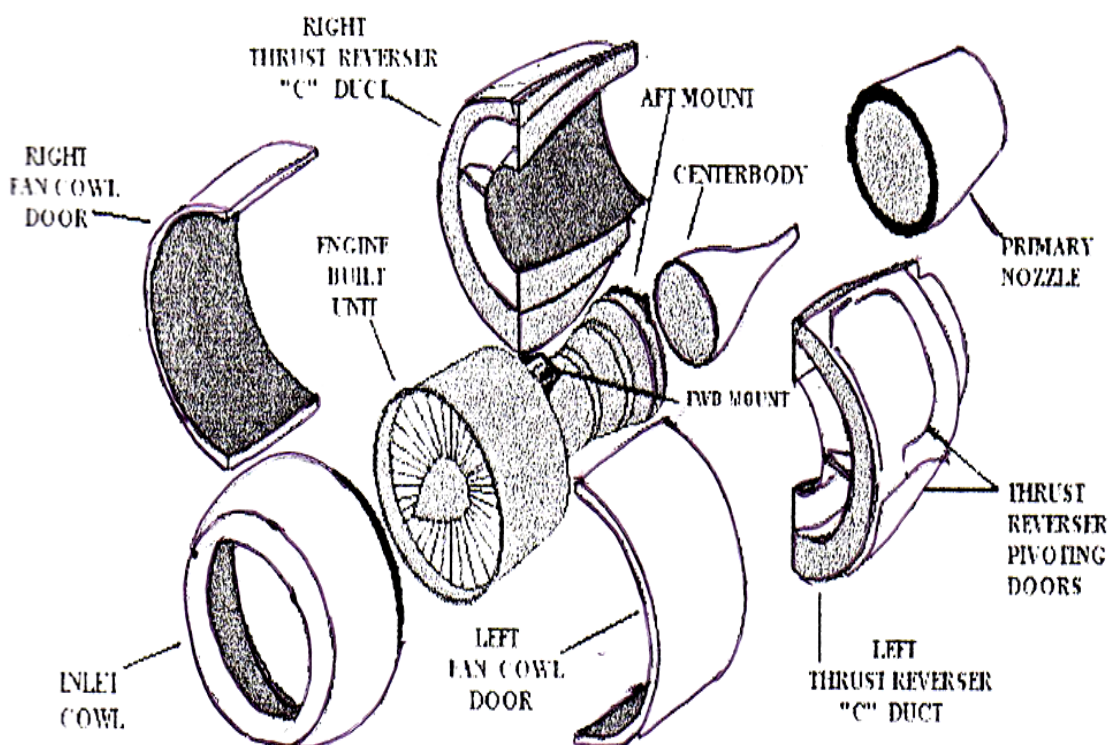


Figure (II.8) : Les capots moteurs

### III.1. INTRODUCTION:

Le FADEC (Full Authority Digital Engine Control) est un système électro numérique à microprocesseur pour contrôler la gestion du turboréacteur ainsi qu'un appareil de sécurité pour prévenir des pannes sérieuses sur le moteur. Il calcule la quantité de carburant à injecter au moteur en fonction de position de la manette des gaz (TLA) et de la température des gaz d'échappement (EGT) et de la pression du compresseur.

Il est composé d'un calculateur de contrôle moteur (Electronic Contrôle Unit-ECU ou EEC) et de ses périphériques: unité hydromécanique(HMU), capteurs (pressions, température, vitesse de rotation), actionneurs (moteurs, servo -valves, pompes) et système d'inversion de poussée...

Il y a un FADEC par moteur et ses éléments critiques (capteurs, unité de traitement connecteur et servocommandes) sont doublés. Les données destinées aux systèmes avion sont émises sur 4 voies (bus)

Chaque chaîne de commande des moteurs est indépendante des autres alors que l'interface entre le FADEC et les autres systèmes de l'avion est redondant (plusieurs voies).

Le FADEC a la capacité de vérifier la validité des données reçues de ses systèmes. Il peut fonctionner en ignorant ces données à partir de la position de la manette des gaz (mode manuel ou mode automatique).

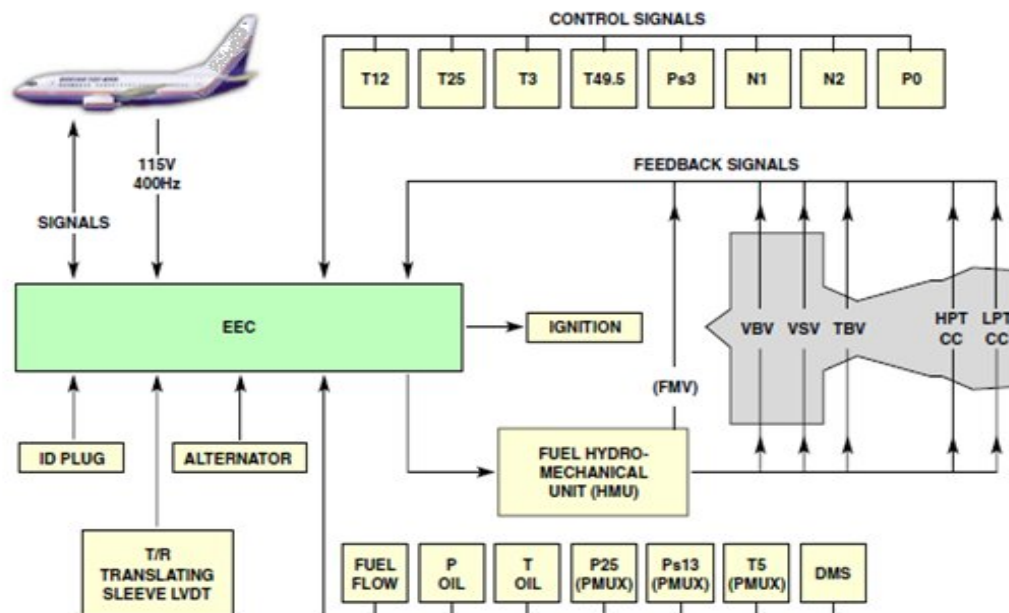


Figure (III.1): System FADEC

### **III.2. L' AVANTAGE DE LA REGULATION NUMERIQUE:**

#### **➤ Réduction de la charge de travail de l'équipage :**

Le FADEC contrôle de façon automatique le fonctionnement du moteur dans toutes les phases du vol et donc décharge l'équipage de cette tâche critique et complexe. Son introduction est l'un des facteurs qui a favorisé sur certains avions. L'action du pilote se résume à afficher la poussée à l'aide de la manette des gaz ou le mode de conduite automatique des moteurs ou pilote automatique (auto manette). Il gère les procédures compliquées de démarrage, d'extinction des moteurs, d'inversion de poussée à l'atterrissage et toutes sortes de limitation au fonctionnement normal des moteurs.

#### **➤ Utilisation optimale du moteur :**

Dans toutes les phases du vol et réduction de l'usure des moteurs.

#### **➤ Simplification de la maintenance :**

Les anomalies de fonctionnement sont détectées par le FADEC et transmises au calculateur de maintenance centralisé (MCDU et CDU) qui sera interrogé lors des opérations de maintenance au sol. Ainsi il permet de prévenir l'apparition de certaines pannes de la disponibilité opérationnelle des moteurs augmente.

#### **➤ Simplification des systèmes :**

Par suppression des liaisons mécaniques et d'éléments mécaniques complexes susceptibles de vieillir. Il en résulte aussi un gain de poids non négligeable.

### **III.3.LA FONCTION DU FADEC:**

#### **III.3.1.Réglage de la Pousser en Mode Manuel ou Automatique:**

Six mondes limite de poussée (Thrust ratings) peuvent être sélectionnés à la manette des gaz :

- a) MTO/GA: poussée maximale au décollage et remise des gaz.
- b) FLX-T/O: poussée réduite au décollage
- c) IDLE: le FADEC détermine un débit de carburant minimal suffisant pour assurer toutes les servitudes de bord (pressurisation, antigivrage,...)
- d) MCT: poussée maximale en continu.
- e) MCL: poussée maximale en montée.
- f) REVERSE: gestion de la poussée au freinage au sol avec contrôle des panneaux d'inversion de poussée.

#### **III.3-2.La Transmission des paramètres moteurs pour affichage:**

Les paramètres principaux primaires moteur, l'état du système de démarrage, l'état du système d'inversion et du FADEC sont affichés sur l'un des écrans ECAM (Electronic Centralized Aircraft Monitoring): le EWD (Engine Warning Display) et EICAS ( Engine Indication and Crew Alerting system).

#### **III.3.3.Contrôle moteur:**

Le FADEC exécute les fonctions suivantes:

- 1) Contrôle du débit de carburant (FMV).
- 2) Contrôle de la valve de sélection d'injecteurs (BSV)
- 3) Contrôle de la valve de retour carburant (FRV)
- 4) Contrôle de la vanne de décharges (VBV).
- 5) Contrôle des stators à calage variable (VSV).
- 6) Contrôle de la valve de contrôle actif du jeu turbine haute pression (HPTACC).
- 7) Contrôle de la valve de contrôle actif du jeu turbine basse pression (LPTACC).
- 8) Contrôle de la valve de contrôle actif du jeu rotor (RACC).
- 9) Contrôle de la valve de décharge transitoire (TBV).
- 10) Contrôle de température.



11) Contrôle de démarrage du moteur et de la détection des pannes internes.

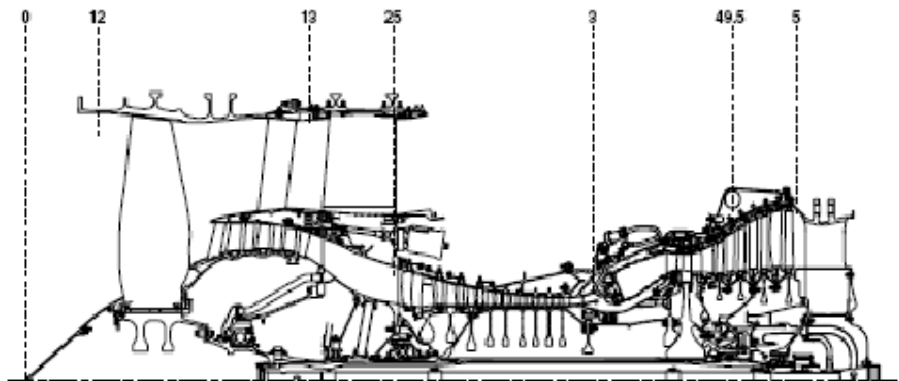
Par sécurité, l'alimentation de chaque chaîne de calcul est assurée par un alternateur spécialisé entraîné par les moteurs dès  $N_2 > 15\%$  et au démarrage d'avion.

### III.4.LES CAPTEURS MOTEURS:

#### III.4.1. Les stations aérodynamiques:

On distingue huit (08) stations aérodynamiques dont il est sondes sur le CFM56-5B:

- Station 0: air ambiant.
- Station 12: Entrée soufflante.
- Station 25 : température d'admission du HPC.
- Station 3: décharge du HPC.
- Station 49.5 : 2eme étage de la tuyère LPT.
- Station 13: décharge de soufflante.
- Station 5 : décharge de la LPC



Figure(III.2) : Les stations aérodynamiques

### III.4.2. Les paramètres d'admission du moteur:

TAT, PT2, P0 sont des paramètres calculés par l'ECU en utilisant des signaux venant de l'avion ADC1 et ADC2 et des sondes T12 pour le TAT, PS12 de moteur pour PT2, P0 pour P0.

La logique de choix tient compte de la validité de chaque paramètre pour calculer une moyenne de la valeur d'ADC1 et de la valeur d'ADC2, valeur locale de sonde, valeur en travers de sonde, si tous ne sont pas inadmissibles. Si un d'eux est inadmissible la moyenne a fait avec les 3 restants. Si deux sont inadmissibles, les deux restants sont employés pour le calcul. S'il y a seulement un non inadmissible gauche, celui-ci est Choisi. Si aucun n'est disponible, un paramètre de sécurité est employé par l'ECU. Ce paramètre de sécurité est :

- TAT : 30°C
- P0 : 10.920 PSIA
- PT2 : 14.696 PSIA

Ces trois paramètres sont employés par l'ECU pour calculer-les paramètres d'admission, une partie de la logique pour commander le moteur.

#### NOTE:

LE SEPARATEUR de TLA est employé par l'ECU, deux séparateurs sont installés sous le piédestal central d'habitacle pour fournir le signal de position de la commande de puissance a l'ECU, l'angle de manette de puissance de TLA, l'angle de séparateur de commande de puissance de TRA, les limites de TLA sont:

- 20 degrés: l'arrêt de pleine commande de puissance d'inverseur
- +45 degrés: l'arrêt de pleine commande de puissance vers l'avant (TO. GA)

Le rapport entre TLA et TRA est le degré linéaire 1 degré TRA TLA=1.9 degrés TR

### III.4.3. Les capteurs de vitesse:

➤ **Capteur de vitesse de N1:**

L'indicateur de vitesse N1 est monte à 5 h (ALF) sur le carter de soufflante. Ce dernier fournie a l'unité de commande électronique (ECU) le canal A et le canal B les signaux qui représentent la vitesse de rotation du rotor de basse pression (N1). L'ECU traite le signal NI et le transmet au ECAM par le bus de données ARINC 429. Un troisième signal est envoyé a la surveillance de vibration de moteur d'avion Unit (EVMU).

➤ **Capteur de vitesse de N2:**

L'indicateur de vitesse de N2 est monte sur le cote arrière d'AGB a 6 heures (ALF). Ce dernier fournit a l'unité de commande électronique (ECU) le canal A et le canal B les signaux qui représentent la vitesse de rotation du rotor a haute pression (N2). L'ECU traite le signal de N2 et le transmet à l'ECAM par le bus de données d'ARINC 429. Un troisième signal est envoyé à l'unité de surveillance de vibration de moteur d'avion (EVMU).

➤ **Transmetteur de debit:**

Transmetteur de débit est installé sur le dos de l'unit 1'hydromécanique (HMU).

Ce dernier est installé sur le visage arrière, sur la cote de main gauche (ALF) de boite de vitesse d'accessoire du moteur. Transmetteur de débit envoi la masse d'écoulement du carburant qui est fourni aux injecteurs dans la chambre de combustion. Cette valeur est employée pour surveiller l'exécution de moteur. Elle est indiquée au cockpit de pilote dans les tubes cathodiques par des Surveillance Electroniques centralises de l'avion (ECAM).

### III.4.4. Les sondes de pression:

➤ **La sonde P0:**

P0 est la pression statique ambiante (station aérodynamique 0). Sa valeur est employée pour l'unité de commande électronique (ECU) dans la Gestion de la puissance du moteur.

➤ **La sonde PS12:**

Pour mesurer la pression atmosphérique statique de prise de moteur (devant les pales de la soufflante: (référence aérodynamique 12). Cette valeur de pression est employée par l'Unité Commande Electronique (ECU) dans la logique de gestion de puissance de moteur. Trois orifices de refoulement statique sont montés sur la section de soufflante vers l'avant de la caisse d'admission, 12 heures, 4 heures, et 8 heures positions (ALF).

➤ **La sonde PS13**

PS13 est la pression statique du flux d'air de déviation de soufflante sélectionnée vers le haut derrière les ailettes du guidage de sortie de la soufflante (OGV) à la référence aérodynamique 13 et localisée à 1: 30 heure (ALF). Cette sonde fait partie du kit de facultatives de surveillance disponible au client sur demande. Ces 3 sondes sont: - PS 13 -P25 -T5.

➤ **La Sonde P25:**

P25 est la sonde de pression du compresseur d'admission haute pression. Il est installé à 5: 30 heures à l'intérieur du carter de la soufflante. Cette sonde fait partie du kit optionnel de surveillance disponible au client sur demande.

➤ **La sonde PS3:**

PS3 est la sonde de la pression-statique située sur l'armature de la chambre de combustion à 9 heures (ALF). Pour fournir le signal de la pression du 9ème étage du EPC: référence aérodynamique 3 de la décharge de compresseur HP à l'Unité de commande électronique (ECU). La valeur PS3 est employée dans la logique régulatrice de carburant de moteur par l'ECU.

### **III.4.5. Les sondes de température:**

➤ **Sonde de température de T12:**

La sonde de température T12 est installée sur le capot d'admission de fan à 1 heure (ALF). Cette dernière mesure la température de prise d'air total d'admission de moteur (station aérodynamique 12), devant les pales de soufflante. Cette valeur de température est employée par l'Unité de commande électronique (ECU) pour le calcul du TAT (Total Air Température).

➤ **La Sonde T25:**

La sonde T25 est installée a 4 :30 heure (ALF), a la sortie du compresseur BP, cette dernier mesure la température de l'entrée du compresseur haute pression. La valeur de la température est employée par l'Unité de commande électronique (ECU) dans la logique régulatrice de carburant de moteur.

➤ **La Sonde TECU:**

La sonde de TECU est une sonde interne au calculateur ECU, située à l'intérieur de la boite de ce dernier. Elle est employée pour la génération du message d'ECU (OVER TEMP) CFDS.

### **III.4.6. Les Sonde de type de thermocouple:**

➤ **Le thermocouple T3:**

La sonde T3 est installée à la position 12: 00 heures (ALF) sur le cote de la chambre de combustion, a l'entrée de la chambre de combustion. Le thermocouple T3 mesure la température de flux d'air primaire.

➤ **La sonde T CAS:**

Deux sondes de T CAS sont installées sur les des deux cotés de l'appui de monture de HPT aux 3 et 9 heures des positions (ALF). Les deux sondes T CAS mesure la température du carter de turbine HP, cette sonde est utilisée pour la logique du jeu turbine.

➤ **Thermocouple T49.5:**

Sur le CFM56-B5 la température de gaz d'échappement (EGT) est mesure par les thermocouples T49.5 situé au 1 ere étage de la turbine BP (LPT), (référence aérodynamique 49.5).

➤ **La sonde de température T5:**

Cette sonde fait partie du K 1T de sondes de surveillance facultatives disponibles au client sur la demande. La sonde de température T5 installée aux 4 heures de position (ALF) sur l'armature arrière de turbine basse pression.

### III.4.7. La température d'huile du moteur (TLO):

La sonde de température de l'huile du moteur est employée par l'unité de commande électronique (ECU) dans la commande logique de la valve de retour de carburant (FRV). Elle est installée sur la canalisation d'alimentation vers l'avant de carter de vidange d'huile située 9 heures.

### III.4. 8.La préparation des capteurs du moteur:

L'unité électronique de contrôle (ECU), exige les informations sur le chemin de gaz de moteur et les paramètres opérationnels ( $T^\circ$ , P, vitesse) afin de commander le moteur pendant tous les vols et phases opérationnels. Des sondes de moteur sont employées par l'unité de surveillance de vibration de moteur (EVMU). Des sondes de moteur sont installées à l'aérodynamique stations bien en tant que d'autres endroits de moteur, pour mesurer et donner des paramètres nécessaires au moteur d'habitacle.

Conception	Commande	Surveillance	Facultatif	Ind .d'habitacle
P0	X			
PS12	X			
T12	X			
N1SPEED	X	X		
N2SPEED	X	X		X
T12	X			
PS3	X			
T3	X			
TCASE	X			
T49.5	X	X		X
TEO	X			
BRG1 VIB		X		X
TRF VIB		X		X
WF		X		X
PS13		X	X	
P25		X	X	
T5		X	X	

### III.5. L'UNITE DE CONTROLE ELECTRONIQUE (ECU):

La ECU est un calculateur numérique qui comprend deux canaux (CHA, CHB) d'acquisition et de calcul. Chaque canal A ou B peut contrôler les opérations du moteur, quand l'un est actif l'autre est en attente (stand by) c'est le canal de réserve. Ce canal exécute les mêmes fonctions que celle du canal actif. Elle comprend plusieurs connexions pneumatiques et électriques, et construit identiquement et utilise le même software (logiciel).

Le logiciel dans chaque canal détermine l'état de santé des deux canaux, sélectionne le canal sain (en bonne santé) comme étant actif durant l'opération et lui succède l'autre. Le canal actif est changé après chaque démarrage du moteur. Si le canal actif est défectueux l'ECU change de celui canal qui est en attente devient actif.

#### III.5.1. La structure de l'ECU:

L'ECU est positionnée à quatre heures (4 :00 sur le carter de la soufflante. Les boulons du montage fournissent une isolation contre les chocs et les vibrations.

➤ **Dimension et poids:**

- Largeur..... 558.3mm (21.98in).
- Hauteur..... 166.6mm (6.559in).
- Profondeur..... 362.6mm (14.25in).
- Poids..... 23.59kg (52 pounds).

### III.5.2. Refroidissement de l'ECU:

Dans le fonctionnement normal, les cartes d'ECU libèrent l'énergie thermique. Pour fonctionner correctement, l'ECU exige un refroidissement pour maintenir la température interne dans des limites acceptables. L'ECU peut être refroidi de deux manières différentes.

-refroidissement par air dynamique.

-éducteur a aidé le refroidissement.

Dans les deux modes différents, l'air ambiant est pris par une prise d'air dynamique situé de la cote droite de capot d'admission de fan. L'air écoule l'ECU pour refroidir sa chambre interne autour des compartiments du canal A et du canal B. Alors l'air revient à l'ambiant par une sortie d'air également localisée sur le capot d'admission de fan.

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

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

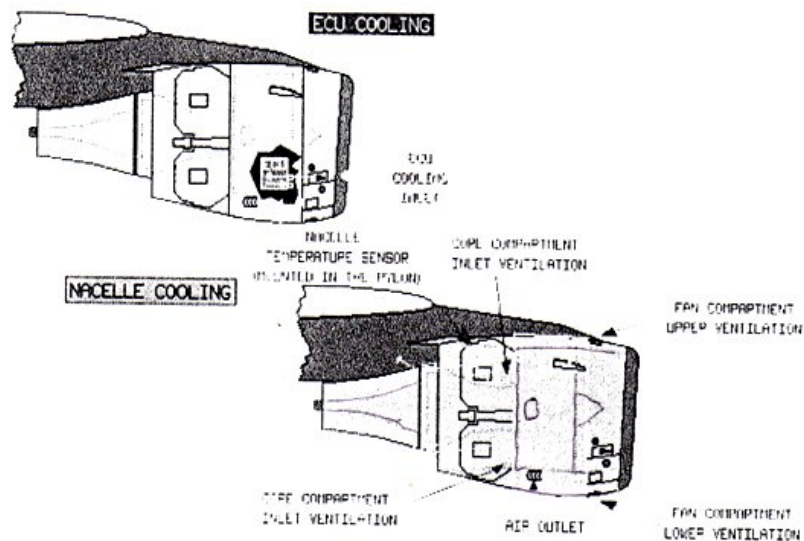


Figure (III.3): Refroidissement de l'ECU



### III.5.3. Les Connecteurs Electriques de l'ECU:

15 connecteurs électriques câblés sont localisés sur le panneau bas de l'ECU, chaque connecteur à un modèle à clé unique qui n'accepte que le câble correspondant. Les numéros d'identification des connecteurs (J1 à J15) sont indiqués sur le panneau. Tous les signaux entrée et commande de sortie du moteur sont en double et sont canalisés vers et des canaux A et B par le biais de câbles et connecteurs séparés. Les signaux à travers un connecteur simple.

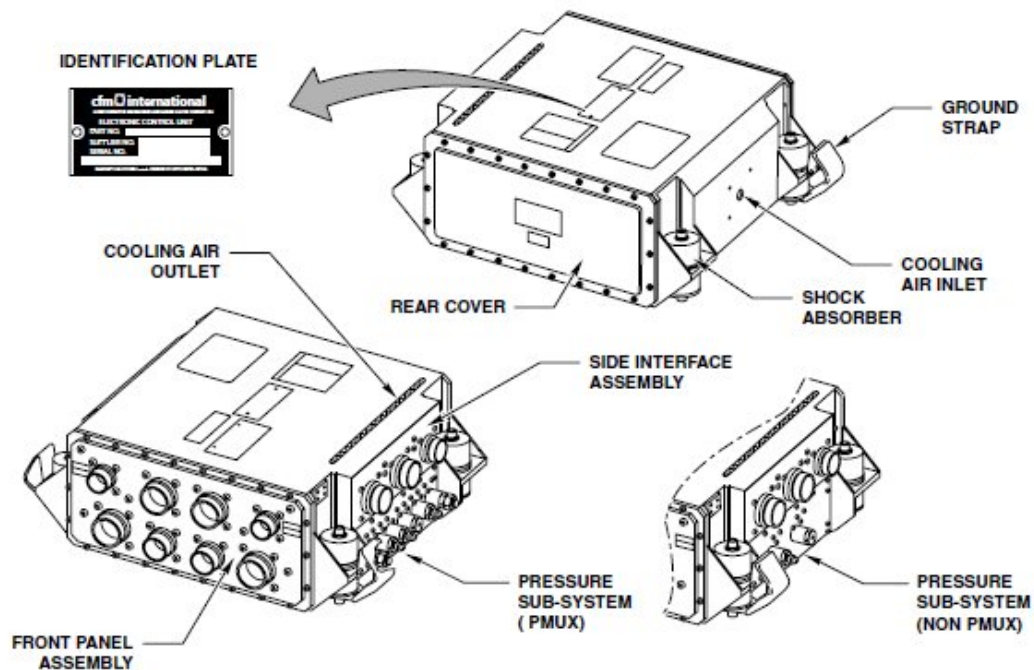


Figure (III. 4) : Les collecteurs électrique de l'ECU

Les Connecteurs Electriques de l'ECU sont les suivant :

Connecteur du canal A (impaire)	Connecteur du canal B (paire)	Fonction
J1	J2	A/C power (28v), régime d'allumage (115v)
J3	J4	A/Centrée/sortie et TLA
J5	J6	Inverseurs de poussée
J7	J8	Solénoïdes, moteur couple, resolver, N2
J9	J10	Alternateur, SAV, N1 et T12
J11	J12	LVDT, RVDT, T15, position d'interrupteur BSV
Shared (portion)	J14	Bouchon (fiche) d'identification du moteur
J13	Shared	WF computer, Thermocouples
J15	shared	Interface d'essai, WB3

Tableaux(III.1) : Les Connecteurs Electriques

### III.6. L'UNITÉ HYDROMECHANIQUE (HMU):

Le moteur CFM56-5b est contrôlé par un système de régulation électronique numérique à pleine autorité (FADEC) le système de commande FADEC est composé de ces deux parties principales:

- Unité de contrôles électronique.
- Unité de contrôle hydromécanique du carburant HMU).

L'ECU reçoit les signaux électriques depuis les sondes de moteur fixées à distance et après le traitement des signaux, l'ECU transmet les commandes électriques à l'HMU. Les signaux électriques sont tels:

- Courant du moteur couple (TMC) pour régler les valves.
- Signal solénoïde on/off pour ouvrir ou fermer la valve.

L'HMU, alors transforme les signaux traités par micro en des signaux de commande hydraulique pour contrôler 06 diverses valves de moteur régulées. Les HMU carburant de pression pour le positionnement des dispositifs suivants comme:

- La vanne de dosage carburant (FMV).
- Les stators à calage variable (VSV).
- Les vannes de décharges (VBV).

Et les trois valves de contrôle de jeu.

- La valve de contrôle du jeu turbine haute pression (HPTCC).
- La valve du contrôle du jeu turbine basse pression (LPTCC).
- Les vérins d'ouverture des clapets de décharge (VBV).

Pour accomplir ces différentes fonctions requises, l'HMU divise et règle le carburant par la pompe du carburant moteur aux différents systèmes internes:

- Système de régulation de servo-pression.
- Système de dosage carburant.
- Système de régulateur de survitesse (limiteur)
- Clapet de pressurization.
- Système d'arrêt et de fermeture de la pompe.
- Système de régulateur de servo-écoulement.

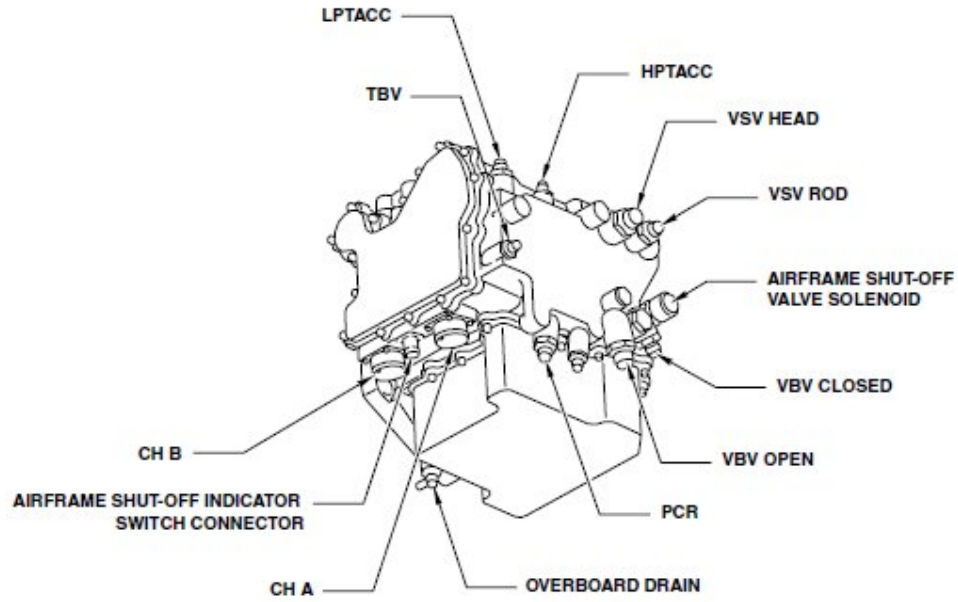


Figure (III. 5) :L'HMU

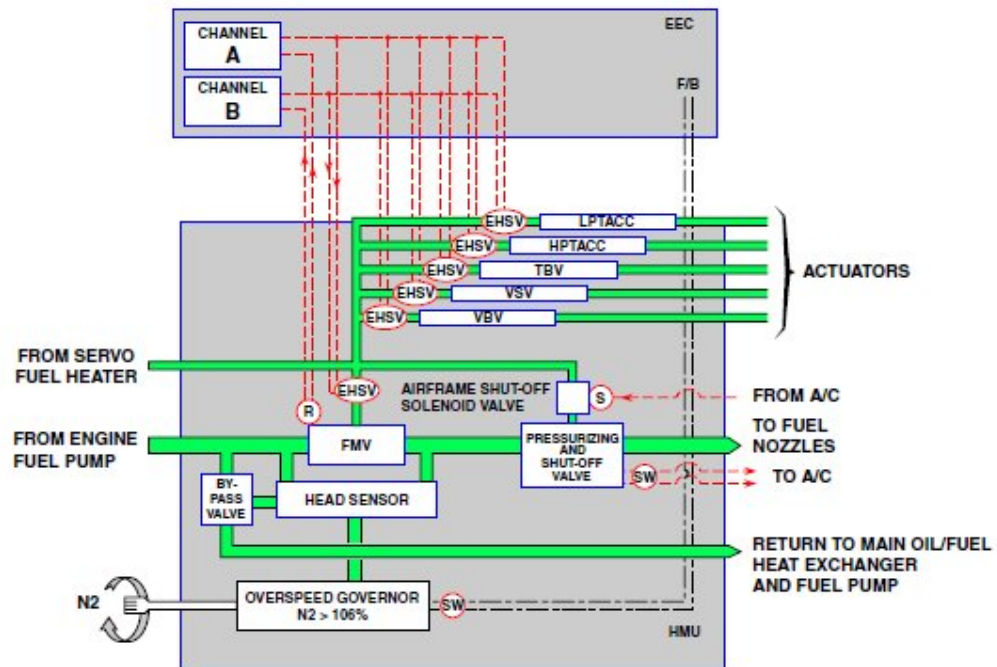


Figure (III. 6) : Les servos pression de l'unité hydromécanique (HMU)

### III.6.1. Le système de régulation de servo pression:

Les pressions de carburant sont employées par l'HMU pour les systèmes servomécanismes et pour enclencher les différentes soupapes de commande. Il y a 4 différences pressions principaux qui sont:

- **Psf** : pression servo filtre (la décharge de la pompe HP)
- **Pc** : la pression de contrôle.
- **Pcr** : pression réglée de cas.
- **Pb** : pression de by-pass (décharge de la pompe LP).

L'HMU est un composant hydromécanique dont le fluide de fonctionnement est le carburant. Les quatre pressions réglées sont établies dans cet ordre :

**$P_{sf} > P_c > P_{cr} > P_b$  La loi Hydromécanique**

➤ **Pression Psf :**

La pression Psf est fournie par le filtre de lavage (Wash filter) et est égale à la pression de décharge de la pompe HP. La pression maximum est de l'ordre de 1250psi.

➤ **Pression Pb :**

La pression Pb est la pression de by-pass à la décharge de la pompe LP. Elle sert la pression de drain pour les valves.

➤ **Pression Pc :**

La pression de Pc est réglée par le régulateur de pression de Pc à une valeur constante au dessus de Pb par un ressort de force de charge initiale qui est calibré à 150Psi.

$$P_c = P_b + 300 \text{ Psi}$$

Les commandes de puissance Psf de régulateur ou de décharge de PC ou Pb afin de maintenir une différence de pression constante dans toute la gamme de l'écoulement exigée. Sa fonction primaire est d'opposer ou surmonter a Pcr ou a Pb pour actionner les pistons ou les valves. Le ressort fournit une force de charge initiale qui est calibrée à 300psi.

➤ **Pression Pcr :**

La pression de Pcr est réglée par le régulateur de pression de Pcr à une valeur constante au-dessus de Pb par un ressort de charge initiale est calibré à 150 Ps. Le régulateur fonctionne identiquement au régulateur de PC :

$$P_{cr} = P_b + 150 \text{ Psi}$$

### III.6.2. Les différents types du servo pression:

Le système de régulation du débit de carburant d'asservissement contrôle le débit de carburant envoyé vers les différents vérins, pour assurer le fonctionnement des mécanismes hydromécanique comme : le control actif du jeu turbine (LPTACC et HPTACC), les vannes de décharge (VBV), les stators à calage variable (VSV),... etc.

Ce système est composé de six régulateurs de débit : VBV, VSV, LPTACC, HPTACC, RACC, BSV.

➤ **Les servo pression VBV et VSV :**

Chaque mécanisme de régulation des servo pression VSV et VBV se compose d'un torque moteur, une valve pilote et une valve de régulation de débit (le piston). Le torque moteur contient deux bobines indépendantes tel que l'excitation l'un de ces derniers définit le sens du déplacement de la valve pilote qui paramètre le passage de l'une des deux pressions Pc ou Pb vers la face supérieure de la valve du régulateur de débit tel que l'autre face est soumise par la pression Pcr. La différence de pression entre les deux faces engendre le déplacement du piston qui permet de renvoyer les deux pressions Psf et Pb vers les vérins.

➤ **Les servo pression HPTACC et LPTACC :**

Selon la commande électrique de l'ECU, le torque moteur sélectionne la pression qui sera envoyée vers les vérins des HPTACC et LPTACC.

➤ **BSV solénoïde :**

Le régulateur de servo pression contient un solénoïde et une valve cette dernière à deux entrées de pression et une seule sortie vers la BSV. Le solénoïde contient deux bobines indépendantes tel que l'excitation de l'une des deux bobines définit le sens du mouvement du piston (la position fermée ou ouverte).

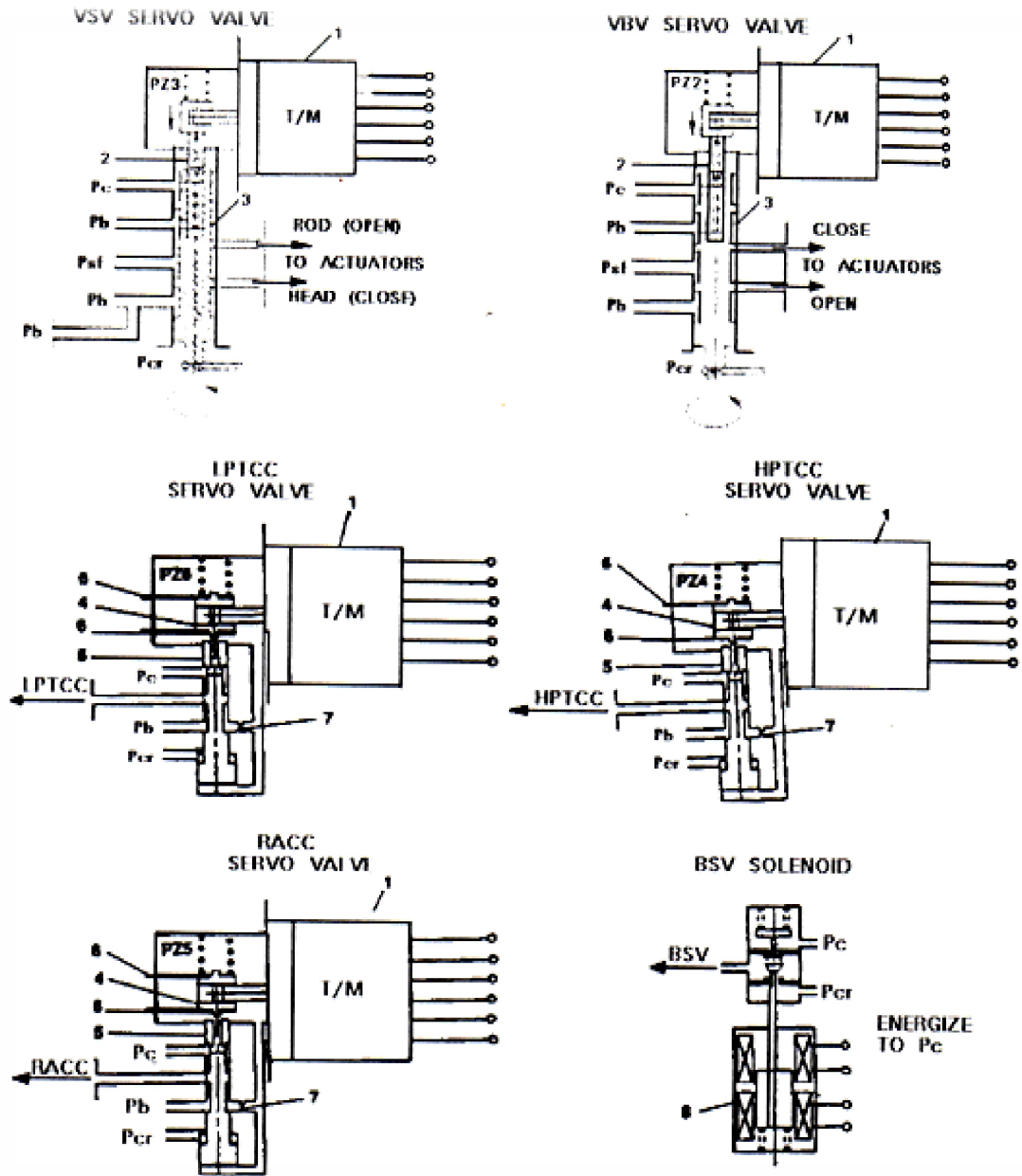


Figure (III.7) : Les types du Servo pression

Les circuits du moteur:

### IV.1. LE CIRCUIT D'ALLUMAGE:

Le circuit d'allumage se compose de 2 systèmes indépendants: 2 excitateurs d'allumage de grande énergie pour lesquels l'excitation est commandée par l'ECU, 2 bougies d'étincelle et 2 fils d'allumage protégés coaxiaux.

Le but du système est:

- Pour produire une étincelle électrique pour mettre à feu le mélange air/carburant dans la chambre de combustion de moteur pendant le démarrage en sol ou le redémarrage en vol.
- Pour fournir l'allumage continu (choix manuel ou automatique) pendant le décollage.
- débarquement et opération en conditions atmosphériques défavorables ou EIU échouent.

Chaque circuit d'allumage est alternativement choisi par l'ECU pour chaque ordre de démarrage afin de n'avoir aucun échec d'un canal d'allumage et augmenter la vie de système global.

### IV. 2. LE CIRCUIT DE DEMARRAGE:

Le système de démarrage utilise l'air pressurisé pour actionner la turbine à une grande vitesse. Cette turbine conduit le rotor à haute pression du moteur par un train d'engrenage (réducteur) et le système clé commande d'Accessoires.

L'air qui est nécessaire pour conduire le démarreur vient de :

- LAPU.
- Ou le deuxième moteur
- Ou une unité de groupe de parc.

Le circuit de démarrage comprend:

- Une conduite pneumatique qui amène au démarreur l'air sous pression.
- Une vanne de démarrage qui fonctionne pneumatiquement et électriquement commande. Elle a pour rôle de contrôler l'approvisionnement du démarreur. En cas de panne, la soupape de démarrage peut être actionnée manuellement. Deux procédures sont applicables pour le démarrage de moteur:



## IV.2.1. Démarrage normal (automatique):

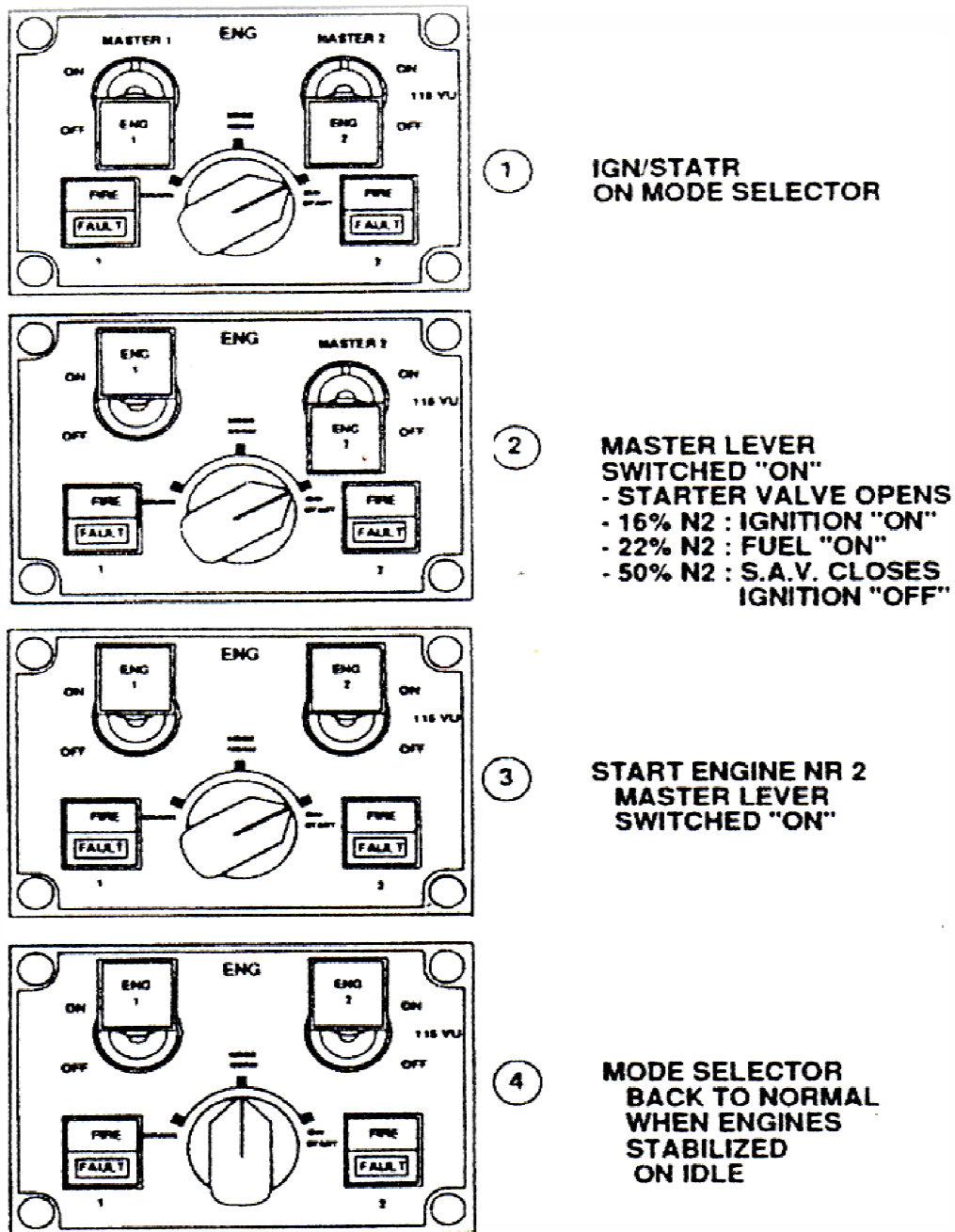


Figure (IV.1) : Procédure de démarrage automatique

L'ordre de démarrage est entièrement contrôlé par le FADEC et est choisi quand le commutateur de sélecteur de démarrage (ENG/MODE/CRANK/NORM/IGN) est en position d'IGN/START et le levier de commande principal (MASTER) dans la position de fonctionnement (ON).

- La valve pneumatique de démarreur s'ouvre.
- au  $N_2 > 16\%$  que le circuit d'allumage est excité.
- au  $N_2 > 20\%$  la soupape d'arrêt de combustible HP s'ouvre.
- au  $N_2 > 50\%$  la valve de démarreur se ferment et l'allumage s'arrête.

Le démarrage peut être effectué en sol seulement par le FADEK en bas de panne, ou d'incident détecter:

- Echec de valve.
- l'Echec de soupape d'arrêt de combustion HP
- Démarrage chaud.
- Pompage.
- Survitesse.
- Le moteur échoué a l'allumage après que l'allumage continu sera choisi.

Pendant le démarrage automatique, l'ECU assure la protection de limite de moteur (N1, N2, EGT)

### IV.2.2. Démarrage alternatif (manuel) :

Cet ordre contrôlé par la pilote est comme suit :

- Le commutateur de sélecteur d'allumage en position d'IGN/START et le commutateur à bouton-poussoir (MAN START) commande la vanne d'arrêt de carburant du démarreur (starter shut-off valve).
- Le levier de commande du MASTER contrôle la vanne d'arrêt de carburant de HP.

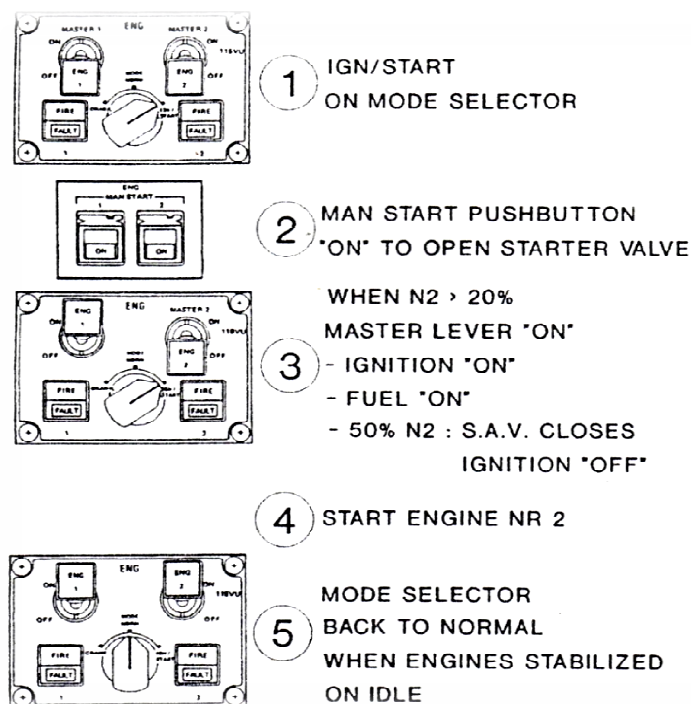


Figure (IV.2) : procédure de démarrage

### IV. 3. LE CIRCUIT DE GRAISSAGE :

Le système de lubrification d'un moteur est complément d'un seul bloc et séparé des autres systèmes de fluides de moteur ou d'avion.

Le rôle du système de graissage est:

- Diminuer l'usure des pièces,
- Evacuer la chaleur dégagée à la suite de frottement,
- Protéger les pièces contre la corrosion,
- Récupérer les particules qui s'infiltrèrent en suspension dans le circuit

L'huile est distribuée aux composantes exigeant la lubrification et se récupérant par un des pompes d'aspiration Le système de graissage est constitué de trois parties principales :

- Le stockage (réservoir d'huile)
- distribution et la récupération.
- L'indication.

#### ❖ Le stockage:

Le réservoir d'huile stocke l'huile employée pour lubrifier et refroidir les éléments mobiles moteurs et assurer une quantité d'huile suffisante en réserve. Il est installé du côté gauche de carter de fan à 8 h, et au-dessus de l'échangeur principal de chaleur d'huile /carburant. Le

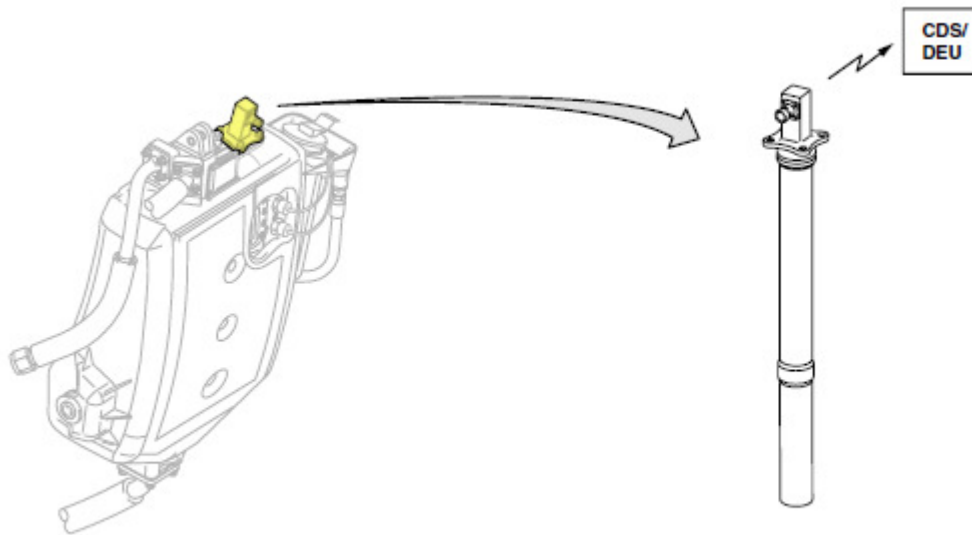
Réservoir d'huile se compose d'une enveloppe et d'une couverture. Il contient les éléments suivants:

- Un orifice de vidange.
- Deux ports de remplissage (gravité par pression).
- Une jauge d'indication de niveau d'huile.
- Un port d'émetteur de niveau (transformateur).
- Un indicateur de pression d'huile.
- Un séparateur (air/ huile) qui extrait l'air à partir de l'huile de retour et exhale l'air du réservoir vers le carter de vidange avant.
- Un port de ventilation (dégazage).

Le réservoir est traité extérieurement avec un métal anti feu pour répondre aux exigences règlement (résistance pendant 15 minutes à 2000 f° (1093 c°)).

❖ **Caractéristiques du réservoir:**

- volume total .....23.1 (L).
- quantité d'huile .....19.6 (L).
- quantité d'huile disponible .....19.1 (L).



**Figure (IV.3) : Le réservoir d'huile**

### ❖ Le système anti - siphon:

La canalisation d'alimentation du réservoir d'huile a la pompe se trouve un dispositif anti siphon pour empêcher le drainage du réservoir dans les boîtes de vitesse et les carters de vidange quand le moteur est arrêté pendant des périodes prolongées.

Le système de lubrification se compose de quatre sous-systèmes, dont chacun accomplit une fonction spécifique pour assurer la lubrification pour les roulements et l'engrenage du moteur:

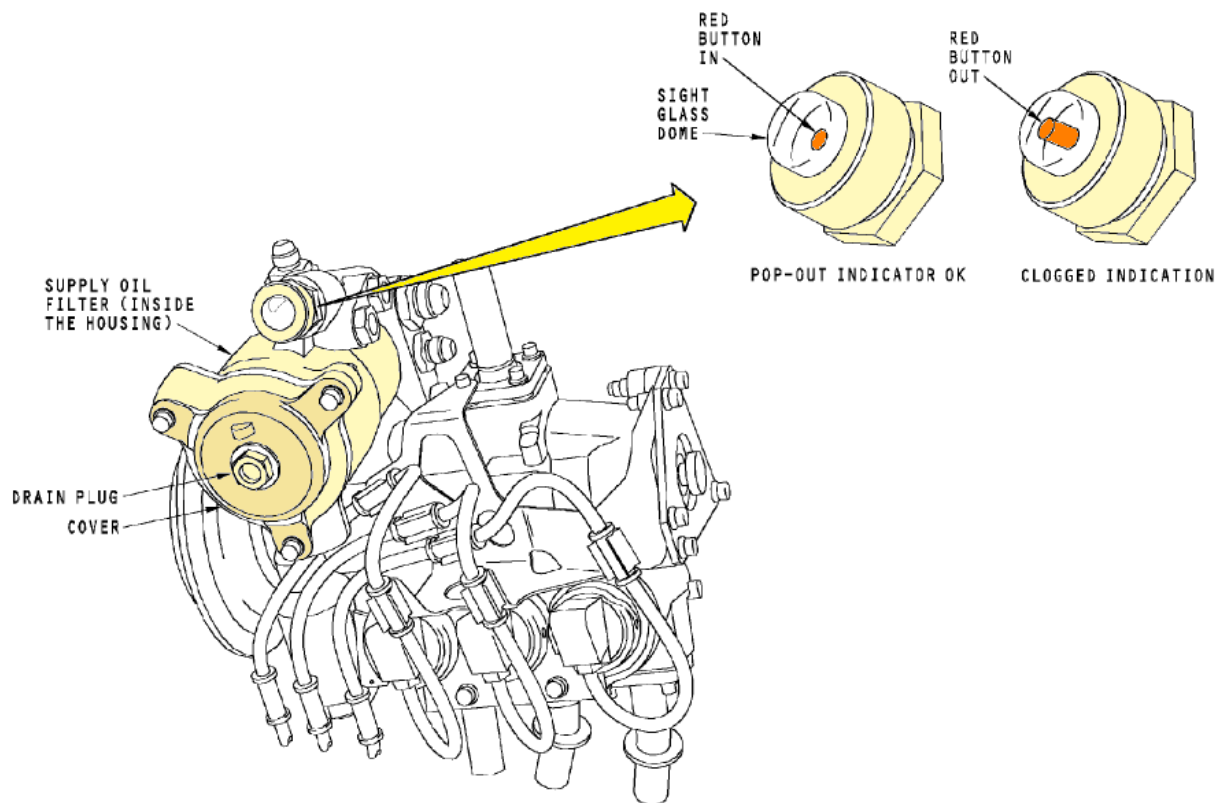
- Le circuit d'alimentation de lubrifiant.
- Le circuit de récupération.
- Le circuit de pressurisation de joint
- Le circuit de mise à l'air libre de carter de vidange

### ❖ L'unité de lubrification:

L'unité de lubrification fournit à différents régimes du moteur un débit d'huile et une pression de sortie proportionnelle à la rotation N2 exigée pour la lubrification des 4 paliers du moteur, et aussi aspirer l'huile après lubrification et la renvoie vers le réservoir après avoir passé par l'échangeur de chaleur huile / carburant.

L'unité de lubrification est montée sur la face avant d'AGB. Elle a un logement simple contenant les éléments suivants:

- ✚ Cinq pompes de déplacement (1 pour le refoulement d'huile et 4 pour récupération).
- ✚ un filtre de refoulement.
- ✚ 4 détecteurs de l'émaillement.
- ✚ Un filtre de récupération.
- ✚ une soupape de sécurité (à la cote de décharge de pompe de refoulement d'huile)
- ✚ Deux indicateurs de colmatage (un pour le filtre de refoulement et un pour le filtre de retour).
- ✚ Deux clapets de dérivation (by-pass)(un pour le filtre de refoulement et un pour le filtre de retour )



Figure(IV.4) : L'unité de lubrification

#### IV. 4.LE CIRCUIT D'ALIMENTATION :

Les composants principaux de circuit d'alimentation sont la pompe et filtre de refoulement.

➤ **la pompe d alimentation :**

Au démarrage du moteur, la pompe tire l'huile du réservoir et le pressurise. Elle est actionnée par un arbre d'entraînement simple conduit par la boîte d'engrenages des accessoires (AGB). Elle fournit un débit de 2495 l /h au décollage et une pression cordage de 60 Psi.

➤ **le filtre de refoulement :**

L'huile sous pression de la pompe d'alimentation est filtrée à l'aide d'un élément filtrant (15 microns) qui protège le bec de refoulement d'huile contre la contamination.

En aval de la pompe de refoulement, l'huile traverse le filtre de refoulement assemble.

Le filtre c'est une cartouche inéchangeable. Il a les composants suivant :

- Un filtre (15 microns).
- Un indicateur de colmatage qui a un indicateur d'avertissement rouge et est remède manuellement (2 bars a 2,3 bars) (29 Psi a 33 Psi).
- Un clapet de dérivation (by-pass) qui s'ouvre si le filtre est colmaté (2,50 bars à 2,70 bars) (36 Psi a 39 Psi).
- Deux provisions couvertes pour un indicateur de pression d'amont du filtre, et capteur de température.

#### **IV. 5. LE CIRCUIT DE RECUPERATION:**

L'huile qui a lubrifié les roulements du moteur, la boîte d'engrenages des accessoires et le TGB est aspire par 4 pompes protégées par un tamis équipe d'un magnétique détecteur d'émaille et actionnes par le même arbre d'entraînement simple d'AGB. Cette huile est alors transportée dans la ligne simple comportant:

- un filtre de retour commun (scavenge filtre), (25micros)
- un échangeur de chaleur d'huile / carburant.

Ensuite après avoir circule par ces éléments, L'huile est envoyée vers le réservoir. L'huile traverse un séparateur qui sépare l'huile et air. L'air est alors envoyée au circuit de mise à l'air libre (ventilation).

❖ **le filtre de récupération:**

Les écoulements des 4 pompes de récupération sont mélangés pour aller a l'entrée du filtre commun. Ce filtre comprend ce qui suit

- Un filtre de 25 microns.
- Un indicateur de colmatage, semblable à celui sur le filtre de refoulement (2bars à 2,3bars) (29 Psi à 33Psi)
- le switcher de différence de pression,

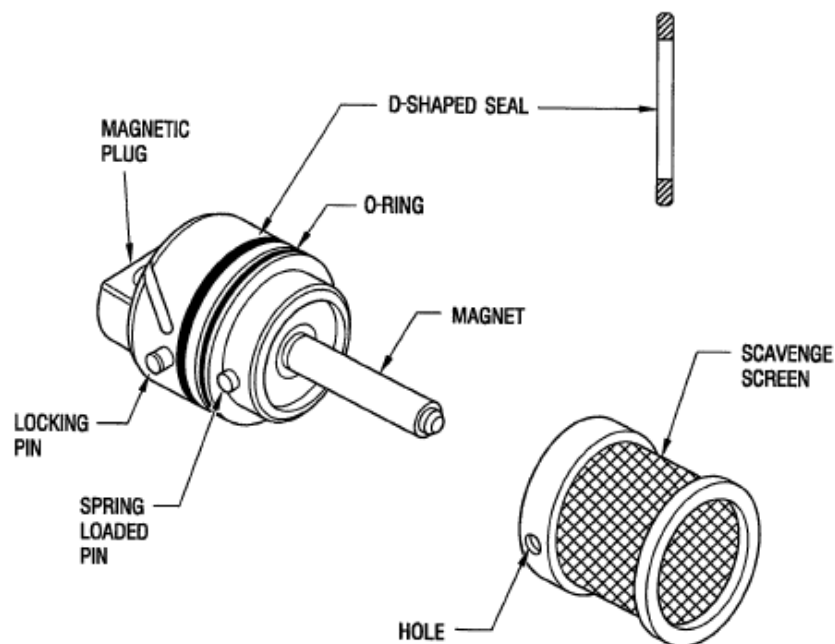
- Un clapet de dérivation qui s'ouvre si le filtre obstrue (colmaté). (2~5 bars à 2,7bars) (36 Psi à 39 Psi)
- Une provision pour un capteur de température d'huile a l'entrée du filtre.

❖ **détecteur de l'émaille (chip detector):**

Il y a quatre chip detectors pour les paliers suivants:

- chip detector pour le palier avant (FWD sump).
- chip detector pour le palier arrière (aft sump).
- chip detector pour l'AGB,
- chip detector pour le TGB.

Chacun de ses détecteurs de l'émaille sont constituées d'un écran métallique et d'un aimant. Ces derniers sont attachés a l'entre des pompes du circuit d'aspiration (retour). Le chip detector se fixe dans un logement par baïonnette et a l'ouverture il est repousser par un ressort quand ces chip detector sont enlèves, une soupape de sécurité se ferme pour éviter les fuites d'huile. Les détecteurs empêchent le passage des matériaux non désirer suspendu dans l'huile de retour.



**Figure (IV.5) : Détecteur de l'émaille (chip detector)**



### ❖ L'échangeur principal de chaleur:

L'échangeur fournit les moyens du transfert thermique à partir de l'huile de lubrification de moteur au carburant que cette fonction permet à l'huile d'être refroidi et au carburant chauffer.

Le transfert thermique entre l'huile et le carburant est réalisé par la conduction et la convection forcée. Le carburant provient de la partie basse pression du bloc à carburant alors que l'huile provient du filtre de retour. L'échangeur de chaleur est construit de telle manière que la surface de contact maximum existe entre l'huile et le carburant coule.

L'échangeur de chaleur d'huile-carburant accomplit le refroidissement d'huile avant qu'il soit retourné au réservoir d'huile. Une soupape de sécurité de pression d'huile permet l'écoulement suffisamment d'huile en cas de colmatage de noyau d'échangeur. Une soupape de sécurité de pression de carburant permet l'écoulement suffisant de carburant en cas de colmatage de noyau d'échangeur.

L'échangeur de chaleur d'huile / carburant est de type tubulaire. Il est installé sur la pompe de carburant, entre la face arrière d'AGB et le réchauffeur de carburant de (servo fuel heater) à 9 heures de position. Il se compose d'un noyau démontable, carter et cache.

- Le noyau se compose d'un cylindre, des plaques, et des tubes de carburant.
- Le carter contient le noyau de l'échangeur.
- Le cache permet d'accéder à l'échangeur de chaleur pour l'installation du noyau.

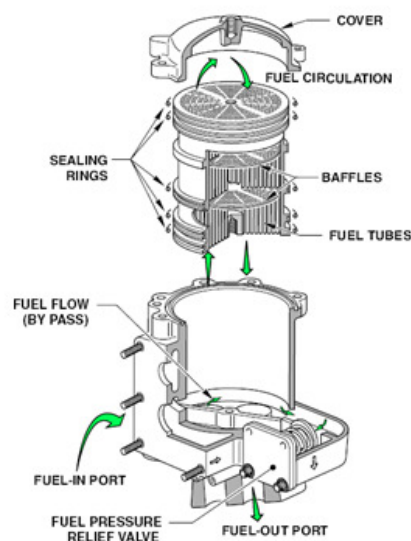


Figure (IV.6) : L'échangeur de chaleur l'huile / carburant

### Les indications du circuit d'huile:

Le système de l-indication comporte les éléments suivants :

#### ❖ Pression d'huile:

L'émetteur de pression d'huile permet la surveillance de pression est indiquée par le système de l'ECAM.

#### ❖ La température d'huile:

La température d'huile est liée à la vitesse de moteur , la température de carburant et le débit d'huile.

#### ❖ Le colmatage de filtre:

Le système du colmatage de filtre indique que le filtre est colmaté, quand la différence de pression de filtre de retour est de l'ordre de 25,5 Psi.

#### ❖ La quantité d'huile:

La sont deux indications possibles Une indication visuelle, donne par le niveau visible d'huile sur le réservoir. Une indication a distance, donnée parle transmetteur de quantité d'huile qui renvoie un signal électrique au système de l' ECAM.

## IV. 6. LE CIRCUIT DE CARBURANT :

Le système de carburant permet à délivrer le débit de carburant correspondant au régime demande et compatible avec des limites du moteur.

Le système du carburant comprend:

- Une pompe carburant a deux (02) étages avec les éléments bas pression et haute pression.
- Une unité hydromécanique (HMU).
- Un échangeur de chaleur huile/ carburant
- Un réchauffeur carburant pour les asservissements.
- Refroidisseur d'huile IDG.
- Un filtre de carburant.

- Une valve de retour carburant.
- Un transmetteur de débit carburant.
- 20 injecteurs du carburant a double cône.
- Une vanne de sélection d'injecteurs BSV.

Le carburant fournit a partir des réservoirs de voilure passe par une pompe centrifuge (Partie BP de la pompe), puis a travers l'échangeur de chaleur huile / carburant et une pompe de carburant volumétrique (partie HP de la pompe) et des filtres. Le carburant est délivré au HMU dans deux débits:

- Un débit principal est directement fournit a la section du HMU, passe a travers le galet doseur (FMV) puis va au débitmètre et enfin aux injecteurs.
- L'autre part de débit de carburant passe a partir de réchauffeur carburant des asservissements puis il s'écoule au HMU pour élaborer les pressions d'asservissement nécessaires à tous les vérins de contrôle de jeu actif (RACC, HPTACC, LPTACC) et le contrôle de compresseur (VSV, VBV).

Le carburant qui n'a pas été envoyé aux injecteurs et celui qui revient des asservissements va au refroidisseur d'huile IDG. 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 vers le réservoir, si la vanne de retour carburant FRV est ouverte. En effet, l'ECU commande l'ouverture de cette vanne si la température de l'huile est élevée, dans ce cas on demandera 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.

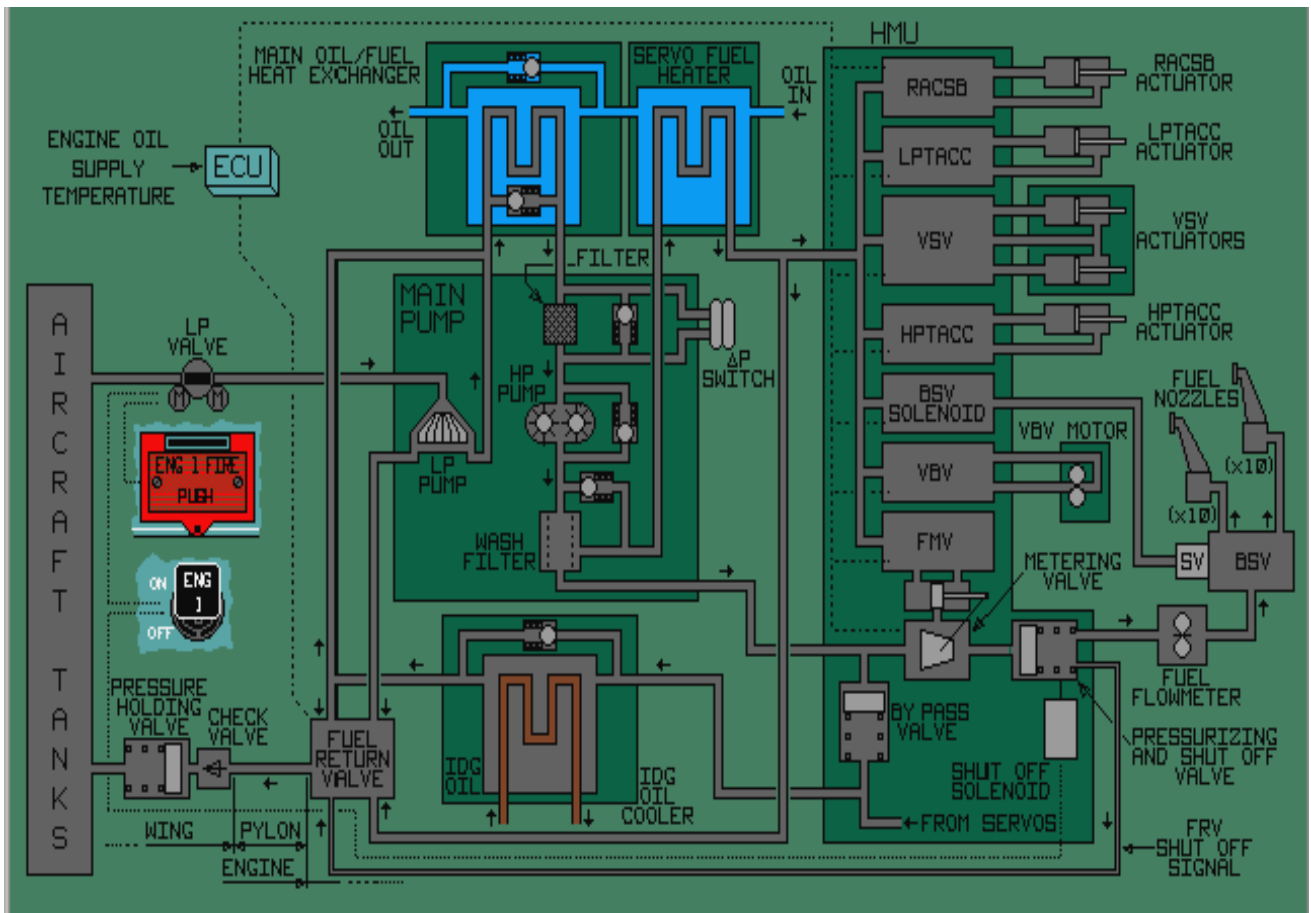


Figure (IV.7) : Circuit de carburant

### Le rôle du circuit de carburant:

Le circuit de carburant assure:

- L'alimentation des circuits hydrauliques de commande des dispositifs anti-pompage, Vanne de décharge, et stator a calage variable.
- L'alimentation des injecteurs de la chambre de combustion.
- L'alimentation des circuits hydrauliques d'asservissement et de contrôle du régulateur principal de carburant (HMC).
- Le refroidissement d'huile de graissage réacteur.
- Le refroidissement d'huile de graissage alternateur (IDG).
- L'alimentation des circuits hydrauliques de commandes des vannes de contrôle des jeux turbine haute et basse pression.

### IV.7. LE CIRCUIT D'AIR :

Le rôle du système d'air est de contrôler le fonctionnement du moteur dans toutes les phases de vol. Le système d'air en réalité empêche le moteur de présenter un disfonctionnement en pompage et surpression ainsi que le control de l'efficacité au niveau des turbines (contrôle du jeu). Les éléments concernes par cc système sont:

- L'unité électrique du moteur (ECU).
- L'unité hydromécanique (HMU).
- Les vannes de décharges (VE3V).
- Control actif du jeu turbine haute pression (HPTACC).
- Control actif du jeu turbine basse pression (LPTACC).
- Control du jeu rotor RACC
- Stators à calage variable (VSV)

#### IV.7.1. Le pompage:

Le pompage est un phénomène qui, à partir d'un décrochage de l'écoulement sur le profil d'aube rotorique, se traduit par l'inversion de l'écoulement dans le compresseur. A même vitesse de rotation, si pour une raison quelconque la vitesse d'écoulements dans le compresseur diminue, nous voyons que la vitesse d'entraînement  $U$  conserve le même module, même direction et même sens, par contre le module de la vitesse absolue  $V_a$  diminuera et l'orientation de la vitesse relative  $V_r$  sera différent.

Nous aurons alors un angle d'incidence  $i$  qui sera plus grand et à partir d'une certaine valeur de cette incidence, Il apparaîtra sur l'extrados des profils d'aubes, des tourbillons qui diminueront considérablement l'efficacité du compresseur. La pression du récepteur (chambre de combustion,...) deviendra supérieure a la pression de sortie compresseur et cc déséquilibre entrainera une inversion de sens de l'écoulement.

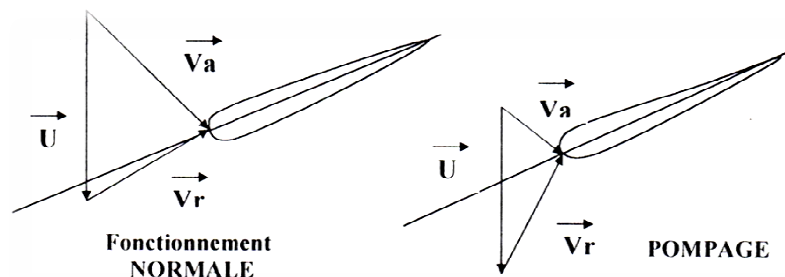


Figure (IV.8) : Le pompage

→  
 $V_a$  : la vitesse absolue,  $V_r$  : la vitesse relative,  $U$  : la vitesse d'entraînement

- Aubage de pré rotation.
- Stator a calage variable (VSV).
- Vannes de décharge (VBV).
- Limiteur d'accélération.
- Tuyère à section variable.
- Modification de la condition de vol.
- Le double attelage

❖ **Le fonctionnement du stator a calage variable (VSV) :**

L'ECU reçoit les données T25, N2 et a partir de ces données le ECU envoie un signal électrique au torque moteur situé dans la HMU, le torque moteur fonction la valve pilot qui détermine les deux entré de pression de Pc et Pb.

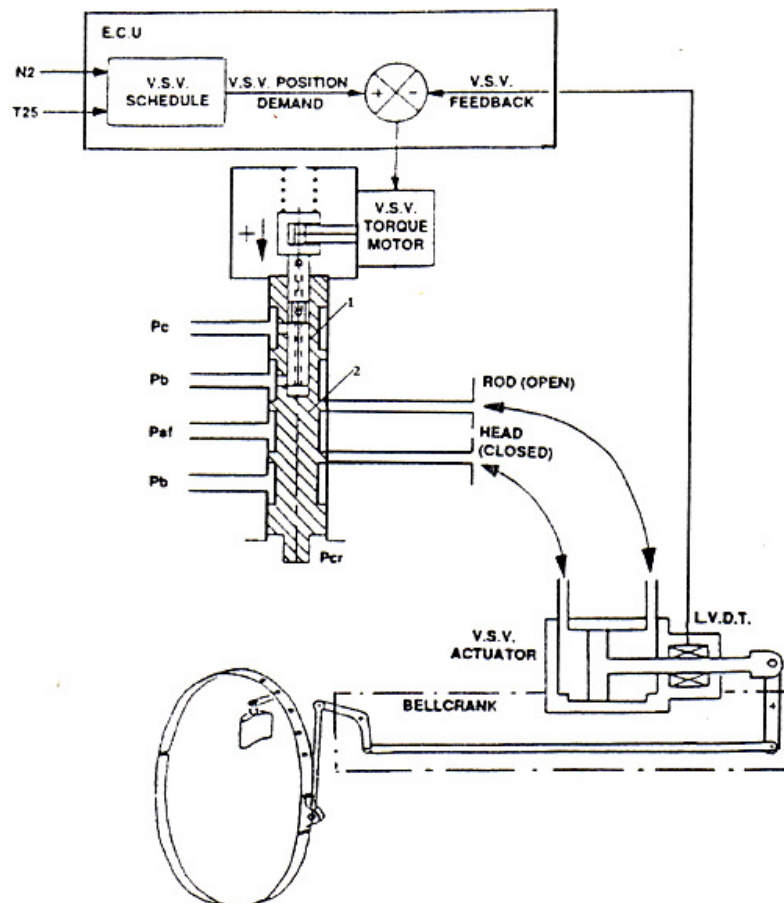


Figure (IV.9) : Le fonctionnement de la VSV

Ce l'on la position de la valve pilot on distingue deux cas de position :

❖ **Position fermé (closed) figure (IV, 9):**

La valve pilot (1) ouvre l'orifice de pression  $P_c$ .  $C_c$  qui permet d'avoir une différence de pression entre les deux extrémités de la valve du régulateur de débit, suivent les lois hydromécanique ( $P_c > P_{cr}$ ). La différence de pression provoque le déplacement de la valve vers le bas permettant l'ouverture des deux orifices de pression  $P_b$  et  $P_{sf}$ . tel que la pression  $P_b$  pression dans la face de tige du vérin la pression  $P_{sf}$  présent sur la face tête du vérin.

La différence de pression entre  $P_b$  et  $P_{sf}$  provoque le déplacement du vérin qui commande la position des aubes du stator (VSV) ver la position fermée. Le LVDT envoi un signal de retour a l'ECU désignant la position du vérin.

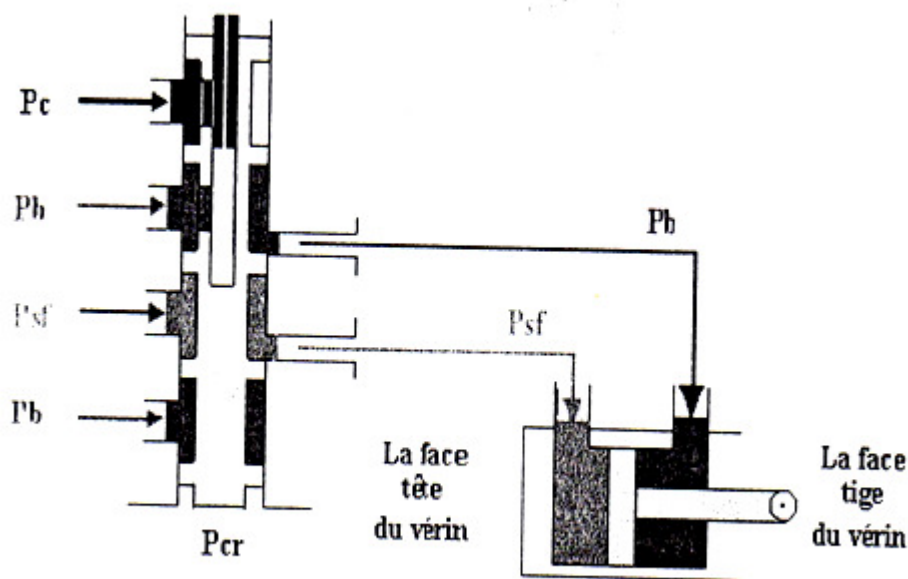
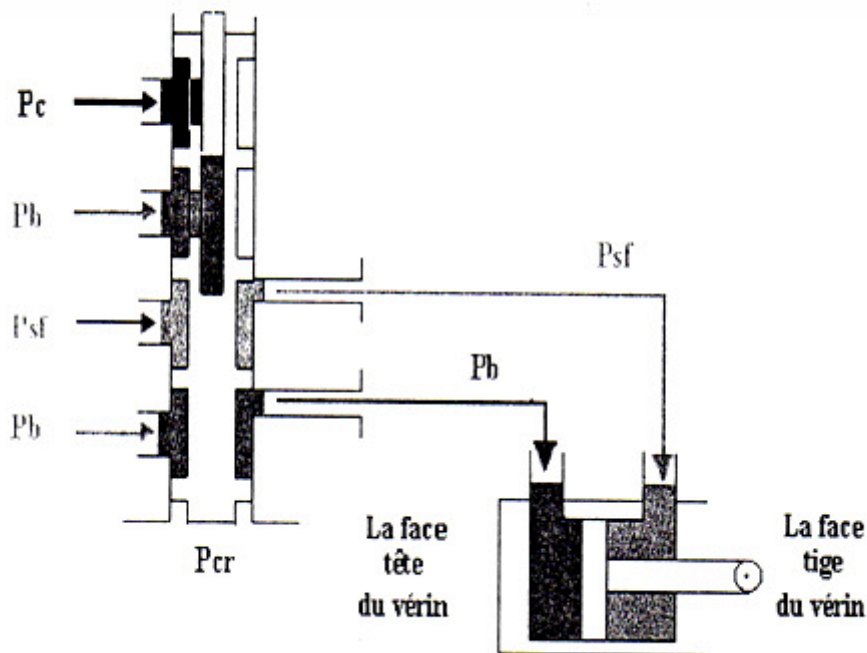


Figure (IV.10) : La position fermée de la valve VSV

**❖ Position ouverte (open) figure (IV, 11):**

De la même manière de fonctionnement a la position fermée mais avec le changement des entres de pression tels qu'on aura la fermeture de l'orifice de la pression  $P_c$  et l'ouverture de l'orifice de pression  $P_b$ .

La différence de pression entre les deux éternités de la valve de régulateur de débit mais dans se cas le déplacement de la valve sera vers le haut ( $P_b < P_{cr}$ ), ce qui permettra d'ouvrir les orifices de pression  $P_b$  et  $P_{sf}$ , tel que la pression  $P_{sf}$  présent dans la face de tige du vérin et la pression  $P_b$  présent sur la face tête du vérin. Cette différence de pression provoque le déplacement du vérin qui commande la position des aubes du stator (VSV) vers la position ouverte.



**Figure (IV.11) : La position ouverte de la valve VSV**



### IV.7.2. Le système de control du jeu turbine:

Pendant les phases de décollage, montée, et croisière, les canons turbines HP et BP dilatent rapidement que les roues et les ailettes de turbines les jeux en extrémités d'ailettes augmentent entraînant un accroissement des pertes internes machines.

Pour remédier a ce phénomène un refroidissement des carters des turbines BP et HP est prévu dans le but de réduire au Maximum et a tout moment l'écartement entre les tête des ailettes et les parois intérieures du carter ceci permet l'augmentation de la poussée du moteur pour une même consommation horaire donne une plus faible consommation horaire donc une plus faible consommation spécifique  $C_s$  et un meilleur rendement globale  $\eta_g$ .

Grace a ce système les constructeurs ont réussi a diminuer la consommation du carburant et améliore les performances du moteur d'une façon significative.

#### ❖ Principe de fonctionnement

Le contrôle des jeux turbine a soutirer de l'air du 5 eme étage (relativement fris

9eme étage (chaud) du compresseur HP et du flux secondaire (frais) pour refroidir les carters turbine HP et BP afin de contrôle leurs expansion thermiques, soit pour une diminution ou une augmentation du jeu et ceci est en fonction du régime moteur.

Ce refroidissement se fait par modulation du débit d'air envoyé dans les carters des turbines HP et BP qui peut être soit chaud, soit froid ou un mélange entre les deux. Le système du contrôle de jeu turbine se compose a son tour de deux sous- systèmes qui sont les suivants:

- ❖ Le contrôle actif du jeu turbine haute pression (HPTACC: High Pressure Turbine Active Clearance Contrôle).
- ❖ Le contrôle actif du jeu turbine basse pression (LPACC: Low Pressure Turbine Actif Clearance Contrôle).

Si le l'ECU n'est pas correctement ajusté, l' effet est pour une vitesse. N1 donnée ou la poussée fournit avec le doseur carburant ouvert plus que nécessaire, de sorte qu'elle mène à:

- Une mauvaise consommation spécifique de carburant (SFC),
- Une température de gaz d'échappement (EGT) plus haute que la normale.

Dans les deux cas le cout est haut et il amène l'entretien de moteur plus tôt que la normale. C'est pour ca le contrôle de jeu de la turbine est un paramètre essentiel de la vie et du système de commande de moteur

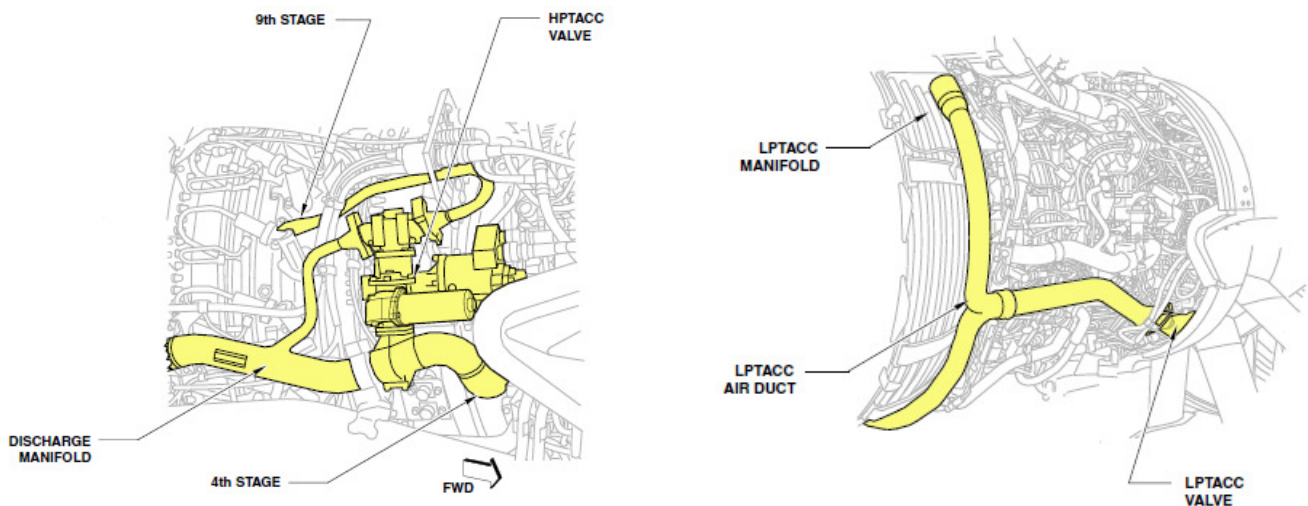


Figure (IV.12) : Contrôle actif du jeu turbine haute pression et basse pression

### IV.8.LES INVERSEURS DE POUSSEES:

Le système d'inverseur de poussée est un dispositif spécial pour fournir la rupture aérodynamique d'additionnel pendant l'atterrissage d'avion. L'inverseur de poussée peut être actionné seulement sur la terre.

Pendant l'atterrissage, quand l'avion touche la terre, le pilote a la possibilité pour employer le system d'inverseur de poussée pour ralentir la vitesse d'avion. Pour faire cela, l'engin (s) doit être au ralenti et la manette de poussée dans la zone renverse.

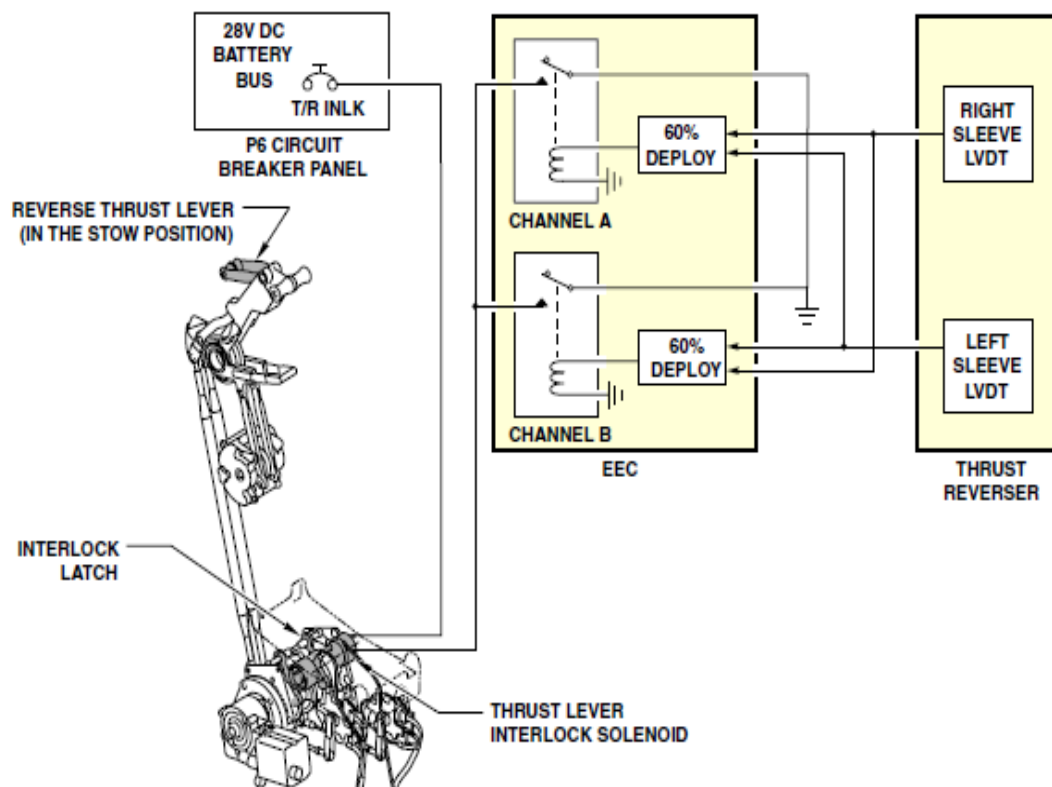


Figure (IV.13) : Le système d'inverseur de poussée

### IV.8.1. Description:

L'inverseur de poussée de fan est une partie du dispositif d'échappement et est localisé juste en aval de carter de fan.

Dans la configuration poussée directe (verrouillage) le capotage masque le volet inverseur de poussée, et ainsi fournir la canalisation d'écoulement de fan.

La configuration de l'envers poussée (déverrouillage), les volets inverseur de poussée sont déployés afin d'obstruer le conduit de fan et alors l'écoulement secondaire rejeté latéralement avec une vitesse vers l'avant.

#### Note:

L'écoulement de moteur primaire n'est pas affecté par le TR

- Pour donner l'accès au moteur l'inverseur se compose de deux demi-capots fan articulé au pylône et verrouilles au fond.

Le système d'inverseur de poussée inclut principalement:

- une unité de commande hydraulique (HCU).
- quatre volets inverseur de poussée.
- quatre verrous de porte.
- quatre commutateurs de position rentrée.
- deux doubles commutateurs de position sortie.
- Quatre déclencheurs.

### IV.8.2. Opération :

L'opération de contrôle d'inverseur de poussée d'ECU est responsable de l'ouverture et de fermeture des portes d'inverseur de poussée. La logique dépend de:

- Position de rétroaction de micro contacts (des commutateurs d'arrimage ou déploient),
- Poids sur les roues (WOW),
- Statue d'engin (s),
- Entrées de TLA.

L'ECU commande le HCV (unité de commande hydraulique) pour s'ouvrir ou se ferme l'inverseur.

### **A. Déverrouillage de l'inverseur:**

Après le signal de l'ECU, le HCU ouvre les quatre volets inverseur de poussée en série: quand les verrous sont ouverts le HCU s'applique la pression hydraulique au cote de déployer des déclencheurs.

Pendant que les portes éloignent de la position rentrée, les commutateurs de rentrée (un sur chaque porte) sont actionnés sur " unstow " position, fournissant l'indication de " REV " en ambre au cockpit.

A 95% de la position entièrement déployée, les commutateurs de sortie sont actifs, fournissant l'indication de " REV " en vert. Alors la pression hydraulique est enlevée du système.

### **B. Rangement d'inverseur de poussée:**

Quand l'inverseur est choisi, le HCU rétracte les déclencheurs et puis ferme les volets de l'inverseur: quand les portes a position repos, les verrous de porte sont engagés et ferme, des commutateurs d'arrimage sont également actionnes pour envoyer les signaux arrimes par inverseur au cockpit. L'indication de " REV" est ambre pendant le passage de portes et est verte en position repos.

### **C. Déverrouillage involontaire :**

En cas de déverrouillage involontaire de l'inverseur de poussée l'ECU rentrée l'inverseur :

- Au moins une, deux ou trois portes sont plus de 2 % ouverts.
- L'ECU rentre l'inverseur et ensembles la vitesse a ralenti Si :  
Les quatre portes sont ouvertes davantage qu'2%.

#### **Note:**

- Dans normale opération ECU placé l'engin(s) a ralenti quand les portes en transit.
- Le temps de mise en action pour tout le système est moins de 2 secondes, donc les porte de pivotement ne sont pas synchronisées.

- Le système d'inverseur de fan système de moteur et complètement indépendant de l'autre système de moteur.
- Tous les commutateurs de signal sont duels pour la redondance des canaux A et B en ECU

**D. Les limites :**

Quand le TLA est placé en pleine position renversée, le maximum de poussé peut obtenir est 81% de la poussée vers l'avant.

## V.1. DESCRIPTION DES COMPOSANTS :

### V.1.1. Ensemble Pompe et filtre:

La pompe de carburant pressurise et circule le carburant dans le circuit carburant. Les pompes des réservoirs fournissent l'approvisionnement en carburant jusqu'à l'admission de la pompe. Le carburant entre dans l'étage basse pression (LP) de la pompe. Après pressurisation initiale, le carburant est fourni à l'échangeur de chaleur principal d'huile / carburant. Là il refroidit l'huile du moteur.

Sur la décharge de l'échangeur de chaleur, le carburant coule de nouveau à la pompe. Il traverse un filtre jetable avant de subir une deuxième augmentation de pression à l'étage (HP) haute pression de la pompe. Le carburant entre alors dans le filtre de lavage où il est divisé en écoulement filtre et non-filtre. L'écoulement non-filtre dévie le filtre et entre dans l'unité hydromécanique de carburant (HMU). L'écoulement filtre entre par le réchauffeur de carburant et puis dans le HMU. Cet écoulement est suffisamment chaud pour empêcher le blocage des servomécanismes de HMU dus aux particules de glace.

Le carburant de renvoi dévie du HMU est tapé pour alimenter le radiateur d'huile du générateur intégré d'entraînement (IDG). Là il refroidit l'huile venant du moteur IDG. Le carburant revient alors à la pompe d'amont du filtre, des étages de pompe de carburant entre LP et HP. Le carburant retourne par l'intermédiaire d'un port situé sur l'échangeur de chaleur d'huile et carburant.

Ses filtres ou l'échangeur de chaleur devient colmatés: un certain nombre de clapets de dérivation (by-pass) sont fournis pour empêcher des habillages excessifs de pression.

### V.1.2. Le Filtre de carburant:

Le filtre de carburant est situé entre l'échangeur de chaleur principal d'huile / carburant et l'étage HP de la pompe. Il protège le HMU contre des particules en suspension dans le carburant. Il se compose d'une cartouche filtrante (32 microns) et d'une valve de décompression.

La cartouche filtrante est installée dans une cavité sur le corps de la pompe. La cartouche jetable de filtre est conçue pour maintenir le matériel. La cartouche est périodiquement remplacée et enlevée. En cas de filtre colmaté, une valve de décompression dévie le carburant à l'étage HP.

### V.1.3.le Filtre de lavage :

Le filtre de lavage (Wash filter) est situé à la sortie de l'étage HP incorporée avec le bloc de la pompe. Elle se compose d'un élément filtrant (65 microns) et d'une valve de décompression.

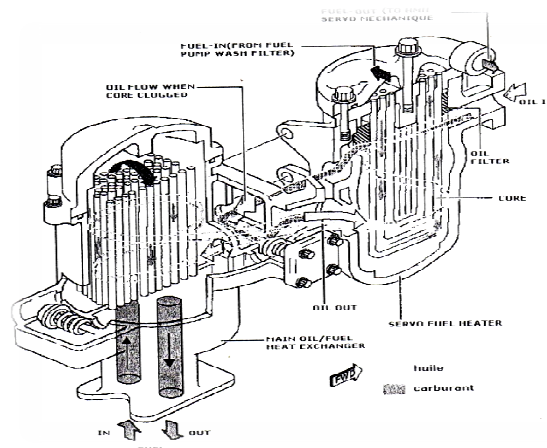
Il attrape les particules en suspension restant dans le carburant fournissant .aux commandes de l'unité hydromécanique. Si le filtre est colmaté, une valve de décompression dévie le carburant à l'entrée du réchauffeur de carburant.

### V.1.4.Réchauffeur de carburant:

Le réchauffeur de carburant est situé près de la pompe de carburant aux 9 heures de position montée sur l'échangeur principale de chaleur.

Le réchauffeur de carburant a pour but de chauffer la partie du carburant de moteur qui va être employé comme source d'énergie dans les commandes de servo- mécanismes de moteur. Cela pour empêcher le givrage du carburant d'asservissement. Le réchauffeur de carburant fournit le transfert thermique à partir de l'huile de graissage de moteur au carburant lui permettant d'être chauffé.

Le transfert thermique entre l'huile et le carburant est réalisé par la conduction et la convection forcée. Le réchauffeur de carburant est construit de telle manière que le secteur de contact maximum existe entre les écoulements de carburant et l'huile.



**Figure(V.1) :L'écoulement de carburant et l'huile à l'intérieur de réchauffeur de carburant**



### V.1.5. Le radiateur d'huile (IDG):

Le but est de refroidir l'huile venant du générateur intégré l'entraînement (IDG). La chaleur produite est transférée au carburant venant du HMU et retournant à l'échangeur de chaleur d'huile / carburant. Le radiateur d'huile d'IDG est situé en avant de l'AGB à la position de 5:30, à l'arrière regardant en avant.

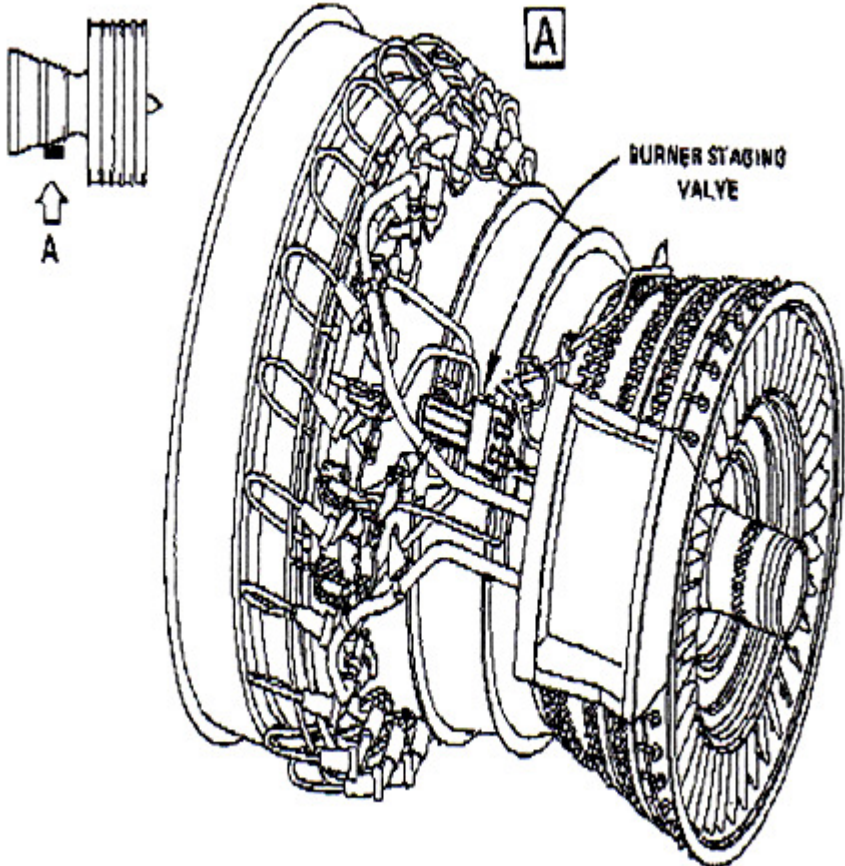
### V.2. LA VALVE DE SELECTION D'INJECTEURS (BSV):

La B.S.V est une valve pilote de l'isolement de carburant qui est conçue pour le moteur en travail avec entre 10 ou 20 injecteurs de carburant. Elle réduit la combustion de carburant, améliore les caractéristiques de dosage et pour avoir tous les régimes moteur (accélération – décélération). L'opération de BSV est commandée par l'ECU qui programme un solénoïde de valve sur le HMU.

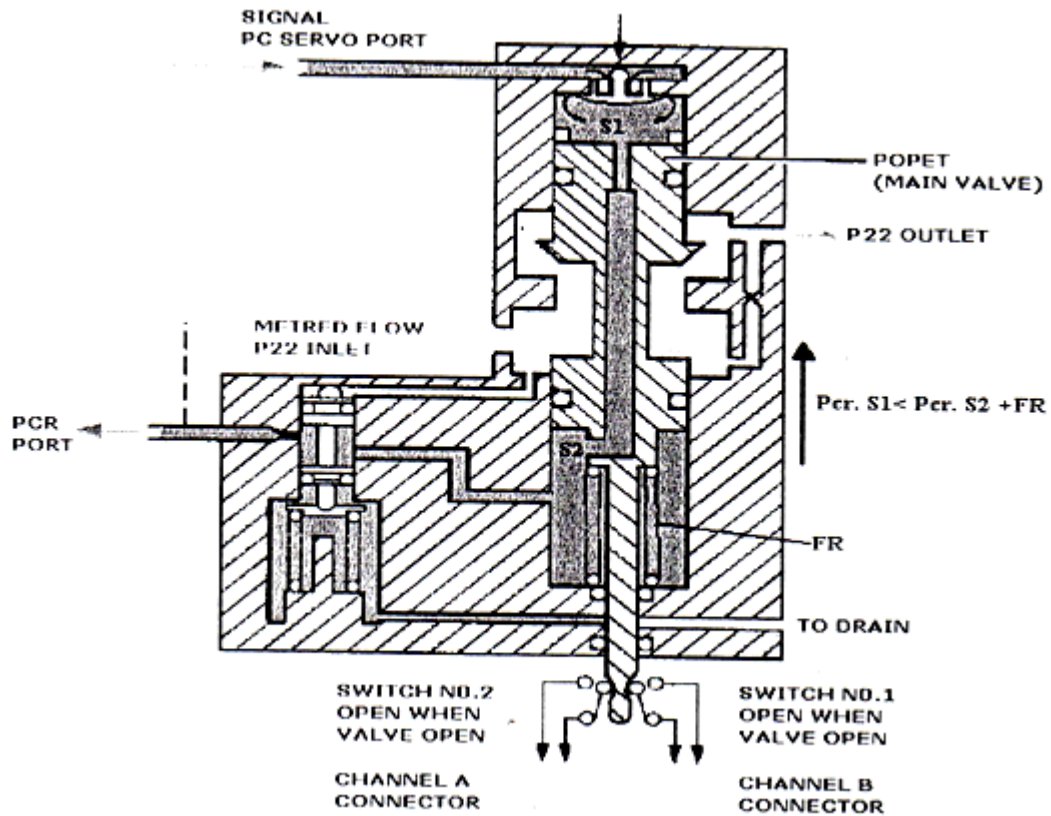
La BSV est installée sur la caisse de compresseur aux 6 h .00 et peut être enlevée et remplacée en ligne (sur piste)

- En position d'ouverture le carburant basse pression (Pcr) est fourni à l'un des deux extrémistes du piston .qui est égal à la pression de carburant maintenue à l'autre extrémité Pcr. Un ressort maintient le piston dans la position d'ouverture permettant l'écoulement de carburant (p 22) vers les 10 injecteurs. Dans ce cas on a un régime Accélération Figure
- Pour fermer la valve, un signal électrique de l'ECU active un solénoïde permettant à un carburant à haute pression (Pc) de couler dans l'extrémité supérieure du piston. À l'extrémité opposée une basse pression (Pcr) est maintenue. Comme la pression Pc est supérieure à Pcr, le piston de la valve ferme l'ouverture de la canalisation du carburant vers les 10 injecteurs. En position de fermeture la différence de pression entre le Pc et le Pcr est égale à 150 si.

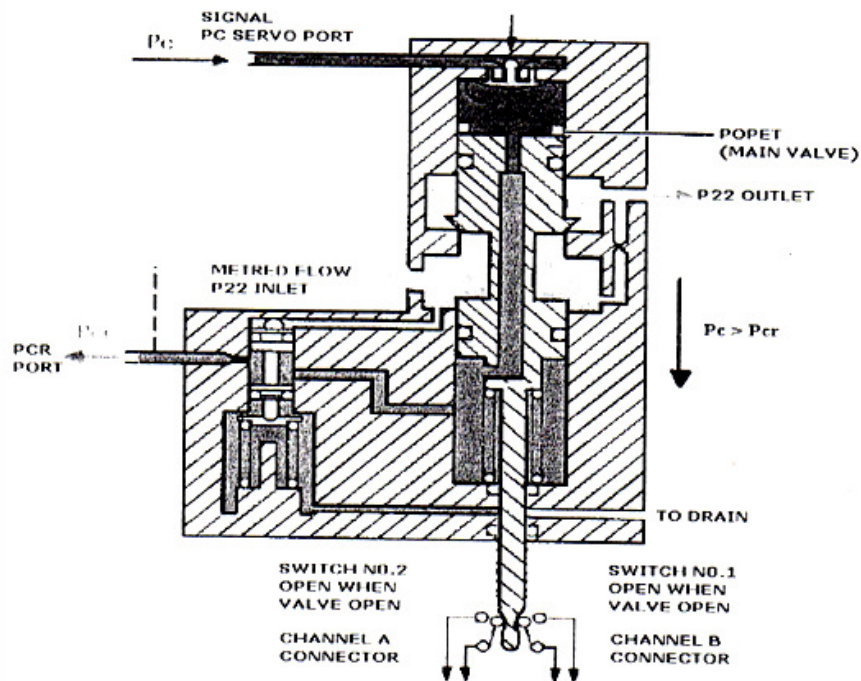
Quand la valve est entièrement en position (fermée ou ouverte), deux commutateurs sont fermés afin de fournir la position de la valve à l'ECU. Ce signal est appelé le signal de retour. La BSV a également une valve de dépassement qui surveille la pression d'alimentation en carburant aux injecteurs. Si cette pression monte près de la gamme de 200-300 psi, la valve servo limite l'écoulements du Pcr.



Figure(V.2) : La location de BSV



Figure(V.3) : La position ouverte de la BSV

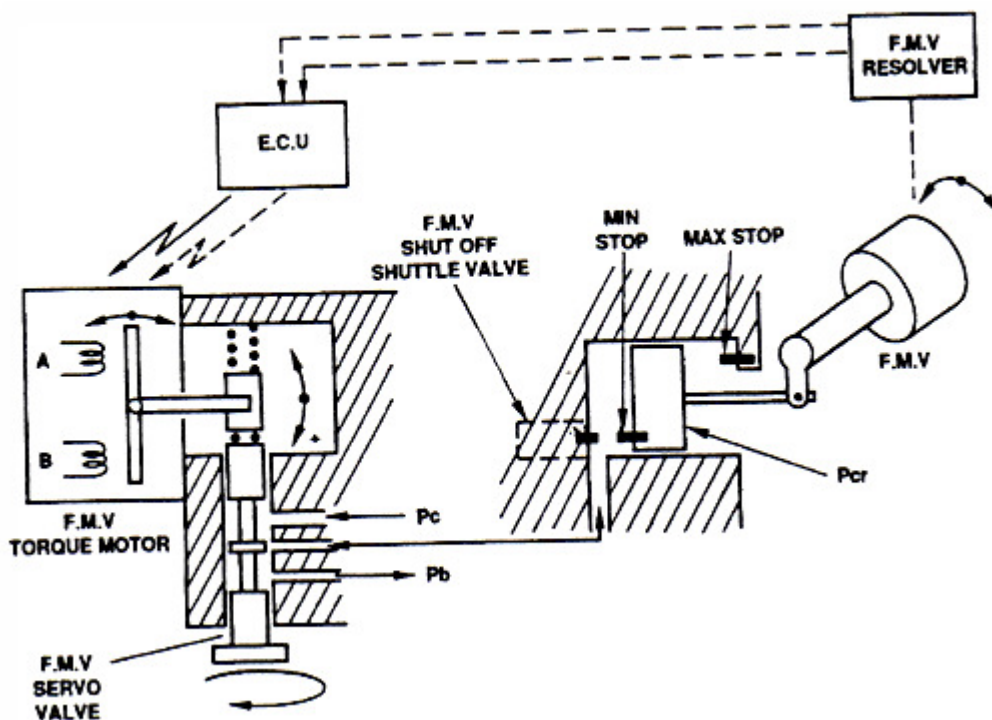


Figure(V.4) : La position fermée de la BSV

### V.3. LE SYSTEME DE DOSAGE DE CARBURANT (FMV):

Le système de dosage de carburant contrôle le débit de carburant vers les injecteurs, d'après des commandes de l'ECU. Les composants du système sont:

- La valve de dosage de carburant (FMV)
- Un résolveur pour le signal de retour.
- System de regulation delta P/By-pass.

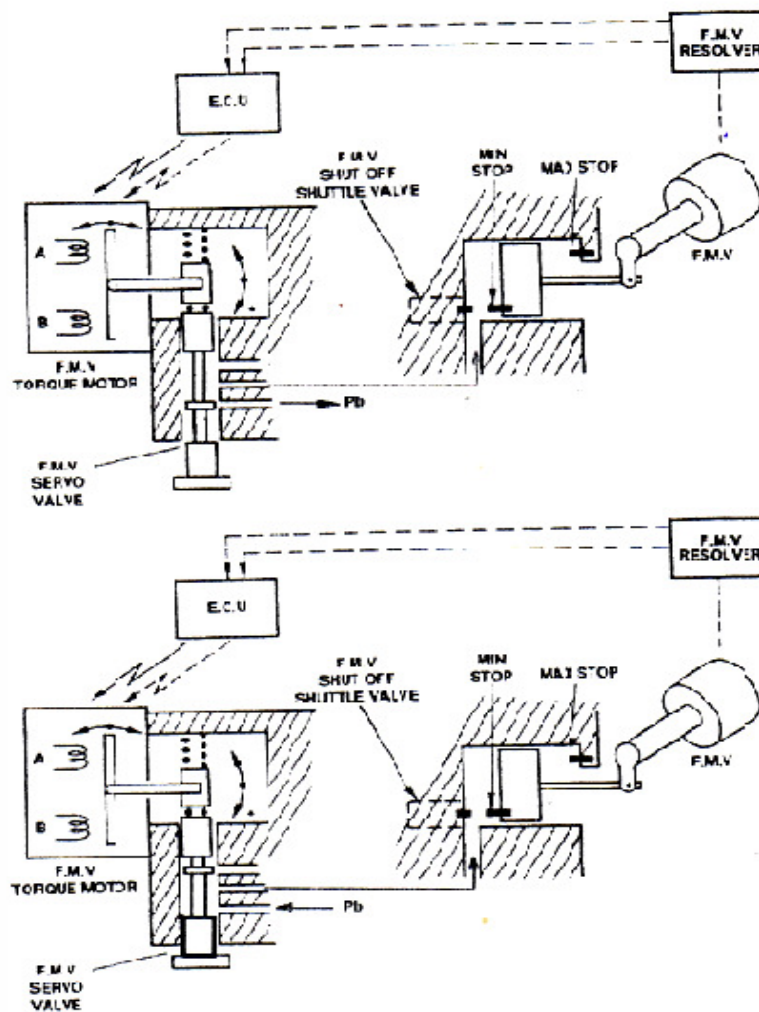


Figure(V.5) : Le système de dosage de carburant FMV

L'ECU envoie un signal électrique vers le FMV pour changer leur position c'est-à-dire modifier le débit de carburant vers les injecteur, puis le résolveur renvoie un signal de retour proportionnel à la position de la valve de dosage (FMV). Le delta P/ et la valve by-pass assure une pression constante traversant la valve de dosage (FMV).

### V.3.1. Fonctionnement de la valve de dosage (FMV):

Le moteur couple reçoit un signal électrique de l'ECU. Ce dernier est convertie a un mouvement axial d'un piston (servo valve), qui module la pression envoie a la face tête du piston tel que l'autre face du piston est toujours alimentée par la pression  $P_{cr}$ . Comme la pression  $P_c$  est supérieure a  $P_{cr}$ . le piston ce déplace cc qui résulte la rotation de la valve FMV. A chaque position de la valve de dosage le FMV resolver renvoie un signal de retour vers l'ECU.



Figure(V.6) : Fonctionnement de la valve de dosage (FMV)

### V.3.2. Le system e regulation delta P et by-pass :

La pression différentiel delta P et la valve By-pass règle la pression de carburant qui traverse la valve de dosage de carburant vers une valeur constant 36 psi a fin d'assure que le débit du carburant diffuse soit proportionnel a la position de la valve HMU.

Le détecteur delta capte la pression de carburant qui traverse la valve de dosage (FMV) et la compare avec la force de rappel du ressort qui est calibre a 36psi. A la position nul des deux pressions d'entre la valve de dosage sont égaux se qui implique la stabilité du delta p, donc le piston dévient déséquilibre et se déplace axialement

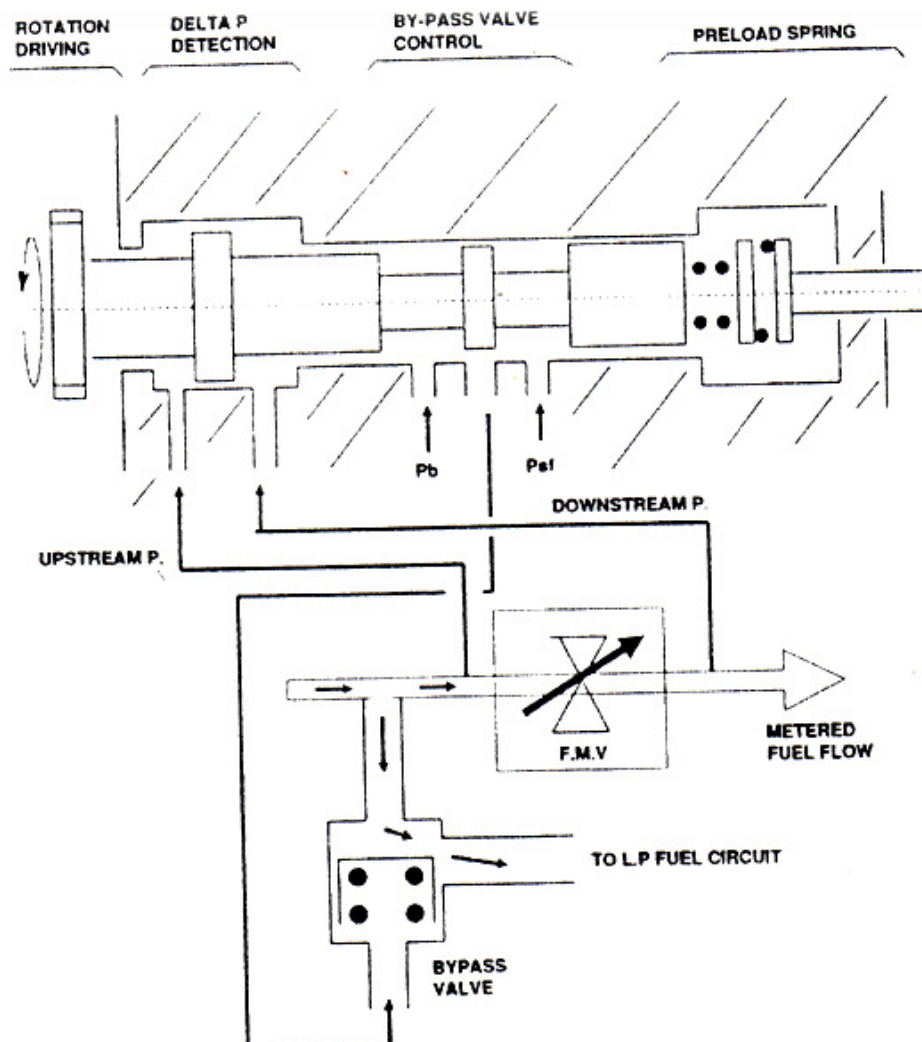


Figure (V.7): Le system e regulation delta P et by-pass

**V.4. SYSTEME DE REGULATION DE SURVITESSE:**

Le régulateur de survitesse limite la vitesse du moteur à une valeur maximale 105,4%- 107,2%. Il fonctionne hydro- mécaniquement, indépendant de l'ECU et en série avec la valve By-pass. Par conséquent le débit de carburant qui s'écoule dans la FMV diminue la survitesse du moteur.

**V.4.1.condition normal ( $N_2 < \text{overspeed}$ ):**

Dans les conditions normales, la force des masses lots n'est pas suffisante pour contracter la charge du ressort. Dans ces conditions la valve pilot du régulateur assure l'alimentation du détecteur delta P par la pression  $P_{sf}$  ( $P_{sf} > P_{cr}$ ).

Ce dernier est envoyé directement à l'entre de la valve By-pass pour maintenir le fonctionnement normale de la FMV et avoir une alimentation du carburant relatif au regimes.

**V.4.2.condition de survitesse ( $N_2 > \text{overspeed}$ ):**

Des que la vitesse  $N_2$  dépasse la valeur 98% la force des masse lots sera égale avec la force de rappel du ressort, avec l'augmentation de la vitesse la valve pilot se déplace vers la droite se qui implique la diminution de l'alimentation de la pression  $P_{sf}$  vers le détecteur delta P.

Lorsque la vitesse  $N_2$  dépasse les limites (approximativement 105,4% -107,2%). Le  $P_b$  sera refoulée vers la valve delta P. et l'alimentation de  $P_{sf}$  sera interrompu, se qui provoque l'ouverture de la valve By-pass, par déference de pression ( $P_{cr} > P_b$ ) se qui engendre la diminution du débit de carburant qui traverse la valve de dosage (FMV) se qui permet de diminuer la vitesse  $N_2$

## VI.1.INTRODUCTION :

On a fait cette réalisation pour objectif de donner une vue d'ensemble de system sans aller au moteur. Et pour une meilleure compréhension de ce circuit .ainsi que la maquette est pratique et les étudiants peuvent l'exploiter à la future.

## VI.2. LA CONCEPTION DE LA MAQUETTE :

### ✚ Mesure de la maquette :

On a choisit une plaque en bois « isorel »...Avec une épaisseur de 3 mm et longueur de 125 cm et 100 cm de largeur

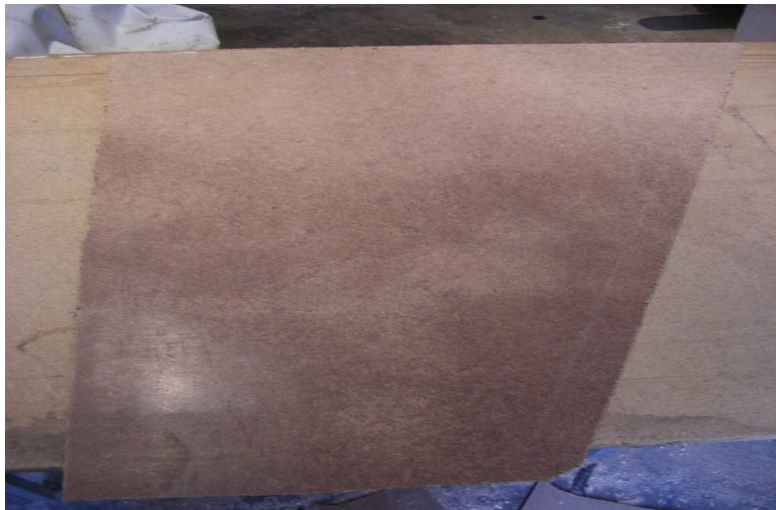


Figure (VI.1) : plaque en bois « isorel »

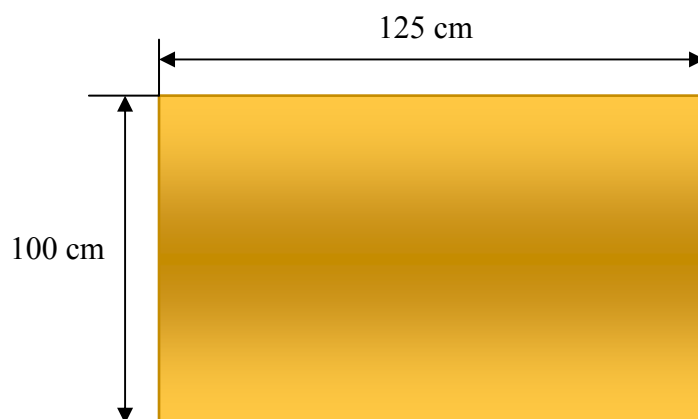


Figure (VI.2) : Les dimensions de la maquette



### VI.3. LA CONCEPTION SUR CAO :

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels qu'on à utiliser pour imprimer le schéma sur un autocollant - à l'aide des techniques de simulation numérique .

On a utilisé 02 logiciels

Le **Photoshop** pour traité le schéma assisté par l'ordinateur et faire des modifications sur le schéma source

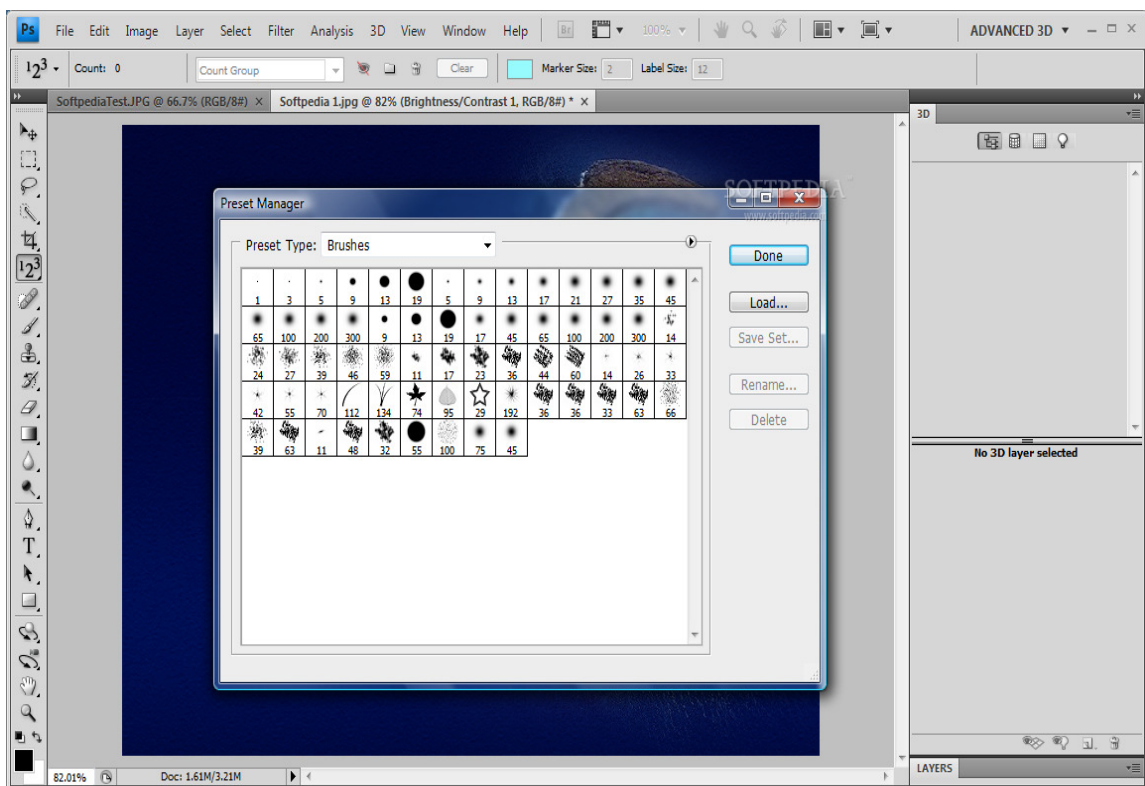


Figure (VI.3) : Photoshop

Le **Photo filtre** pour agrandir l'image sans perdre de qualité



**PhotoFiltre 6.2.3**  
06/03/2006  
Copyright © 2001-2006 Antonio Da Cruz  
<http://www.photofiltre.com>  
<http://www.photofiltre-studio.com>

---

Utilisation privée, non commerciale ou éducative  
(incluant les organisations à but non lucratif)

Figure (VI .4) : Photo filtre

## VI.4. LES CARTES ELECTRONIQUES :

Première étape de la fabrication de la carte, la conception est incontournable. La maîtrise de la conception viendra avec le temps, en connaissant plus de circuits...

### VI.4.1. La Précision de l'idée :

Nous partons avec une idée de base. Avant de commencer, il faut s'assurer que le problème soit bien cerné. Posez-vous des questions : "Je veux de la lumière" d'accord mais pour quel usage ? dans quel endroit ? Quelle fréquence de fonctionnement ? Etc.

### VI.4.2. La Recherche :

La création d'une carte électronique passe tout d'abord par une phase de recherche. Quels composants utiliser ? Dans quel montage ? Est-ce que le composant va pouvoir supporter l'intensité du courant ou la fréquence d'utilisation ? Combien coûte-t-il ? Faudra-t-il modifier les objectifs de la carte ? Ces questions sont essentielles car on ne peut transgresser les lois du marché et de la physique. Pour pouvoir tester le montage avant de le « figer » sur la carte.

### VI.4.3. Le Schéma :

Il faut ensuite concevoir le circuit électronique avec un logiciel spécialisé (qui fait parfois simulateur). Pour convertir le schéma du carburant a un schéma électronique on a utilisé un logiciel, ce logiciel « **Solve Elec** » est une petite application permettant de dessiner et d'analyser des schémas de circuits électroniques et en régime continue (DC). Il est possible d'utiliser des résistances, des diodes, des LED, des lampes, ou encore des interrupteurs.

### VI.4.4. Le Routage :

Une fois le schéma électronique terminé, on l'a basculé dans la conception du typon (fréquemment en utilisant la même suite logicielle). Cette étape est longue puisqu'il faut optimiser la position des composants de façon à avoir le nombre minimal (zéro est recherché) de straps, c'est-à-dire de connections faites entre deux points de la carte par un fil puisqu'on n'arrive pas à trouver un chemin pour les connecter sur la carte.

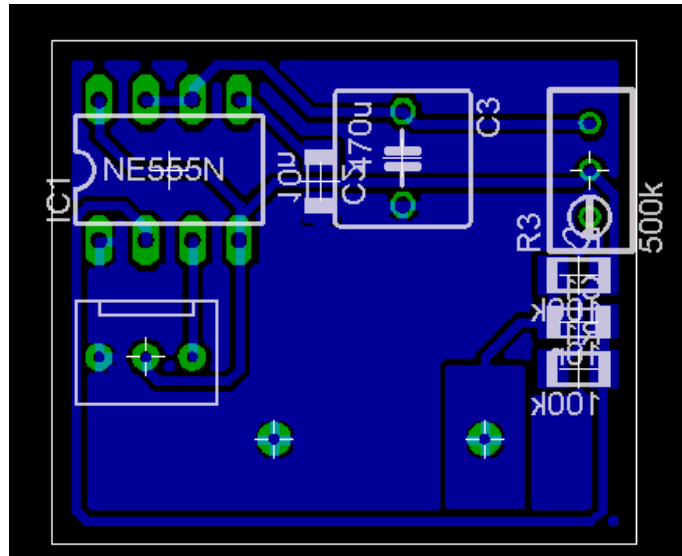


Figure (VI.5) : La carte routée.

#### VI.4.5. La Création de la carte :

Cette étape nécessite d'avoir du matériel spécialisé à disposition. A défaut, vous pouvez vous faire créer vos cartes avec des services spécialisés (revendeur électronique, site internet...).

#### VI .4.6. L'impression :

On a imprimé notre typon sur un papier transparent. Le plus simple que nous ayons trouvé est d'utiliser du papier calque.

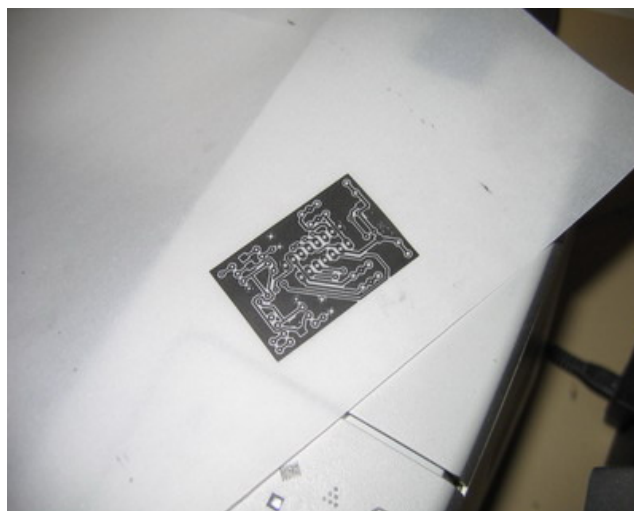


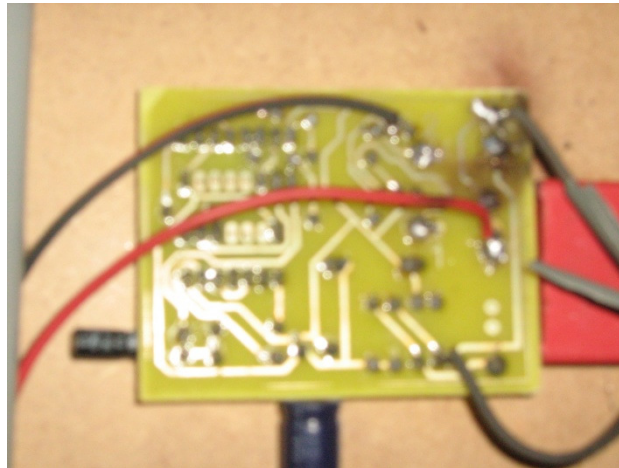
Figure (VI.6) : La carte imprimée sur du papier calque

### VI. 4.7. Le découpage de la carte :

Ensuite on découpe un morceau de plaque pré-sensibilisé inutilisé d'une dimension légèrement supérieure à la dimension du typon. Une fois terminé, il faut limer les bords de la carte de façon à ce que la surface sur laquelle on va imprimer soit lisse, c'est très important.

### VI.4.8. L'insolation :

Cette étape nécessite une insoleuse à UV. Elle s'achète ou se fabrique. Un miroir placé au fond permet de bien positionner la carte sur le typon. Il faut veiller à ce que le calque soit placé du bon côté, pour ce faire vous pouvez inscrire dessus un mot lors de sa conception et le placer de façon à ce qu'il soit lisible.



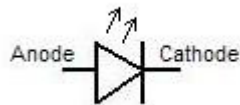
Figure(IV.7) : La carte électronique prête

### VI.5.LAMPE UTILISE :

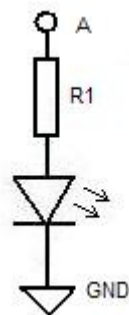
On a utilisé presque 500 leds dans la réalisation et LED est un composant très pratique que l'on rencontre partout de nos jours. En français, elle est appelée Diode Electro Luminescente (DEL)

Elle possède la particularité de générer de la lumière lorsqu'elle est parcourue par un courant.

Son symbole électronique est le suivant:



Le montage classique d'une LED est le suivant:



On applique une tension en A. On place une résistance entre R1 et la LED.

Pour une tension  $V_{cc}$  de 5V et un courant  $I_{cc}$  de 2mA, et un seuil de diode  $V_d$  de 2V, la valeur de la résistance est donnée par:

$$V_{cc} = R1 \times I_{cc} + V_d$$

D'où:

$$R1 = (V_{cc} - V_d) / I_{cc}$$

Dans notre exemple, on calcule  $R1 = 1,5k\Omega$ !

**Note:**

Les LED possèdent des tensions de seuil  $V_d$  différentes.



**Figure (VI.8) : photo d'une LED rouge avec son support pour châssis**

**VI. 6. LE MONTAGE :**

Les outils nécessaires pour le montage :

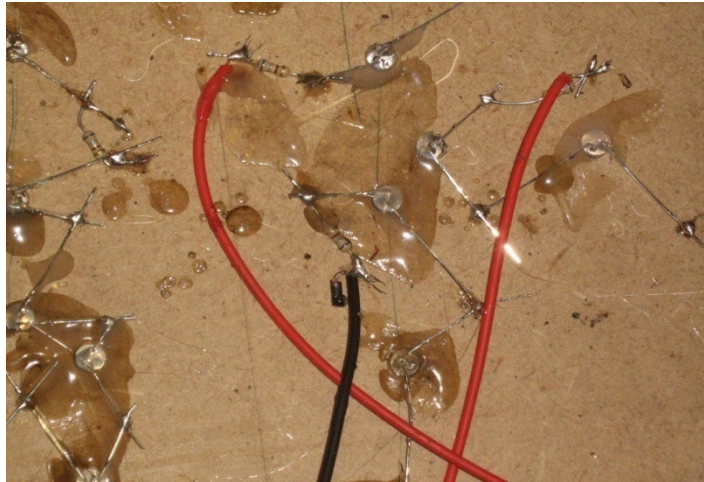
- une cale en bois pour placer sous la pièce à percer ;
- une perceuse ;
- des mèches ;
- du papier de verre fin.
  
- un fer a soudé
  
- des câbles pour le raccordement

**VI.6.1. Le perçage :**

Il s'agit de percer la plaque aux endroits qui doivent recevoir les pattes d'un composant. Ces emplacements sont normalement facilement repérables sur la carte. Le perçage s'effectue à l'aide d'une petite perceuse à colonne. Choisissez le bon foret, ni trop large (la soudure sera difficile !), ni trop étroit (la patte ne passera pas). Il

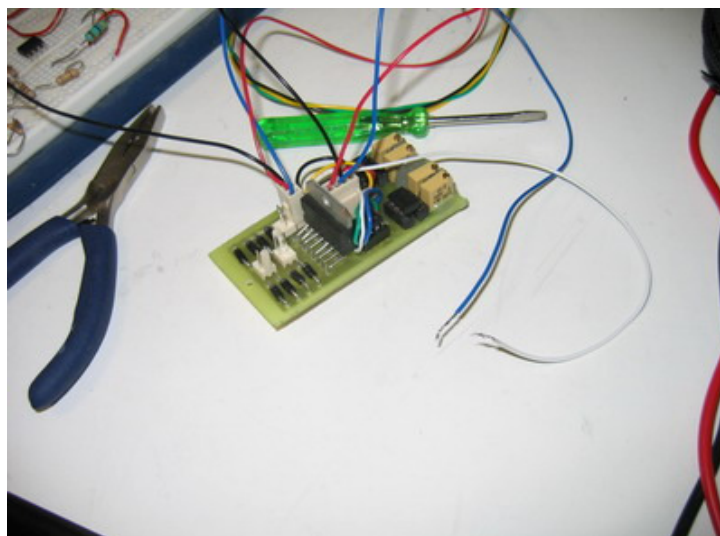
### VI.6.2. La soudure :

Il faut ensuite souder les composants sur la plaque. Pour ce faire, il faut procéder par ordre de taille croissante : d'abord les composants CMS... et terminer par les tulipes et connecteurs.



**Figure (IV.9) : Montage et soudure des composants électriques**

Pour souder, il faut chauffer, au moyen d'un fer à souder, en même temps le cuivre de la piste et la patte du composant. On applique ensuite de l'étain, qui va s'attacher aux parties chaudes uniquement : il faut donc que la soudure ressemble à une pyramide et non à une boule. S'il refuse de se coller sur la piste chaude... c'est que la plaque a été mal faite ! Parfois, repasser un coup la carte à l'acétone marche mais pas toujours.



**Figure (VI .10) carte mémoire raccordé aux câbles électrique**



VI.6.3. Tests de fonctionnement :

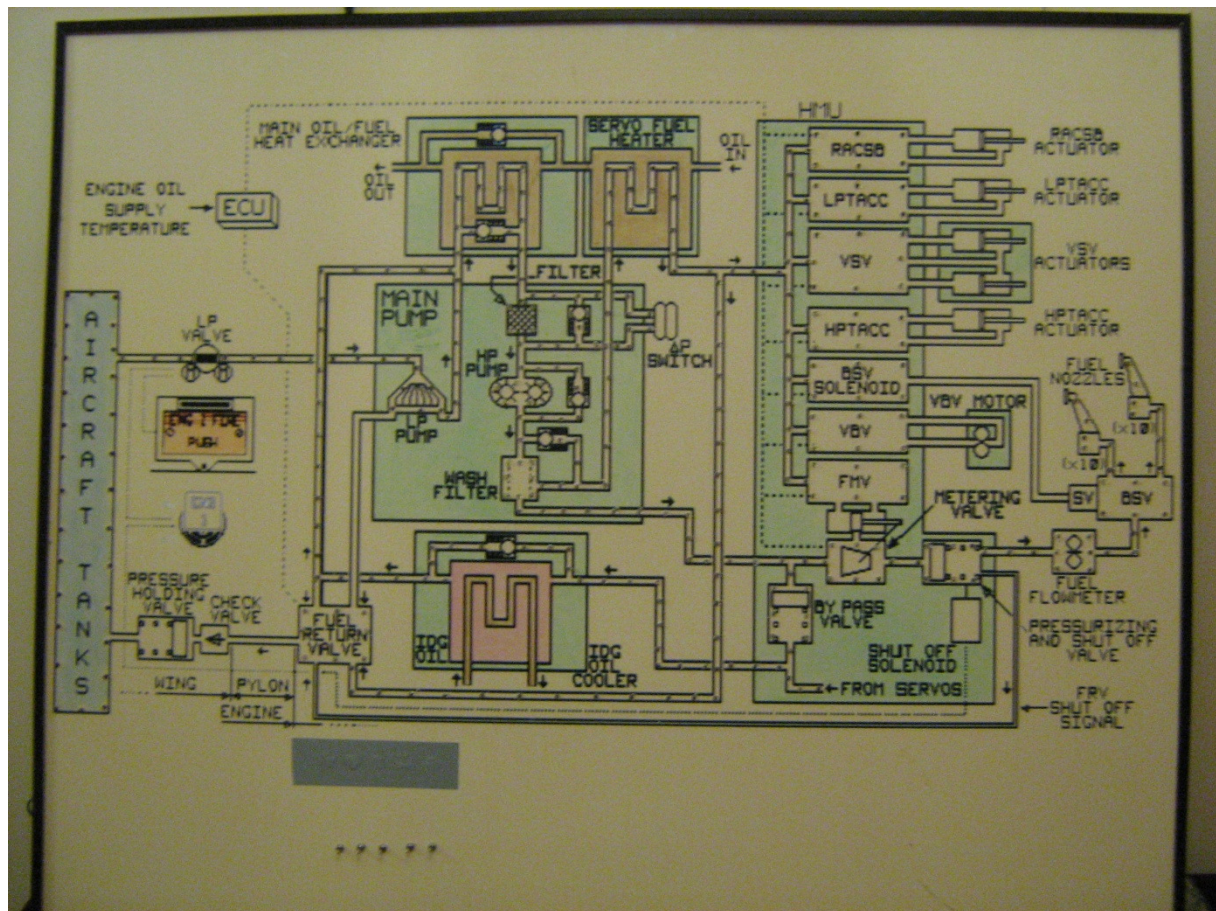


Figure (IV.11) la maquette après le montage

## VI.7. LA REALISATION DE LA MAQUETTE :

Après avoir conceper tous les éléments constituant a notre maquette on passe ensuite à l'étape de la réalisation.

### ✚ La simulation de différents cas de fonctionnement :

- **L'alimentation du carburant :** le carburant fournit a partir de réservoir passe par la pompe centrifuge (partie BP de la pompe) puis a travers l'échangeur de chaleur huile/carburant et une pompe de carburant volumétrique (partie HP de la pompe) et Wash filtre le carburant est délivré au HMU dans 02 débits

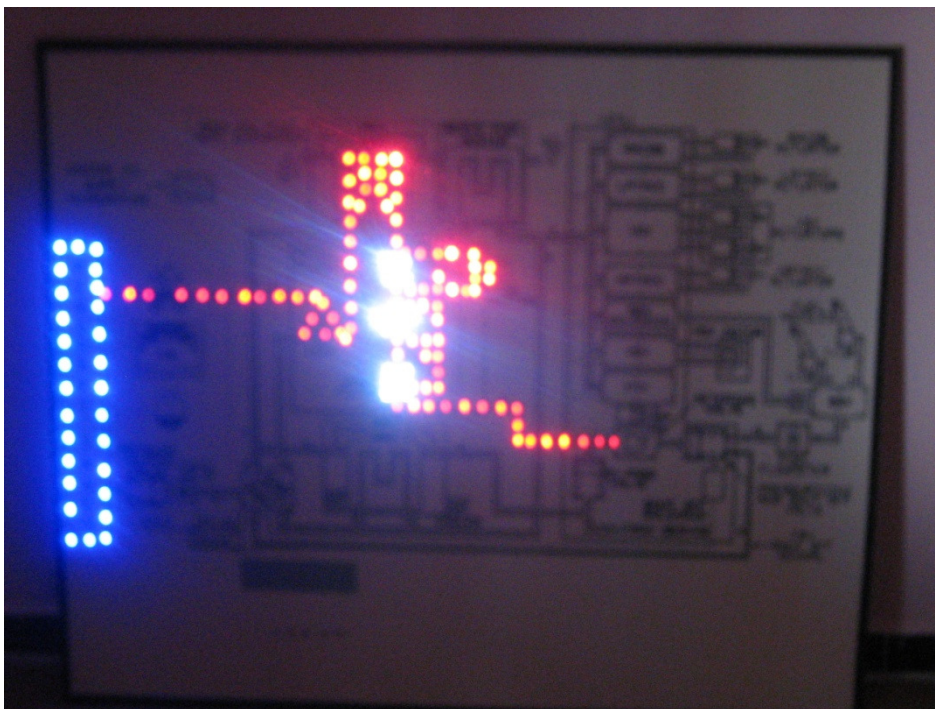


Figure (VI.12) : Les cas l'alimentation du carburant

- **Dosage du carburant :** le débit principal du carburant fournit à la section de HMU passe par la valve de dosage puis par la valve de pressurisation (dans la HMU) .il passe à travers le débitmètre carburant et le BSV jusqu'à les injecteurs.

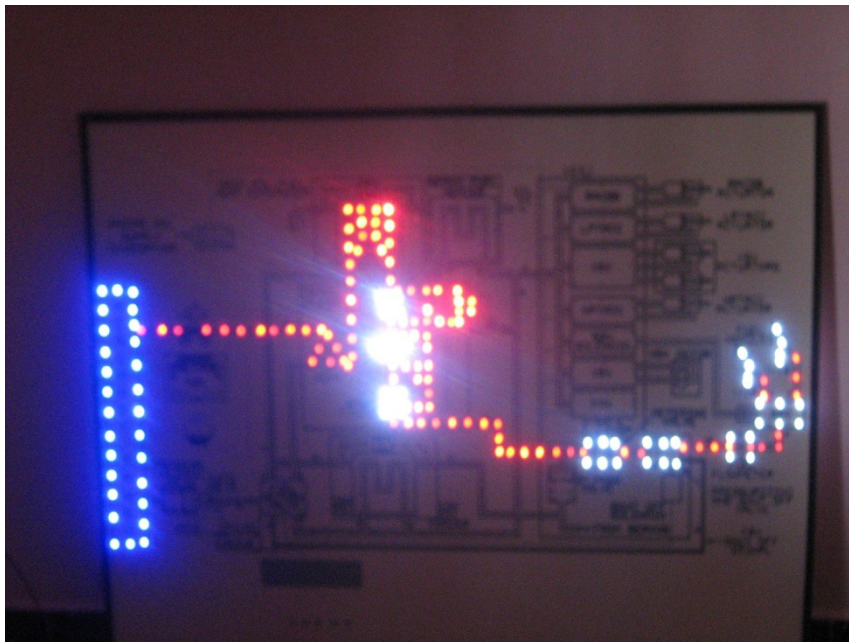
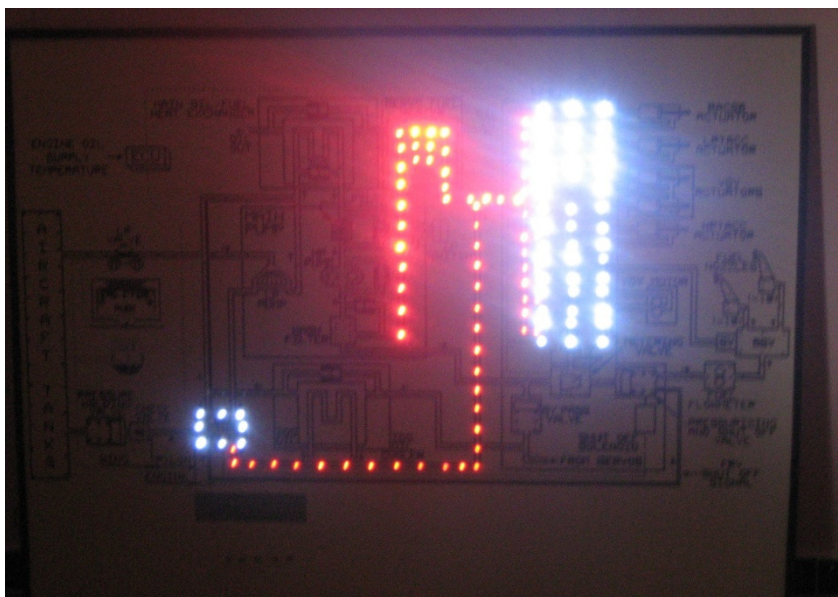


Figure (VI.13) : 2eme cas le dosage du carburant

- **Le servomécanisme de carburant :** l'autre part de débit de carburant délivrer puis vers le réchauffeur carburant vers le HMU. Une part de carburant qui n'a pas est envoyé au HMU va a la valve de retour de carburant.



Figure(VI.14) : 3eme cas servomécanisme du carburant

- **Echangeur de chaleur huile /carburant** : le carburant\_ qui revient des asservissent et celui qui n'a pas envoyé vers les injecteur va au refroidisseur d'huile IDG puis ce carburant est retourné a la pompe BP et rentre au circuit de nouveau.

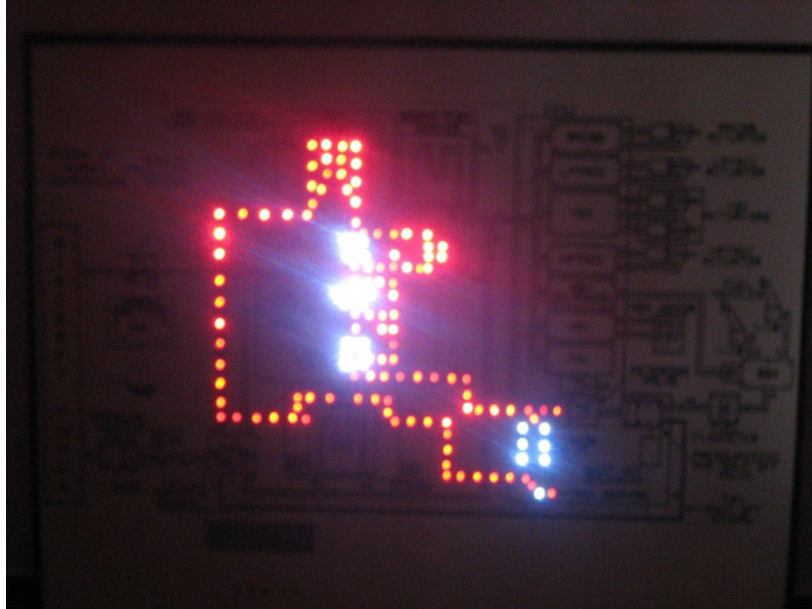


Figure (V.15) : 4eme cas échangeur huile/carburant

## CONCLUSION

---

Ce travail nous a permis D'améliorer nos connaissances dans le domaine des turboréacteurs en générale et du moteur **CFM56-5B** particulièrement. D'autre coté la réalisation de la maquette de circuit de carburant, malgré qu'elle n'est pas parfaite Nous a donné une compréhension plus profonde et plus complète de ce système.

Ainsi on conclue que le circuit de carburant est un system complexe dans l'avion. Mais si on décompose le passage du carburant dans les tuyauteries étape par étapes en forme simple, le système devient plus clair et plus facile à comprendre.et c'est notre bute destiné.

En fin nous souhaitons que notre travail servira les futurs étudiants. Et on espère qu'il puisse être amélioré.

---

## BIBLIORAFIE

---

+ Training manual cfm56-7b

Basic engine-sep 2003-level 4

+ Aircraft maintenance manual

AMM-ch79

+ [www.snecma.com](http://www.snecma.com)

+ maintenance courseware

---



# Chapitre I

## Historique



# Chapitre II

## Description du moteur CFM56-5B





# Chapitre III

## System FADCC



# Chapitre IV

## Les circuits moteurs



# Chapitre V

## Le circuit Carburant



# Chapitre VI

## La réalisation