

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche scientifique  
Université SAAD DAHLAB Blida  
Faculté des sciences de l'ingénieur

Département d'Aéronautique

Projet de fin d'études En vue de l'obtention du Diplôme des  
Etudes Universitaire Appliquées (DEUA) en aéronautique  
Option : propulsion

**Thème:**

***ETUDE COMPARATIVE  
DES SYSTEMES HYDROMECHANIQUES  
DES DEUX MOTEURS  
CF6-80 E1 & CFM56-7B***

Réalise Par:

Abderrahmene Belbaki

&

Rassim Moussouni

Promoteur :

Mr : Abada Omar

Promotion : 2008

# ملخص العمل:

---

ان الهدف المسطر من خلال العمل الذي قمنا به يتمثل أساسا في دراسة النظام الهيدرو ميكانيكي المستعمل في المحرك النفاث CF6-80 E1 و نظيره المستعمل في المحرك النفاث CFM 56-7B. ولقد مكنتنا هذه الدراسة من فهم واستيعاب مختلف الأجزاء المكونة لهذا النظام وطريقة عملها. وفي الأخير المقارنة بين هذين النظامين الهيدروميكانيكيين.

## The Work Resume:

---

The objective of our work is to prepare a descriptive study of the hydraulic system of engine CF6-80 E1 and engine CFM 56-7B. Beginning with general description of the two engines, one will include understand their various components clearly. However the goal is also to include understand the principle of operation of the two hydraulic systems of these two engines and finally to compare them.

## RESUME DE TRAVAIL:

---

L'objectif de notre travail est d'élaborer une étude descriptive du système hydromécanique du moteur CF6-80 E1 et du moteur CFM 56-7B. Grâce à une étude descriptive générale des deux moteurs, on comprendra clairement leurs différents composants. Cependant le but est aussi de comprendre le principe de fonctionnement des deux systèmes hydromécaniques de ces deux moteurs et finalement de les comparer.

# Remerciement

D'abord et avant tous, nous remercions Dieu « Allah » le tout puissant de nous avoir donné la patience et le courage et de nous avoir aidé à réaliser ce travail et de ne pas nous avoir laissé même dans les moments les plus difficiles. Et notre prophète « Mohamed » que le salut de Dieu soit sur lui.

En second lieu nous tenons à remercier notre promoteur et au même temps notre professeur Mr. **ABBADA OMAR**, ne pas oublier aussi MR. **GUELLATI KAMEL**, pour leurs encouragements et leurs conseils qui nous étés très bénéfiques.

Nous tenons également à remercier tous nos professeurs de l'institut d'aéronautique de Blida qui ont assuré notre formation pendant ces trois années. Et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de notre travail de fin d'études.

Merci pour tous.

# Dédicace :

Je tiens tous d'abord à dédier mon travail à mes très chers parents qui mon aider et encourager pendant toute mes périodes d'études et qui mon toujours guidé vers le bon chemin.

Aussi je le dédie à :

- ✚ mes chers frères et sœurs.
- ✚ ma chère grand-mère.
- ✚ Mes très chers oncles et tantes.
- ✚ Mes très merveilleux amis et surtout Mohamed, Khalil et Amer et Adel El-Beskri.
- ✚ Je le dédie aussi à tous ceux qui mon aidé à réaliser ce travail surtout notre collègue Aicha et à toute la promotion 2008.
- ✚ Ainsi qu'à mon très cher binôme Rassim et toute sa famille.
- ✚ Enfin je le dédie à tous ceux qui me connaisse et qui ont contribué à la réalisation de ce travail de près ou de loin.



# Dédicace !

Je dédie ce travail à mon très cher père Kamel et ma merveilleuse mère Fatiha, qui mon toujours soutenues et encourager depuis le début de mes études et qui ont su me montrer le droit chemin et qui ont veillé à ce que je ne manque de rien.

- ✚ Aussi, je le dédie à ma seule et unique sœur Manel, que je remercie pour son soutien permanent.
- ✚ Je tiens aussi à le dédier à mon grand-père et grand-mère à mes très chères tantes et oncle maternel et leurs maries et leurs enfants respectives.
- ✚ Je dédie ce travail à mes défunts grands parents paternels.
- ✚ Ainsi qu'a mes merveilleuses tantes et oncles paternel et tous mes cousins et cousines ainsi qu'au nouveau venant qui égaillera la famille Moussouni.
- ✚ Je le dédie à Kika et ces filles et leurs maries et leurs petits.
- ✚ Et je le dédie surtout à mes amis : Mahmoud- Moh- Khalil- Mohand- Houcine, Ismail- Kamel- Salim- Nasro- Bilel- Mahrez- Mâamar-Yacine- Abdelhak.
- ✚ Aussi, je le dédie à Aicha qui nous a aidé beaucoup et toute la promo 2008.
- ✚ Sans oublier mon cher binôme Abderrahmane et toute sa famille Belbaki.
- ✚ Enfin je le dédie à tous ce qui me connaisse et tous ceux qui mon aidé de près ou de loin à réaliser ce travail et toutes les personnes qui sont chers à mon cœur.



# Le sommaire :

**Remerciement.**

**Dédicace.**

**Le sommaire.**

**Liste des figures.**

**La liste des abréviations.**

**Les unités utilisées en aéronautique.**

**Les valeurs des unités.**

**Introduction.**

**Historique.**

## **Chapitre I : Description des deux moteurs CF6-80 E1 et CFM56-7B.**

<b>I-1. Introduction.....</b>	<b>7</b>
<b>I-2. Caractéristique principales du moteur CF6-80 E1.....</b>	<b>9</b>
<b>I-3. Caractéristiques principales du moteur CFM56-7B.....</b>	<b>10</b>
<b>I-4. Les capotages du moteur.....</b>	<b>11</b>
<b>I-5. Les différents modules du moteur.....</b>	<b>12</b>
<b>I-5.1. Le module Fan. ....</b>	<b>13</b>
<b>I-5.1.1. Fan Rotor.....</b>	<b>14</b>
<b>I-5.1.2. Fan Stator.....</b>	<b>16</b>
<b>I-5.2. Le module Core.....</b>	<b>18</b>
<b>I-5.2.1. Le compresseur haute pression (HPC).....</b>	<b>18</b>
<b>I-5.2.2. La chambre de combustion.....</b>	<b>20</b>
<b>I-5.3. Le module turbine haute pression (HPT).....</b>	<b>21</b>
<b>I-5.4. Le module turbine basse pression (LPT).....</b>	<b>23</b>

I-5.5. Le module Gear box.....	24
I-6. Paliers et roulements.....	26
I-7. Les stations aérodynamiques.....	27

## **Chapitre II : Les systèmes hydromécaniques du moteur CF6-80 E1.**

II-1. Le système FADEC.....	29
II-1.1. Description générale.....	29
II-1.2. L'intérêt du contrôle numérique.....	29
II-1.3. Mode de fonctionnement du système FADEC.....	31
II-2. Les unités du système FADEC.....	33
II-2.1. L'unité électronique du contrôle moteur CF6-80 E1(ECU).....	33
II-2.1.1. L'alimentation électrique de l'unité de contrôle électronique(ECU).....	37
II-2.1.2. Dimensions et poids de l'unité de contrôle électronique.....	38
II-2.2. Le système hydromécanique.....	38
II-2.2.1. L'unité hydromécanique HMU.....	38
II-2.2.1.a. Généralité.....	38
II-2.2.1.b. Les électro hydrauliques servo vannes (EHSV).....	40
II-2.2.1.c. Fonctionnement du HMU.....	42
II-2.2.1.d. L'alimentation en carburant du HMU.....	45
II-2.2.1.e. Schéma représentatif du HMU.....	46
II-3. Le circuit carburant.....	47
II-3.1. Généralité.....	47
II-3.2. Le rôle du circuit carburant.....	48
II-3.3. Composition du circuit carburant.....	48
II-3.3.1. Pompe à carburant.....	49
II-3.3.2. Le filtre inter étage.....	50
II-3.3.3. Clapet de surpression.....	50
II-3.3.4. L'échangeur de chaleur carburant/huile.....	50

II-3.3.5. Le filtre carburant.....	51
II-3.3.6. Le Switch de surpression. ....	52
II-3.3.7. Le réchauffeur servo fuel.....	52
II-3.3.8. Transmetteur de débit carburant (Débitmètre).....	53
II-3.3.9. L'échangeur huile/carburant de l'alternateur IDG. ....	54
II-3.3.10. La rampe de carburant.....	55
II-3.3.11. Les injecteurs.....	55
II-3.3.12. La valve de drainage.....	56
II-3.4. Contrôle du circuit carburant.....	57
II-3.5. Fonctionnement du circuit carburant.....	57
II-3.6. Système de dosage carburant.....	59
II-3.6.1. Le galet doseur carburant (FMV).....	59
II-3.6.2. Le rôle de la FMV.....	59
II-3.6.3. Mode de fonctionnement.....	60
II-3.7. La vanne de pressurisation et d'arrêt.....	65
II-3.7.1. Mode de fonctionnement.....	65
II-3.8. Le clapet de décharge et la tête du sonde.....	68
II-3.8.1. Description du clapet de décharge.....	69
II-3.8.2. La tête de sonde (Head sensor).....	70
II-3.9. Système de régulation de survitesse. ....	71
II-3.9.1. Mode de fonctionnement.....	72
II-3.10. Les injecteurs de carburant.....	76
II-4. Le circuit d'air.....	78
II-4.1. Généralité.....	79
II-4.2. Système de commande des stators à calage variable (VSV).....	79
II-4.2.1. Description du vérin de commande des (VSV).....	80
II-4.2.2. Mode de fonctionnement.....	80

II-4.3. Le système du variable bleed valve (VBV).....	85
II-4.3.1. Mode de fonctionnement de la vanne de décharge (VBV).....	85
II-4.4. Système de contrôle actif du jeu turbine haute pression (HPTACC).....	88
II-4.4.1. Mode de fonctionnement.....	89
II-4.5. Système de contrôle actif du jeu turbine basse pression (LPTACC).....	92
II-4.5.1. Mode de fonctionnement.....	93
II-4.6. La vanne de refroidissement du moteur et accessoires (CCCV).....	95
II-4.6.1. Mode de fonctionnement.....	96
II-4.7. La vanne de refroidissement (BCV).....	98

### **Chapitre III : Les systèmes hydromécaniques du moteur CFM 56-7B.**

III-1. Unité de contrôle électronique du moteur CFM56-7B (EEC).....	99
III-1.1. L'alimentation électrique de l'unité de contrôle électronique.....	102
III-1.2. Dimensions et poids de l'unité de contrôle électronique (EEC).....	102
III-2. Système hydromécanique du moteur CFM 56-7B.....	103
III-2.1. L'unité hydromécanique HMU.....	103
III-2.1.a. Généralité.....	103
III-2.1.b. Les électro hydrauliques servos vannes (EHSV).....	104
III-2.1.c. Fonctionnement de la HMU.....	106
III-2.1.d. L'alimentation en carburant de l'HMU.....	106
III-2.1.e. Schéma représentatif du HMU.....	108
III-3. Le circuit carburant.....	109
III-3.1. Le rôle du circuit carburant.....	109
III-3.2. Composition du circuit carburant.....	109
III-3.3. Contrôle du circuit carburant.....	110
III-3.4. Le fonctionnement du circuit carburant.....	111
III-3.5. La vanne de sélection d'injecteur (BSV).....	112
III-3.5.1. Rôle et positionnement de la BSV.....	112

III-3.5.2. Fonctionnement de la BSV.....	113
III-3.6. Système de dosage carburant.....	114
III-3.6.1. Le galet doseur carburant (FMV).....	114
III-3.6.2. Le clapet de décharge.....	117
III-3.7. Régulateur de survitesse (OSG).....	118
III-4. Le circuit d'air.....	120
III-4.1. Système de commande des stators à calage variable (VSV).....	121
III-4.1.1. Mode de fonctionnement.....	122
III-4.2. Le système du variable bleed valve (VBV).....	125
III-4.2.1. Mode de fonctionnement de la vanne de décharge (VBV).....	126
III-4.3. La vanne de décharge transitoire (TBV).....	128
III-4.3.1. Mode de fonctionnement.....	130
III-4.4. Système de contrôle actif du jeu turbine haute pression (HPTACC).....	133
III-4.4.1. Mode de fonctionnement.....	135
III-4.5. Système de contrôle actif du jeu turbine basse pression (LPTACC).....	138
III-4.5.1. Mode de fonctionnement.....	140
III-4.5.1.a. Position de fermeture.....	141
III-4.5.1.b. Mouvement angulaire du papillon.....	142

**Chapitre IV : Comparaison et conclusion.....143**

**Bibliographie.**

**Résumé.**

# *La liste des figures :*

## Chapitre I :

Figure (I-1): Le moteur CF6-80E1.....	7
Figure (I-2): Le moteur CFM56-7B.....	8
Figure (I-3): Les capotages du moteur.....	11
Figure (I-4): Les différents modules du moteur.....	13
Figure (I-5): Module FAN.....	14
Figure (I-6): FAN Rotor.....	15
Figure (I-7): La soufflante.....	16
Figure (I-8): FAN stator.....	16
Figure (I-9): Le FAN frame.....	17
Figure (I-10): Le module Core.....	18
Figure (I-11) : Compresseur haute pression.....	19,20
Figure (I-11.1): Pour CF6-80 E1.....	19
Figure (I-11.1): Pour CFM 56-7B.....	20
Figure (I-12) : La chambre de combustion.....	21
Figure (I-13) : Turbine haute pression.....	22,23
Figure (I-13.1): Pour CF6-80 E1.....	22
Figure (I-13.2): Pour le CFM 56-7B.....	23
Figure (I-14) : Turbine basse pression.....	24
Figure (I-15) : L'AGB.....	26
Figure (I-16): Les paliers et roulements.....	27
Figure (I-17) Les stations aérodynamiques.....	28

## **Chapitre II :**

Figure (II-1) : Les fonctions du système FADEC.....	31
Figure (II-2) : Présentation du système FADEC.....	33
Figure (II-3) : L'unité électronique du contrôle moteur (ECU).....	36
Figure (II-4) : L'unité hydromécanique (HMU).....	39
Figure (II-5) : Les différents électro hydrauliques servo valve.....	40
Figure (II-6) : L'amplificateur fluïdique de l'EHSV.....	41
Figure (II-7) : Fonctionnement de la HMU.....	43
Figure (II-8) : Schéma représentatif du HMU.....	46
Figure (II-9) Les éléments du circuit carburant dans le moteur.....	49
Figure (II-10) : Pompe à carburant.....	50
Figure (II-11) : L'échangeur de chaleur carburant/huile.....	51
Figure (II-12) : le filtre carburant.....	52
Figure (II-13) : Le réchauffeur servo fuel.....	53
Figure (II-14) : Le débitmètre.....	54
Figure (II-15) : L'échangeur huile/carburant de l'IDG.....	54
Figure (II-16) : La rampe carburant.....	55
Figure (II-17) : Les injecteurs.....	56
Figure (II-18) : Schéma explicatif du fonctionnement du circuit carburant.....	58
Figure (II-19) : Schéma descriptif du circuit carburant du moteur CF6-80 E1....	58
Figure (II-20) : Représentation du débit carburant en fonction de la section de la FMV.....	59
Figure (II-21) : Le galet doseur de carburant(FMV).....	60
Figure (II-22) : Fonctionnement du galet doseur (FMV).....	61

Figure (II-23) : Le fonctionnement de la FMV dans la position ouverte.....	62
Figure (II-24) : La position ouverte de la FMV.....	63
Figure (II-25) : Le fonctionnement de la FMV dans la position neutre.....	64
Figure (II-26) : La position neutre de la FMV.....	65
Figure (II-27) : La vanne de pressurisation et d'arrêt.....	66
Figure (II-28) : La vanne de pressurisation et d'arrêt pendant le démarrage initial moteur.....	67
Figure (II-29) : La vanne de pressurisation et d'arrêt pendant le démarrage continu moteur.....	67
Figure (II-30) : La vanne de pressurisation et d'arrêt pendant l'arrêt moteur.....	68
Figure (II-31) : La valve de by-pass.....	69
Figure (II-32) : Le Head sensor.....	71
Figure (II-33) : Le fonctionnement du système speed servo.....	73
Figure (II-34) : Fonctionnement de la valve proportionnelle.....	74
Figure (II-35) : Fonctionnement du piston et du servo valve d'intégrateur.....	75
Figure (II-36) : Fonctionnement du système en condition d'over speed réelle....	76
Figure (II-37) : Les injecteurs de carburant du moteur.....	77
Figure (II-38) : La position fermée de la VSV.....	80
Figure (II-39) : Fonctionnement de la VSV en position fermée.....	81
Figure (II-40) : La position ouverte de la VSV.....	82
Figure (II-41) : Fonctionnement de la VSV dans la position ouverte.....	83
Figure (II-42) : Fonctionnement de la VBV dans la position fermée.....	85
Figure (II-43) : Fonctionnement de la VBV en position ouverte.....	86
Figure (II-44) : Position fermée de la HPTACC.....	89
Figure (II-45) : Fonctionnement de la HPTACC en position fermée.....	90
Figure (II-46) : Position ouverte de la HPTACC.....	91

Figure (II-47) : Fonctionnement de la HPTACC à la position ouverte.....	92
Figure (II-48) : Position ouverte de la LPTTACC.....	94
Figure (II-49) : Position fermée de la LPTACC.....	95
Figure (II-50) : Position fermée de la valve CCCV.....	96
Figure (II-51) : Diagramme simplifié du fonctionnement de la CCCV.....	97
Figure(II-52) :La vanne de refroidissement BCV.....	98

### **Chapitre III :**

Figure (III-1) : Schéma représentatif du système FADEC.....	100
Figure (III-2) : L'unité électronique du contrôle moteur « EEC ».....	100
Figure (III-3) : L'unité hydromécanique (HMU).....	104
Figure (III-4) : Les différents électro hydrauliques servo valve.....	105
Figure (III-5) : Fonctionnement de la HMU.....	106
Figure (III-6) : Alimentation du carburant au HMU.....	108
Figure (III-7) : Schéma représentatif du HMU du moteur CFM 56-7B.....	108
Figure (III-8) : Les éléments du circuit carburant dans le moteur.....	110
Figure (III-9) : Schéma descriptif du circuit carburant du moteur CFM 56-7B..	111
Figure (III-10) : Schéma représentatif de la BSV (Position ouverte de la valve).....	112
Figure (III-11) : Distribution du carburant à la BSV.....	113
Figure (III-12) : Le galet doseur carburant (FMV).....	114
Figure (III-13) : Le clapet de décharge.....	117
Figure (III-14) : La valve terroir du gouverneur de survitesse.....	119
Figure (III-15) : Gouverneur de survitesse.....	119
Figure (III-16) : Schéma général du circuit d'air.....	120

Figure (III-17) : Le vérin de commande du système VSV.....	121
Figure (III-18) : Représentation du fonctionnement du système VSV.....	122
Figure (III-19) : La position ouverte du vérin VSV.....	123
Figure (III-20) : La position fermée du vérin VSV.....	123
Figure (III-21) : Représentation des vannes de décharge (VBV).....	124
Figure (III-22) : Fonctionnement du système VBV.....	125
Figure (III-23) : La position ouverte de la vanne VBV.....	126
Figure (III-24) : La position fermée de la vanne VBV.....	126
Figure (III-25) : La vanne de décharge transitoire (TBV).....	127
Figure (III-26) : Représentation de la vanne de décharge transitoire (TBV).....	128
Figure (III-27) : Fonctionnement du système TBV.....	129
Figure (III-28) : La position ouverte de la vanne TBV.....	130
Figure (III-29) : La position fermée de la vanne TBV.....	131
Figure (III-30) : Représentation du contrôle de jeu turbine haute pression (HPTACC).....	132
Figure (III-31) : Fonctionnement du système HPTACC.....	134
Figure (III-32) : La position ouverte de la vanne HPTACC.....	135
Figure (III-33) : La position fermée de la vanne HPTACC.....	136
Figure (III-34) : Représentation du système LPTACC.....	137
Figure (III-35) : Fonctionnement du système LPTACC.....	138
Figure (III-36) : Fonctionnement de la valve LPTACC.....	139
Figure (III-37) : La position ouverte de la vanne LPTACC.....	140
Figure (III-38) : La position fermée de la vanne LPTACC.....	141



## *La liste des abréviations :*

### **A**

@	At
A/C	Aircraft
A/THR	Auto Thrust
AC	Alternating Current
ACC	Active Clearance Control
Act	Actuator
ACT	Actual
ADC	Air Data Computer
AFS	Automatic Flight System
AGB	Accessory Gearbox
AIDS	Aircraft Integrated Data System
ALF	Aft Looking Forward
AMM	Aircraft Maintenance Manual
APU	Auxiliary Power Unit
ARINC	Aeronautical Radio, Inc.
ARP	Aerospace Recommend Practice
AT	Auto Throttle
ATA	Air Transport Association
ATS	Auto Throttle System
AVM	Aircraft Vibration Monitoring
AWG	American Wire Gauge

### **B**

BAR	Millibar
BCV	Bore Cooling Valve
BITE	Built In Test Equipment
BPR	Bypass Ratio
BSI	Borescope Inspection
BTU	British Thermal Unit

### **C**

C	Celsius/Centigrade (°Degrees)
CAUT	Caution
CBP	Compressor Bleed Pressure
cc	Cubic Centimeter
CC	Core Compartment
CCC	Core Compartment Cooling
CCDL	Cross Channel Data Link
CCW	Counter Clockwise
CDP	Compressor Discharge Pressure
CDU	Center Drive Unit
CG	Center of Gravity
CH	Channel
CH A	Channel A
CH B	Channel B
CIP	Compressor Inlet Pressure
CIT	Compressor Inlet Temperature
CLB	Climb
CLD	Control Law Demand
Cm	Centimetre
CMC	Central Maintenance Computer
CMD	Command
CON	Continuous

CPU Central Processing Unit  
 CRC Continuous Repetitive Chime  
 CRF Compressor Rear Frame  
 CRT Cathode Ray Tube  
 CRZ Cruise  
 CSD Constant Speed Drive  
 CTAI Cowl Thermal Anti-ice  
 CTEC Customer Technical Education Center  
 CTL Control  
 CVT Center Vent Tube  
 CW Clockwise

## D

DAC Digital To Analog Converter  
 DC Direct Current  
 DCL Derated Climb  
 DEG Degree  
 DELTAP Differential Pressure  
 DMC Display Management Computer  
 DMD Demand  
 DPV Directional Pilot Valve  
 DSPL Display  
 DTO Derated Take Off  
 DU Display Unit (part of ECAM)

## E

EBU Engine Buildup  
 ECAM Electronic Centralized Aircraft Monitoring  
 ECM Engine Conditioning Monitoring  
 ECS Environmental Control System  
 ECU Electronic Control Unit  
 ECUA ECU Channel A  
 ECUB ECU Channel B  
 EEC Electronic Engine Control  
 EGT Exhaust Gas Temperature  
 EHSV Electro-Hydraulic Servo Valve  
 EIU Engine Interface Unit  
 EIVMU Engine Interface and Vibration Monitoring Unit  
 EMF Electro Magnetic Force  
 EMI Electro Magnetic Interference  
 ENGRGTG Engine Rating  
 EPA Environmental Protection Agency  
 EPR Engine Pressure Ratio  
 EPROM Electrical Programmable ROM  
 ESN Engine Serial Number  
 ESS Essential  
 EST Estimated  
 EWD Engine And Warning Display Unit

## F

F Fahrenheit (°Degrees)  
 F/O Fuel/Oil  
 F/R Fan Reverser  
 FAA Federal Aviation Agency  
 FADEC Full Authority Digital Engine Control  
 FAR Federal Aviation Regulation  
 FB Feedback  
 FCU Flight Control Unit

FF Fan Frame  
 FIN Functional Item Number  
 FLA Forward Looking Aft  
 FLTPH Flight Phase  
 FLT Flight  
 FLX Flex  
 FMC Flight Management Computer  
 FMGEC Flight Management Guidance & Envelope Computer  
 FMGES Flight Management Guidance & Envelope System  
 FMS FADEC Monitoring System  
 FMV Fuel Metering Valve  
 FN Engine Thrust  
 FOB Fuel On Board  
 FOD Foreign Object Damage  
 FPI Fluorescent Penetrant Inspection  
 FRT Flat Rated Temperature  
 FTO Flex Take Off  
 FWC Flight Warning Computer  
 FWD Forward

## G

GCU Generator Control Unit  
 GEAE GE Aircraft Engines  
 GMT Greenwich Meridian Time  
 GND Ground  
 GPH Gallons Per Hour  
 GPM Gallons Per Minute  
 GSE Ground Support Equipment

## H

HMU Hydromechanical Unit  
 HP High Pressure  
 HPC High Pressure Compressor  
 HPCR High Pressure Compressor Rotor  
 HPCS High Pressure Compressor Stator  
 HPOFF High Pressure Fuel Shutoff Command  
 HPR High Pressure Recoup  
 HPSOV High Pressure Shutoff Valve (fuel)  
 HPT High Pressure Turbine  
 HPTACC High Pressure Turbine Active Clearance Control  
 HPTC High Pressure Turbine Clearance  
 HPTCDMD HPT Control Demand  
 HPTN High Pressure Turbine Nozzle  
 HPTR High Pressure Turbine Rotor  
 HX Heat Exchanger  
 HYD Hydraulic  
 HZ Hertz

## I

I/O Input/Output  
 ID Identification Plug  
 I.D. Inside Diameter  
 IDG Integrated Drive Generator  
 IDL Idle  
 IGB Inlet Gearbox  
 IGN Ignition  
 IGV Inlet Guide Vane  
 In Inch

INHIB Inhibition, Inhibit, Inhibited  
INOP Inoperative  
IPB Illustrated Parts Breakdown  
IPC Illustrated Parts Catalog  
IPS Inches Per Second

## **J**

-

## **K**

K Kelvin (Degrees)  
Kg Kilograms  
KIAS Indicated Air Speed in Knots  
Kmh Kilometers Per Hour  
KPH Kilograms Per Hour  
Kts Knots  
KV Kilovolts

## **L**

L Liter  
L&S Lube and Scavenge  
Lg Length  
L/H Left Hand  
LB Pound, Weight  
LBS Pounds, Weight  
LE Leading Edge  
LP Low Pressure  
LPC Low Pressure Compressor  
LPCR Low Pressure Compressor Rotor  
LPCS Low Pressure Compressor Stator  
LPR Low Pressure Recoup  
LPT Low Pressure Turbine  
LPTACC Low Pressure Turbine Active Clearance Control  
LPTC Low Pressure Turbine Clearance  
LPTCDMD LPT Control Demand  
LPTCSEL Selected LPT Command  
LPTN Low Pressure Turbine Nozzle  
LPTR Low Pressure Turbine Rotor  
LPTS Low Pressure Turbine Stator  
LRU Line Replaceable Unit  
LSK Line Select Key  
LVDT Linear Variable Differential Transducer

## **M**

M Meter  
MA Milliamperes (Current)  
MACH Speed Of Sound  
MAST Vertical Drain Structure  
MAX Maximum  
MCD Magnetic Chip Detector  
MCDU Multipurpose Control Display Unit  
MCL Maximum Climb  
MCR Maximum Cruise  
MCT Maximum Continuous  
MFP Main Fuel Pump  
MID Middle  
MLOFF Master Lever Off

MLONSEL Master Lever On Selected  
mm Millimeters  
MMEL Master Minimum Equipment List  
Mn Mach Number  
Mo Calculated Mach Number  
MPA Maximum Power Assurance  
MREV Maximum Reverse  
MSG Message  
MTO/GA Maximum Take-Off/Go-Around  
mV Millivolts

## **N**

N/A Not Applicable  
N1 Low Pressure Rotor Speed  
N1CMD Fan Speed Command  
N1IDL N1 Idle  
N1k Corrected Fan Speed  
N1LIM N1 Limit  
N1MAX Maximum Corrected Fan Speed  
N1PEAK N1 Peak  
N1REF N1 Reference  
N1TARGET N1 Target  
N2 High Pressure Rotor Speed  
N2k Corrected Core Speed  
N2ACTSEL Selected N2 Actual  
N2CMD Core Speed Command  
N2PEAK N2 Peak  
NAC Nacelle  
No. Number  
NVM Non Volatile Memory

## **O**

OAT Outside Air Temperature  
O.D. Outside Diameter  
OGV Outlet Guide Vane  
OMS Onboard Maintenance System  
OPR Overall Pressure Ratio  
OSG Overspeed Governor  
OVBD Overboard

## **P**

P/B Push Button  
P/N Part Number  
PO Ambient Pressure Outside  
P2.5 HPC Inlet Total Air Pressure  
P4.9 LPT Inlet Total Air Pressure  
P4.95 Pressure at Station 4.95 (EGT)  
Pb Burner Pressure  
PB Bypass Pressure  
Pc Regulated Servo Pressure  
Pcr Case Regulated Pressure  
PDL Portable Data Loader  
PH Phase  
PLA Power Lever Angle  
PMA Permanent Magnet Alternator  
PPH Pounds Per Hour  
PROM Programmable Read Only Memory  
PRSOV Pressure Regulator and Shutoff Valve

Ps Pressure Static  
 Ps12 Fan Inlet Static Air Pressure  
 Ps14 Fan Outlet Static Air Pressure  
 Ps3 HPC Discharge Pressure  
 Psf Filtered Servo Supply Pressure  
 PSI Pounds Per Square Inch  
 PSIA Pounds Per Square Inch Absolute  
 PSID Pounds Per Square Inch Differential  
 PSIG Pounds Per Square Inch, Gage  
 PSOV Pressure Shutoff Valve  
 Pt Total Pressure  
 PT2 Fan Inlet Total Air Pressure  
 PTADC ADIRU Total Pressure

## Q

QAD Quick Attach – Detach  
 QDM Quantitative Debris Monitor  
 QTS Quarts  
 QTY Quantity

## R

R Rankine  
 RADC Right Air Data Computer  
 RAM Random Access Memory; Temporary Storage  
 RCC Remote Charge Convertor  
 RDS Radial Drive Shaft  
 REG Regulator  
 RES Resistance  
 RFI Radio Frequency Interference  
 RLY Relay  
 ROM Read Only Memory; Permanent Memory  
 RPM Revolutions Per Minute  
 RTD Resistance Temperature Detector  
 RTN Return  
 RTV Room Temperature Vulcanizing  
 RVDT Rotary Variable Differential Transducer

## S

S/B Service Bulletin  
 SAT Static Air Temperature  
 SAV Starter Air Valve  
 SC Single Chime  
 SD System Display  
 SDI Source Destination Identifier  
 SEL Select  
 SFC Specific Fuel Consumption  
 SG Specific Gravity  
 SLS Sea Level Standard  
 SM Status Matrix  
 SN Serial Number  
 SOV Shutoff Valve  
 SPD Speed  
 STA Station  
 STD Standard  
 SW Switch  
 SYS System

## T

T/C	Thermocouple
T12	Fan Inlet Air Temperature
T2.5	HPC Inlet Air Temperature
T3	HPC Discharge Air Temperature
T4.9	Temperature At Station 4.95 (EGT)
T4.9L	Lower Harness T4.95 Signal
T4.9U	Upper Harness T4.95 Signal
T5	LPT Discharge Total Air Temperature
TAI	Thermal Anti-ice
TAMB	Calculated Ambient Temperature
TAT	Total Air Temperature
TATADC	ADIRU Total Air Temperature
TBD	To Be Determined
TC	Turbine Cooling
TCC	Turbine Clearance Control
TE	Trailing Edge
TECU	ECU Internal Temperature
TEMP	Temperature
TEO	Engine Oil Temperature
TFUEL	Fuel Temperature
TGB	Transfer Gearbox
Ti	Titanium
TIDGOIL	IDG Oil Temperature
TLA	Throttle Lever Angle
TM	Torque Motor
TNACELLE	Nacelle Temperature
TR	Thrust Reverser
TRA	Throttle Resolver Angle
TRDV	Thrust Reverser Directional Valve
TRF	Turbine Rear Frame
TRPV	Thrust Reverser Pressurizing Valve
TSTD	Calculated Standard Temperature

## **U**

US	United States
UTC	Universal Time Coordinate

## **V**

VBV	Variable Bleed Valve
VBVDM	VBV Position Demand
VLV	Valve
VSV	Variable Stator Vane
VSVDM	VSV Position Demand

## **W**

Wf	Fuel Flow
Wfm	Metered Fuel Flow

## **X**

XMTR	Transmitter
------	-------------

## **Y-**

## **Z-**

## **1. General Electric :**

General Electric a conçu plusieurs moteurs d'avion dont le CF6-80 E1, en plus d'être l'autre partie de la grande firme CFM International. Quand les Etats Unis se sont impliqués dans la première guerre mondiale en 1917, son gouvernement a lancé une compagnie de développement du premier moteur d'avion « propulseur » pour équiper les avions militaires. Ce propulseur, qui est un moteur à piston a employé les gaz d'échappement du moteur pour entrainer un compresseur d'air. La compagnie General Electric a été la première à relever le défi, mais une autre équipe a également demandé la chance de développer ce moteur. Des contrats ont été attribués dans ce projet qui a vu la première concurrence de moteur d'avion militaire naître aux Etats Unis. Sous le secret de temps de guerre, les deux compagnies ont examiné, développé diverses conceptions jusqu'à ce que l'armée ait réclamé une démonstration d'essai. General Electric a répondu présente, elle a mis au point un turbopropulseur volant à 14 000 Pieds au dessus de la mer d'une puissance de 350Ch, ce qui a donné plus d'autonomie et de puissance aux avions de cette époque. L'essai de MOINTAINTOP a propulsé General Electric à devenir le leader mondial des constructeurs de moteur d'avion. Pendant plus de deux décennies, General Electric a produit les turbopropulseurs qui ont permis aux avions durant la deuxième guerre mondiale de voler plus haut, avec des charges utiles plus lourdes. Depuis cette période l'aviation a connu la naissance de plusieurs inventions, le premier turboréacteur qui a permis de voler à des vitesses trois fois supérieures à celle du son. Aujourd'hui, la division moteurs d'avions du transport de GE, avec des revenus de 10.97 milliards de Dollars en 2003, conçoit, développe des moteurs à réaction pour une multitude d'avions militaires et commercial aussi bien que des turbines à gaz appliquées dans la marine.

En outre, GE est le premier mondial dans le domaine d'entretien du moteur, en offrant des services de grande qualité. En se basant sur la technologie du moteur TF39 militaire, GE est entré progressivement dans le marché civil en 1971 avec un moteur sophistiqué, le turboréacteur CF6-6 équipant le DC-10 de Douglas. La famille CF6 s'est agrandie avec le CF6-50, le CF6-80A, le CF6-80 C2 et le CF6-80 E1. Dans les années 80, les moteurs de la famille CF6 sont devenus les plus utilisés sur les avions long courrier citant le Boeing 747 et 767, l'Airbus A300, A310, A330 et le Mc Donnell Douglas MD-11. Le moteur CF6-80 C2 qui a été mis en service en 1984, a fixé de nouvelles normes de fiabilité dans le service commercial et a été instrumental dans l'élévation de GE en tant que principal fournisseur de grands moteurs d'avions commerciaux. Au début des années 90, GE a développé le moteur GE 90, un turboréacteur pour équiper le grand Boeing 777. La famille des GE 90, équipant le 777 lancé en 1995, a fait le tour du monde sans escale. Il développe une poussée de 122.965 livres. Pour honorer cette prouesse technique, le GE90-115b a été récemment baptisé « Le moteur à réaction le plus puissant du monde » par

le livre de Guinness des records. Le dernier GE 90, le GE 90-115b a le plus grand fan du monde (128 pouces), avec un rapport compression le plus élevé (91) pour produire la plus grande efficacité de propulsion que n'importe quel moteur commercial de transport. En Juillet 1999, Boeing Compagnie a choisi le GE90-115b comme moteur exclusif pour leur long courrier 777-200LR et l'avion de -300ER. Le GE90-115b représente le point culminant de la réussite de la stratégie de GE dans la construction d'un nouveau moteur de la ligne centrale spécifiquement conçu pour la famille des avions de Boeing 777, il a été mis en service sur 777-300ER en 2004.

Type	Poussée au décollage	Avion équipé
CF6-50	51 000 LBS	A300 B2/B4
	A	B747-200/300/SR/E-4
	52 500 LBS	DC-10-15
CF6-80A	48 000 LBS	DC-10-30
	A	A310-200
CF6-80 C2	50 000 LBS	B767-200
	59 000 LBS	A300-600
	A	A310-200
CF6-80 E1	61 500 LBS	Adv/A310-300
	67 500 LBS	B747-200/300/400
		VC25A
		767-200ER
		767-300
		MD-11
		MD-11
		767
		A330

Différents types moteur CF6

## **2. Historique de la firme Snecma :**

L'industrie aéronautique d'aujourd'hui puise ses racines en France, où la société des moteurs de Gnome a été fondue par les frères SEGUIN en 1895 pendant la première guerre mondiale, la France était le fabricant principal de moteurs d'avion. Entre les deux guerres mondiales, les sociétés françaises des moteurs du Gnome et Rhône ont fusionné avec d'autres fabricants de moteurs français y compris Renault, qui a donné naissance à une société publique : Société National d'étude et de Construction de Moteurs d'Avion (SNECMA). Le général DEGAULLE a signé le projet de loi créant la SNECMA le 29 Mai 1945, l'organisme de la SNECMA remonte à l'après-guerre. Un décret a regroupé les entreprises de motorisation aéronautique et les placées sous le contrôle de l'état, ce groupement a été conçu à l'origine pour le marché militaire. La production de moteur de l'aviation civil ne se développe qu'au début des années 70 avec la mise en point du moteur Olympus qui équipe les premières Concorde. Le groupe produit outre ses activités liées à la propulsion aéronautique, des matériels d'équipements (Train d'atterrissage, système de freinage, équipements électroniques). Dans le domaine militaire, la SNECMA, dont les moteurs équipent les avions Mirage et le Rafale, travaille en collaboration avec la Britannique Rolls-Royce.

## **3. CFM International :**

Le marché des moteurs d'avion, tout comme celui de la construction aéronautique est fortement oligopolistique. Seuls quelque groupe de taille mondiale occupent ce marché qui nécessite des investissements importants. La structure du marché explique donc logiquement l'accord qui lie la société Snecma à la firme Américaine General Electric. Leur filiale commune, CFM International, occupe, depuis 1974 une place prépondérante dans la fourniture des moteurs civils. Le modèle baptisé CFM56 équipe les Boeing, notamment la gamme des 737, ainsi que la famille des Airbus sur les A319-320-321...

« CFM » n'est pas un acronyme de mots technique. La société CFM International est sa gamme de produits CFM56, ont obtenu leurs noms par une combinaison des deux désignations commerciales de moteur des deux sociétés parentales : CF (Compressor-Fan) de General Electric et M56 (M-Motor) de Snecma « Société National d'étude et de Construction de Moteurs d'Avion », (56-taux de dilution). Un avion équipé de CFM56 décolle toutes les 4 secondes dans le monde. Moteur préféré des compagnies aériennes, le CFM56 propulse la moitié des avions de plus de cent places livrés depuis quinze ans (15)

ans, et confirme en 1999 sa place de numéro « 1 ». Vendu à près de 15 000 exemplaires, le CFM 56 est le moteur de choix pour les applications court et moyen courrier de Boeing et Airbus. Il est le seul moteur de sa catégorie à équiper tous les avions des grandes familles mono couloir des deux avionneurs. Le CFM56 propulse en exclusivité toute la famille Boeing 737. Chez Airbus, il équipe non seulement la totalité de la famille A320, mais aussi le quadrimoteur long courriers A340. Avec 50% de la part du marché cumulée les cinq (05) dernières années. De nouvelles applications pour les moteurs CFM ont vu le jour. Par sa commande de 15 avions (et 10 options). Air France est devenue client de lancement de l'Airbus A318 équipé de moteur CFM56-5B, ce moteur est le seul à propulser l'ensemble de sa famille de l'A320. Le CFM56-7B à trouver une nouvelle application sur le Boeing 737 Wedgetail, avion de surveillance électronique commandé par l'armée de l'air australienne. Dans le domaine de l'environnement, la nouvelle technologie de chambre de combustion à double têtes DAC (Dual Annular Combustor), qui permet une réduction importante des émissions polluantes d'oxyde d'azote, a été adoptée par « Lauda Air » pour ses 737 NG. Elle est proposée en optant sur les CFM56-5B et 7B est équipé déjà entre autre des avions de Swissair, Austrian Airlines et SAS.

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

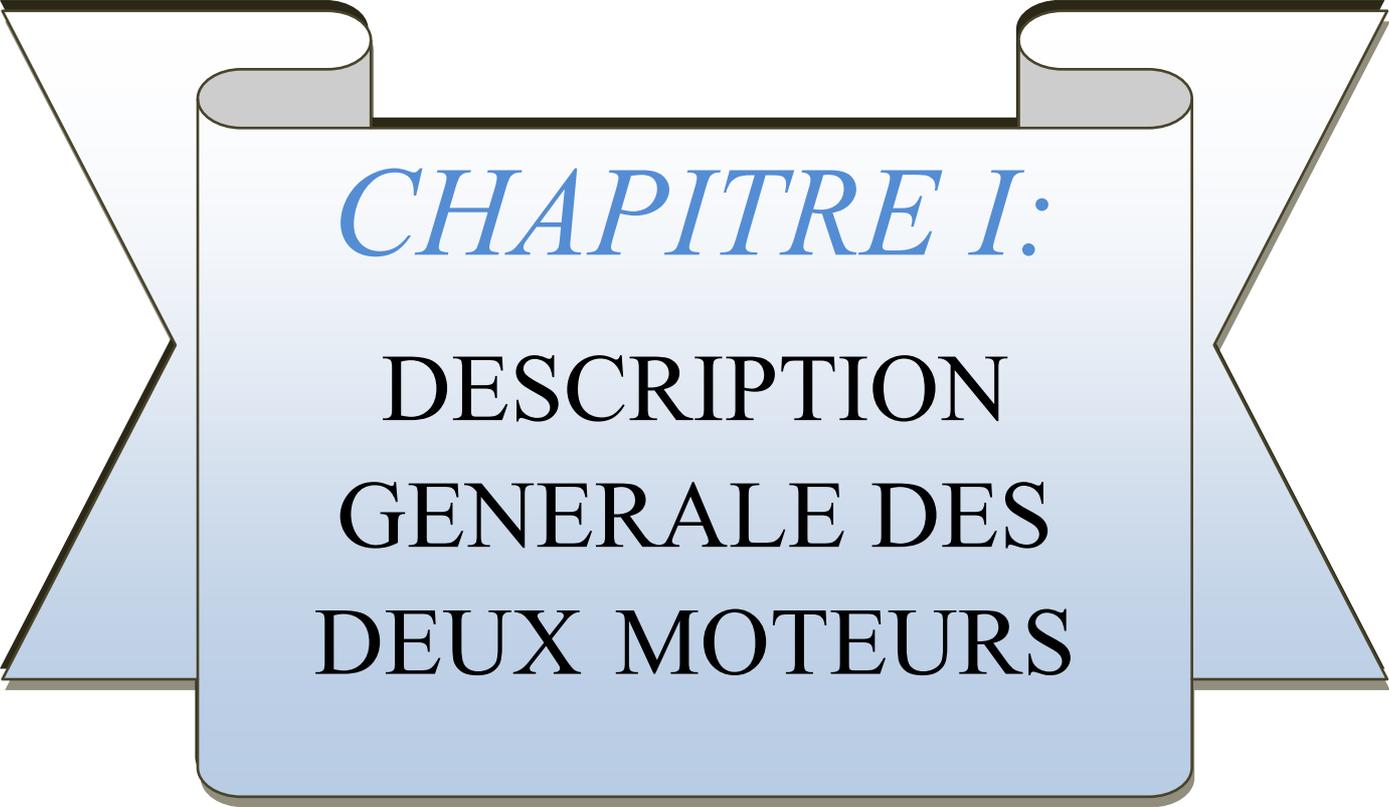
# Introduction :

A cause de la complexité des systèmes utilisés dans les moteurs d'avion et pour diminuer la charge de travail sur l'équipage de pilotage, les constructeurs ont mis en place un système de contrôle numérique en vue de surveiller et actionnés les valves et les vérins.

Ce système consiste a envoyé et à recevoir un signal électrique. Ce dernier ne peut pas actionner les valves et les vérins qu'après être transformé en un signal hydraulique. Le système responsable de cette transformation est appelé le système hydromécanique, il diffère d'un moteur à un autre.

Nous allons nous penchez dans notre thèse sur le système hydromécanique qui équipe le moteur CF6-80 E1 et celui qui équipe le moteur CFM56-7B et les comparer, pour cela on a suivir se plant de travail :

- § Introduction.
- § Historique.
- § Chapitre I : Description des deux moteurs CF6-80 E1 et CFM56-7B.
- § Chapitre II : Les systèmes hydromécaniques du moteur CF6-80 E1.
- § Chapitre III : Les systèmes hydromécaniques du moteur CFM 56-7B.
- § Chapitre IV : Comparaison et conclusion.



*CHAPITRE I:*  
DESCRIPTION  
GENERALE DES  
DEUX MOTEURS



*CHAPITRE II:*

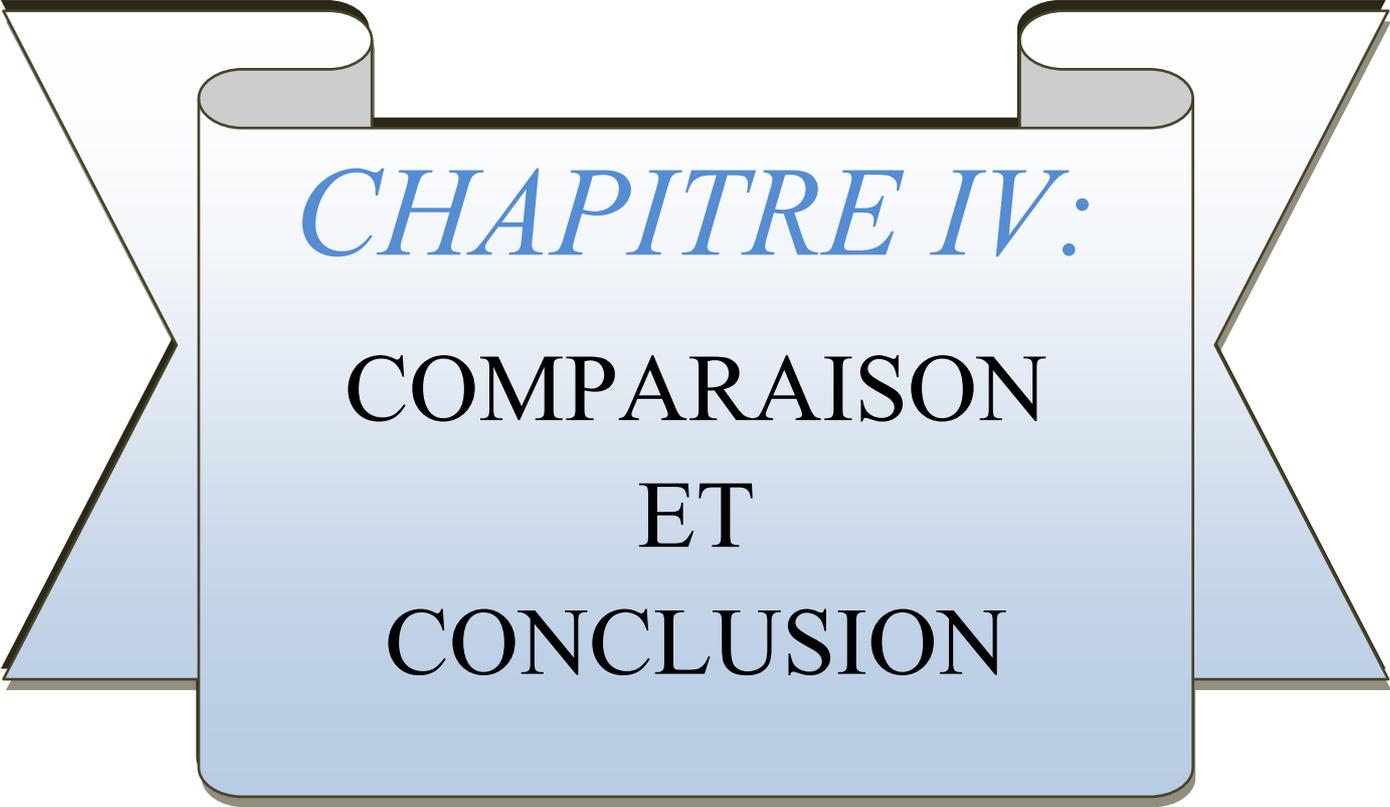
SYSTEMES  
HYDROMECHANIQUES  
DU MOTEUR

CF6-80 E1



*CHAPITRE III:*

SYSTEMES  
HYDROMECHANIQUES  
DU MOTEUR CFM56-  
7B

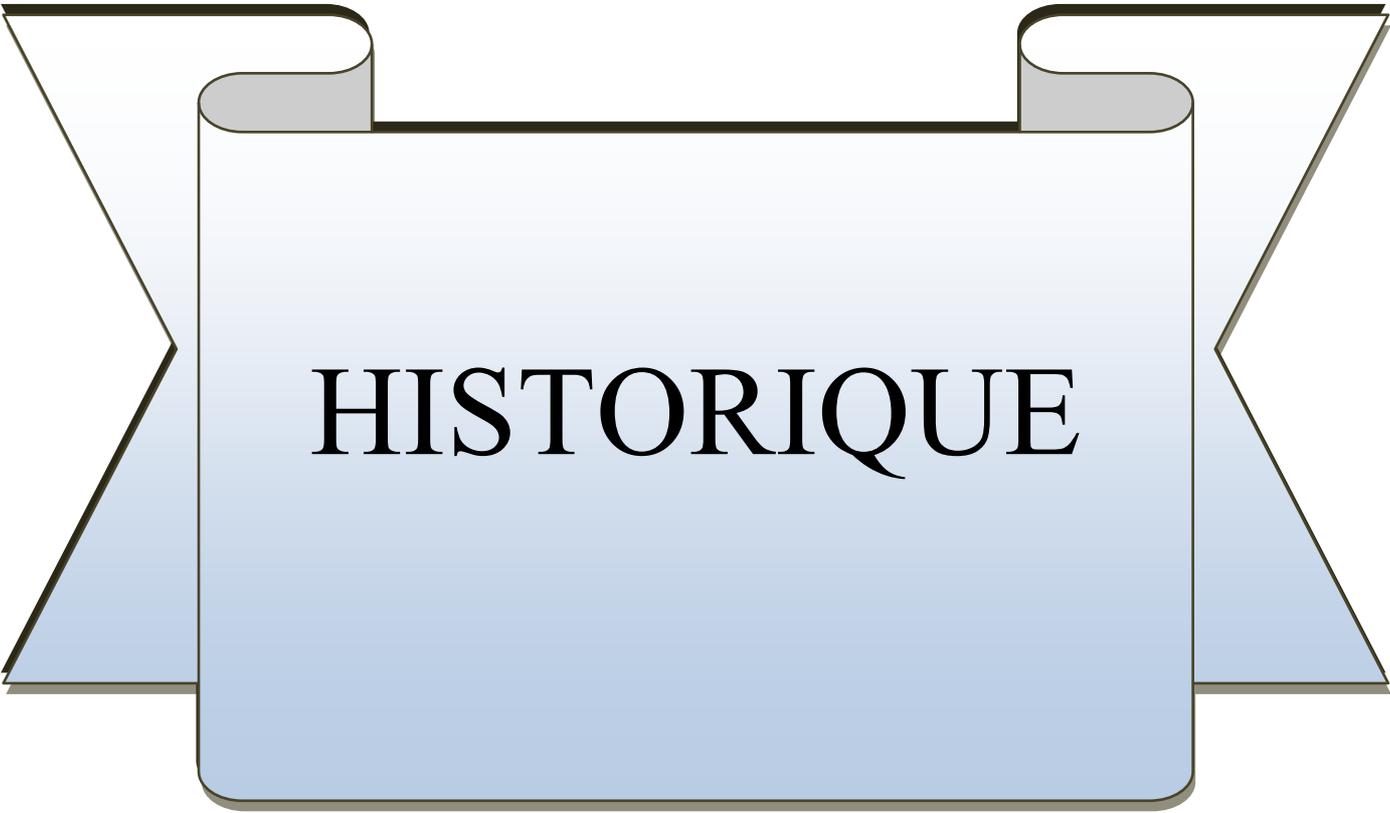


*CHAPITRE IV:*

COMPARAISON

ET

CONCLUSION



HISTORIQUE

### **I-1. Introduction :**

Les deux moteurs CF6-80 E1 et CFM56-7B sont des turbo réacteurs double flux à écoulement axial et à haut taux de déléutions. Le premier est conçu par General Electric, équipe les avions suivants : MD-11, B767, A330.

Par contre le deuxième a une conception modulaire dans la quelle General Electric contribue par la fabrication du module principale Core contenant le compresseur haute pression (HPC), chambre de combustion (CC) et la turbine haute pression (HPT). Tandis que Snecma contribue par la fabrication du Fan et Booster ainsi que la turbine basse pression (LPT) et la Gear-Box. Ce dernier moteur équipe les avions suivants : Boeing 737 séries 600, 700, 800, 900, COMBJ-BBJ (Boeing Business Jet), C40A (Version militaire).



**Figure (I-1) : Le moteur CF6-80E1.**

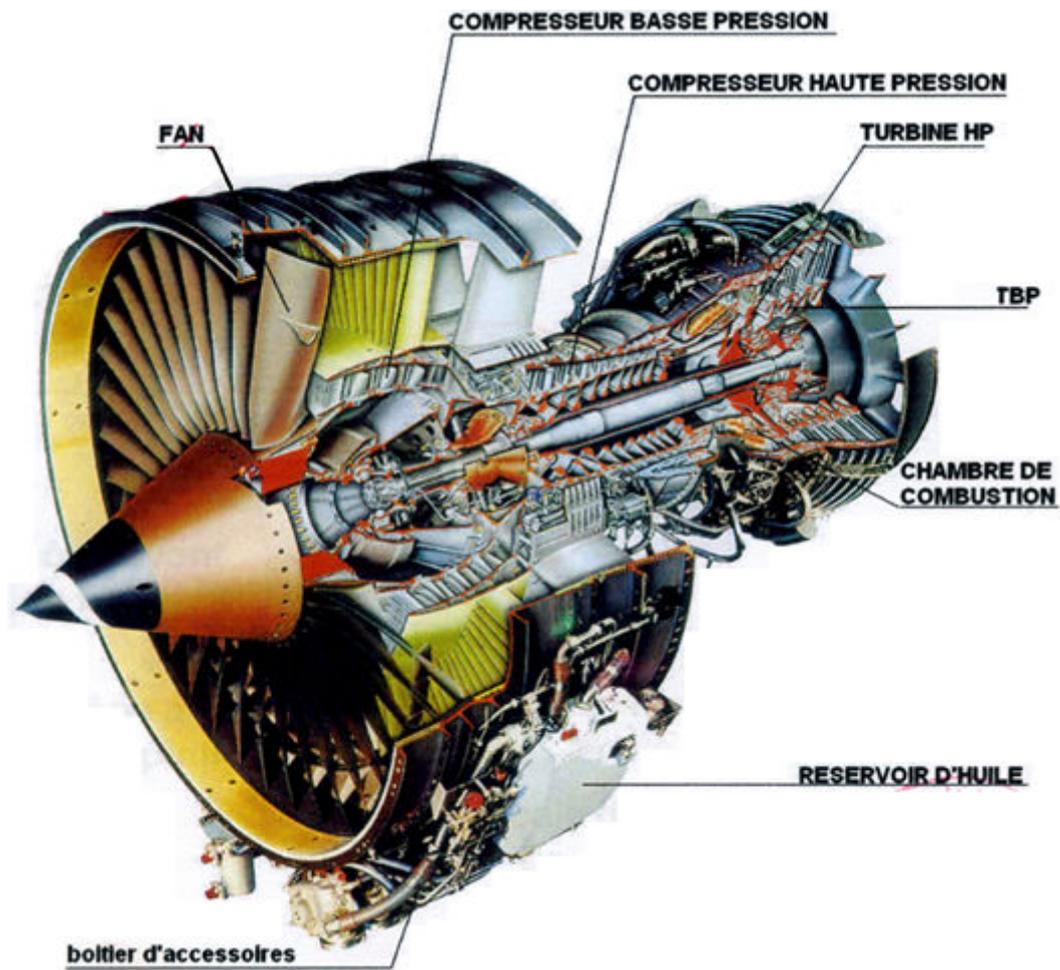


Figure (I-2) : Le moteur CFM56-7B.

**I-2. Caractéristiques principales du moteur CF6-80 E1 :**

- Diamètre de l'entrée d'air : 2.70 m.
- Longueur maximale de l'enveloppe : 2.90 m.
- Largeur du moteur : 4.28 m.
- Poids du moteur à sec : 5074 kg.
- Consommation spécifique du carburant à la puissance maximale (lb) : 0.332- 0.345.
- Puissance maximale au niveau de la mer (livre) : 67.500-72.000.
- Poussée produite par le flux primaire : 20% de la poussée totale.
- Poussée produite par le flux secondaire : 80% de la poussée totale.
- Rapport global de pression à la puissance maximale : 32.4 – 34.8.
- Taux de délutions : 5 – 5.1.
- Rapport manométrique de compression : 5/2.

**I-3. Caractéristique principales du moteur CFM56-7B :**

Caractéristiques	Version de moteur					
	B18	B20	B22	B24	B26	B27
Poussée Max au Décollage (KN)	87.00	91.50	101.1	107.5	117.0	121.0
Taux de dilution	5.5	5.4	5.3	5.3	5.1	5.1
T° à poussée Nominale Maintenu (°C)	30	30	30	30	30	30
Poussée Max en Montée (KN)	26.50	26.50	26.50	32.70	32.70	32.70
Taux de Compression Général	32.70	32.70	32.70	26.29	26.29	26.29
Longueur (mm)	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Diamètre de soufflante (mm)	1550	1550	1550	1550	1550	1550
Application	B737-600	B737-600/700	B737-600/700	B737-700/800/900	B737-800/900	B737-800/900

#### **I-4. Les capotages du moteur : Figure (I-3).**

Le capotage des moteurs CF6-80 E1 et CFM56-7B comprend :

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



**Figure (I-3) : Les capotages du moteur.**

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

- Ils forment le canal d'écoulement du flux secondaire et sa tuyère.
- Ils comportent les dispositifs d'inversion de poussée par retournement du flux secondaire.

- Entre les carters du moteur et leurs parois internes, ils forment des compartiments isolés pour contenir puis évacuer des vapeurs ou des écoulements de carburant, d'huile, de fluide hydraulique qui pourraient s'accumuler dans la nacelle en cas de fuite.
- Ils contiennent les effets de l'explosion ou d'une fuite éventuelle importante d'une tuyauterie pneumatique.
- Ils sont capables de contenir un incendie éventuel pendant 15 minutes.

En plus les capots comportent de nombreuses portes de visite pour faciliter les opérations d'entretiens courantes.

### **I-5. Les différents modules du moteur: Figure (I-4)**

Le moteur CF6-80 E1 ainsi que le CFM56-7B sont deux moteurs de conception modulaire. Ils se composent de cinq (05) modules, chaque module peut être démonté seul, ce qui facilite la maintenance du moteur et de minimiser ainsi le coût d'entretien.

Ces modules sont :

- Module Fan.
- Module Core.
- Module turbine haute pression.
- Module turbine basse pression.
- Module Gear box (Boîte d'entraînement des accessoires).

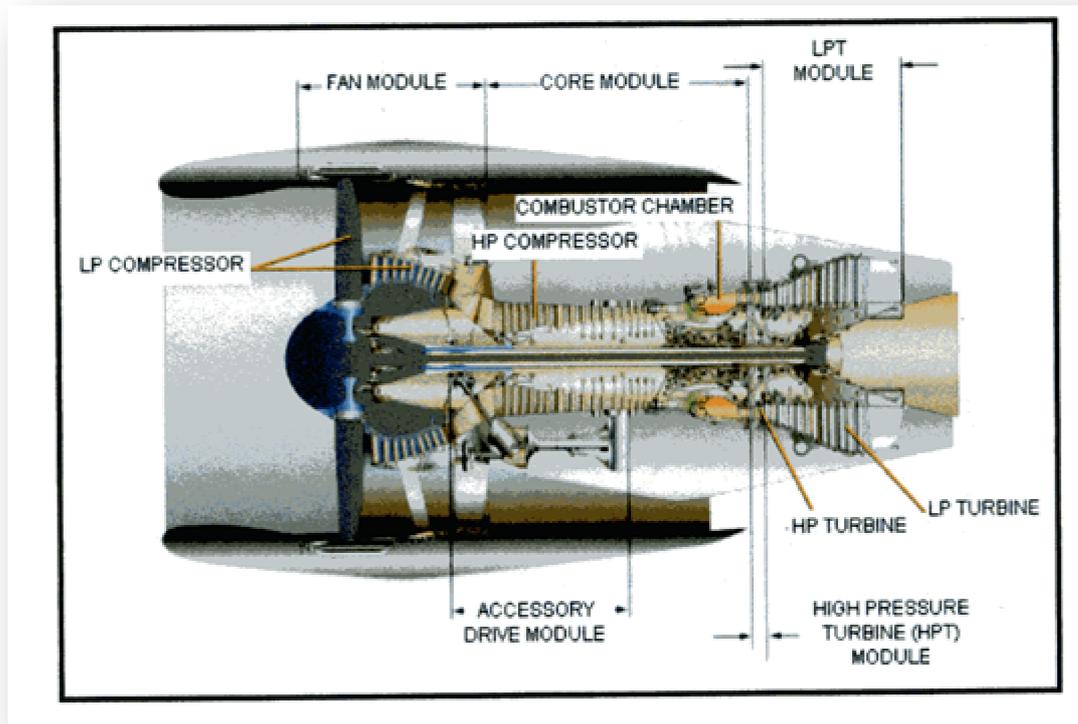


Figure (I-4) Les différents modules du moteur.

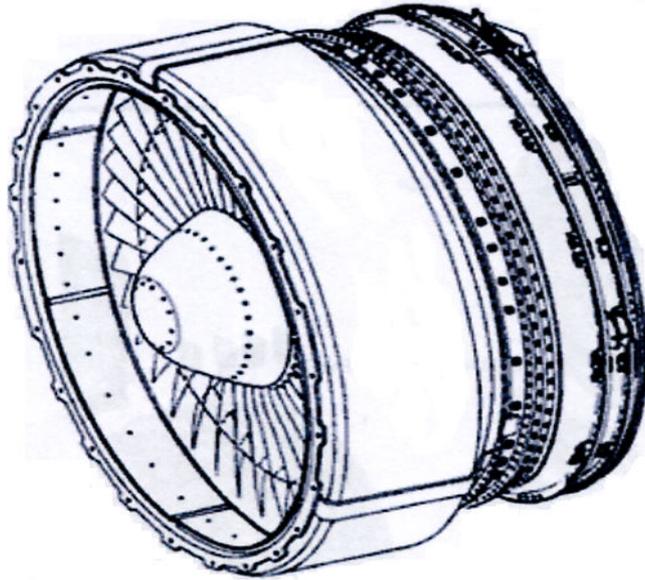
### I-5.1. Le Module Fan : Figure (I-5)

Le module Fan se constitue de cinq étages dans le moteur CF6-80 E1, un étage de soufflante et quatre étages du compresseur basse pression. Par contre dans le moteur CFM56-7B, le module Fan se compose d'une soufflante et de (03) étages de compresseur basse pression. Le flux secondaire délivre la poussée principale du moteur qui est de 80% de la poussée totale, et accélère aussi les filets d'air du flux primaire pour augmenter sa pression dynamique. Cet attelage est entraîné par une turbine basse pression. Les filets d'air sont précipités vers l'attelage haute pression avec une pression dynamique plus élevée.

Les principaux composants du module Fan :

- Châssis du Fan (Fan frame).
- Carter avant et arrière Fan.
- Cône réacteur (Fan Spinner Cone).
- Ailettes du Fan.
- Tubulure du roulement N°1.

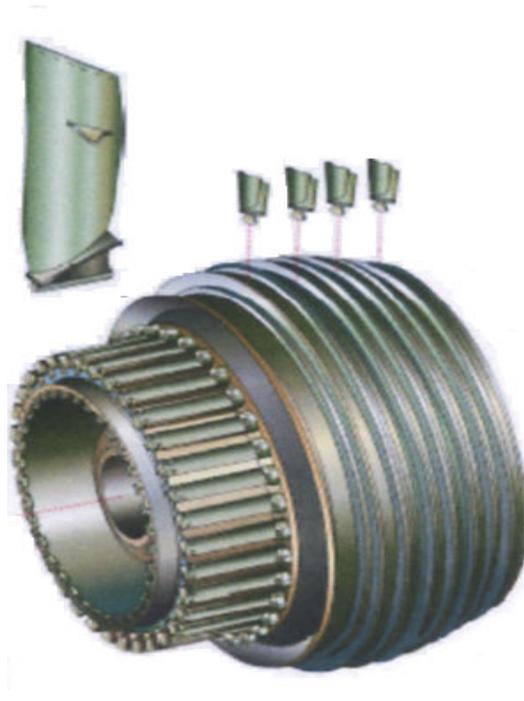
- Ailettes de guidage de la sortie du compresseur.



**Figure (I-5) : Module FAN.**

Le module FAN est une succession d'étage Rotor/Stator :

#### **I-5.1.1. Fan Rotor: Figure (I-6)**



**Figure (I-6): FAN Rotor.**

Le Fan rotor se constitue des éléments suivants :

- **La soufflante** : Figure (I-7)

Elle serre dans les deux moteurs à augmenter la vitesse de l'air. Elle est composée d'un seul étage, la partie tournante se compose de 34 aubes dans le moteur CF6-80 E1 en Titane d'une longueur de 32 inch, fixées en queue d'aronde. Par contre dans le moteur CFM56-7B la partie tournante se compose de 24 aubes seulement.



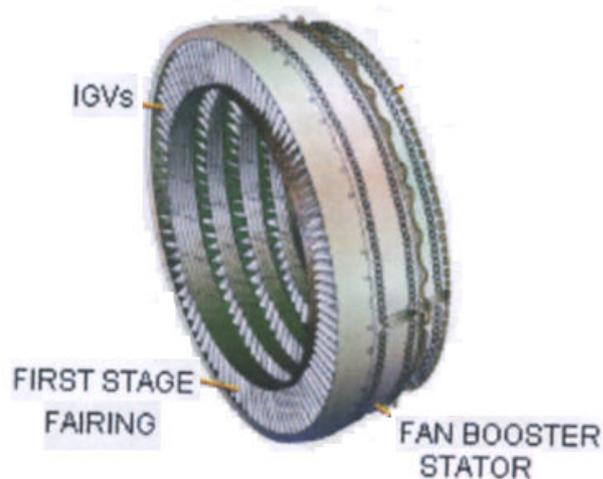
**Figure (I-7): La soufflante.**

- **Le compresseur basse pression (Booster) :**

Il est Situé à l'arrière de la soufflante, le CBP est de type axial se compose de 4 étages « rotor/stator » Dans le moteur CF6-80 E1, en un seul bloc chaque étage comporte 74 aubes en Titane sauf le premier étage qui comporte 64 aubes en Titane aussi. Par contre dans le moteur CFM56-7B, le compresseur basse pression à seulement (03) étages.

Le CBP est également entraîné par la turbine basse pression (LPT).

#### **I-5.1.2. Fan Stator: Figure (I-8)**



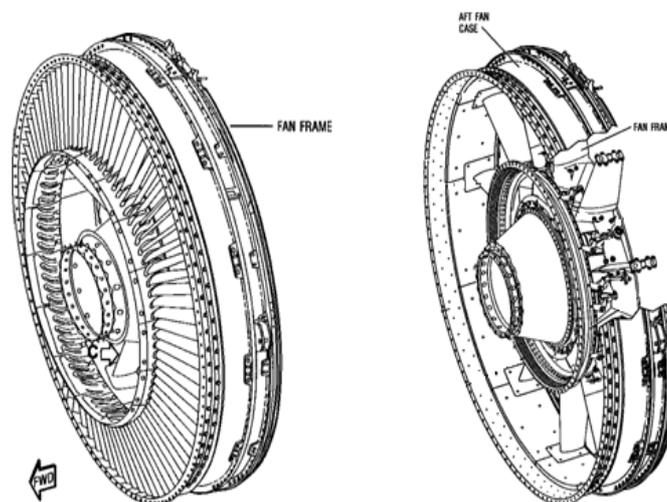
**(Figure I-8) FAN stator.**

Il se constitue des éléments suivants :

- Carter arrière du stator fan.
- Fan frame : **Figure (I-9)**.

Le fan frame et le châssis du stator fan assurent les fonctions suivantes :

- Guidage du flux primaire vers le module Core.
- Support des charges du carter avant de la soufflante, du stator du compresseur basse pression et des inverseurs de poussée.
- Le soutient des accessoires de prélèvement du mouvement des axes.
- Logements des cavités de lubrification des roulements et de la Gear box et le nettoyage du palier avant.
- Soutient des OGV (Outlet Guide Vane) et des panneaux antibruit.
- Support de la structure de la partie avant du moteur.

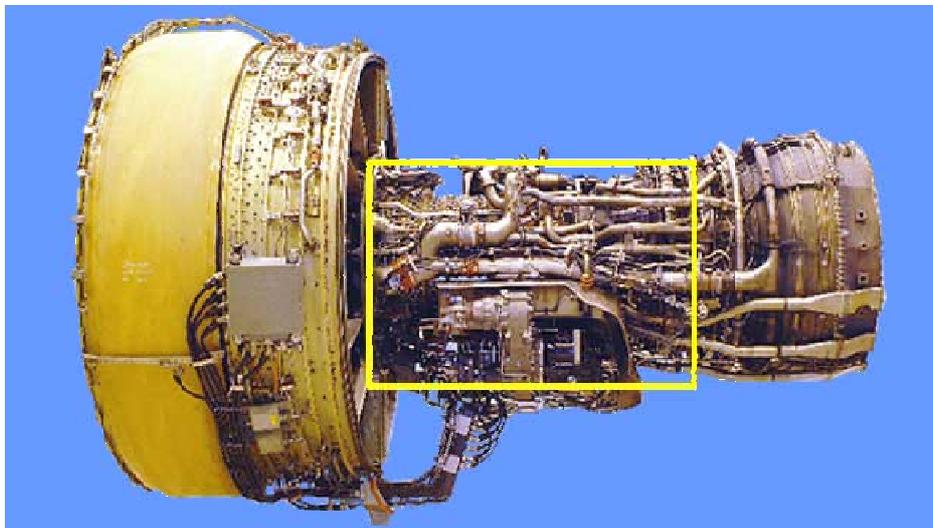


**Figure (I-9) Le FAN frame.**

### **I-5.2. Le Module Core: Figure (I-10)**

Le module Core se compose des éléments suivants dans les deux moteurs :

- Compresseur haute pression (HPC).
- Chambre de combustion.
- Un diffuseur de la turbine haute pression.



**Figure (I-10): Le module Core.**

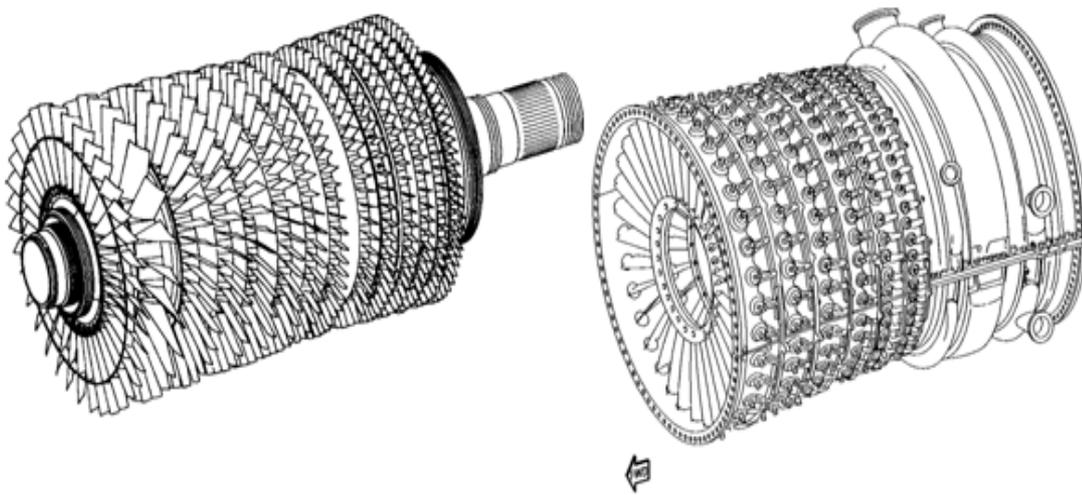
#### **I-5.2.1. Le compresseur haute pression (HPC) : Figure (I-11)**

C'est un compresseur axial constitué de neuf (09) étages pour le moteur CFM56-7B, par contre il est constitué de quatorze (14) étages pour le moteur CF6-80 E1, il est entraîné par l'étage de turbine haute pression. Il sert à augmenter la pression de l'air provenant du compresseur basse pression et l'envoi vers la chambre de combustion. Les composants principaux du compresseur sont les rotors, un redresseur et le compresseur rear frame.

Dans le module Core six (06) trous de boroscopie sont réalisés dans le carter pour l'inspection boroscopique des aubes du compresseur haute pression.

Le passage du flux primaire à travers les aubes des rotors du compresseur haute pression augmente sa pression statique et sa température le ramenant à des conditions adéquates à la combustion.

Les (IGV) (Inlet Guide Vane) et les stators du premières étage du compresseur « les quatre pour le moteur CF6-80 E1, et trois pour le moteur CFM56-7B » changent leurs positions angulaires en fonction de la température d'admission du compresseur et corrigent la vitesse du turboréacteur. Le but de cette variation d'angle d'incidence du flux d'air et d'optimiser la température et la pression de l'air et sa quantité afin d'avoir un mélange combustible contrôler et pour une combustion efficace.



**Figure (I-11.1): Pour CF6-80 E1.**

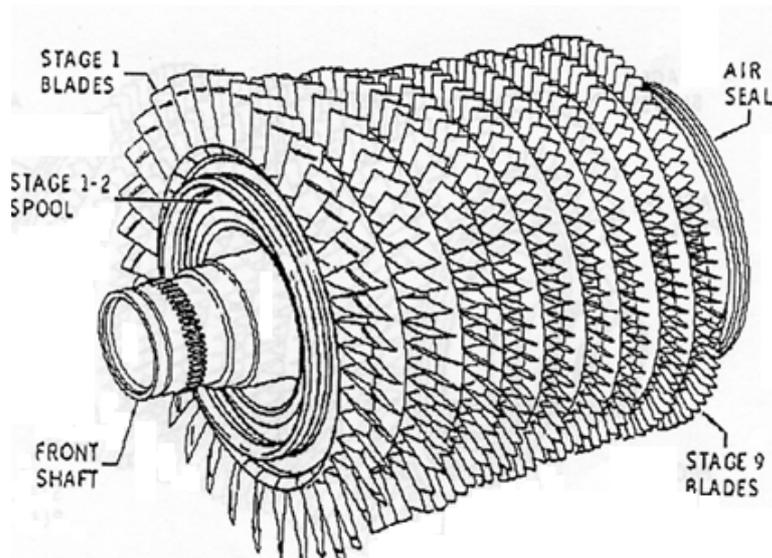


Figure (I-11.1): Pour CFM 56-7B.

(Figure I-11) : Compresseur haute pression.

### **I-5.2.2. La chambre de combustion : Figure (I-12)**

La chambre de combustion est de type annulaire située dans la partie arrière du CRF (Compressor Rear Frame), contenant une zone de combustion et une deuxième qui permet le contrôle du mélange air carburant. L'air provenant du compresseur haute pression est admis avec du carburant pulvérisé par l'intermédiaire des injecteurs. Ce mélange fut brûler et génère des gaz chauds qui se dirige vers la turbine haute pression (HPT).

La chambre de combustion (CC) est constituée de différents éléments :

- **L'ensemble capotage (Cowl Assembly) :** Ils forment un bord qui admet l'air à la chambre de combustion.
- **Couche internes et externes (Inner and Outer liners) :** Contenant des trous qui permettent d'optimiser le refroidissement et d'augmenter les performances de la combustion.
- **Un dôme (The dome) :** Permet de stabiliser la flamme et enceinte du mélange air carburant.

Le moteur CF6-80 E1 est équipé de (30) injecteurs de type duplex, répartis d'une manière équitable tout autour du CRF et de deux (02) allumeurs disposés dans les positions 3H00 et 5H00.

Par contre, le moteur CFM 56-7B ne dispose que de (20) injecteurs seulement et de deux (02) bougies d'allumage disposés dans les positions 1H00 et 11H00.

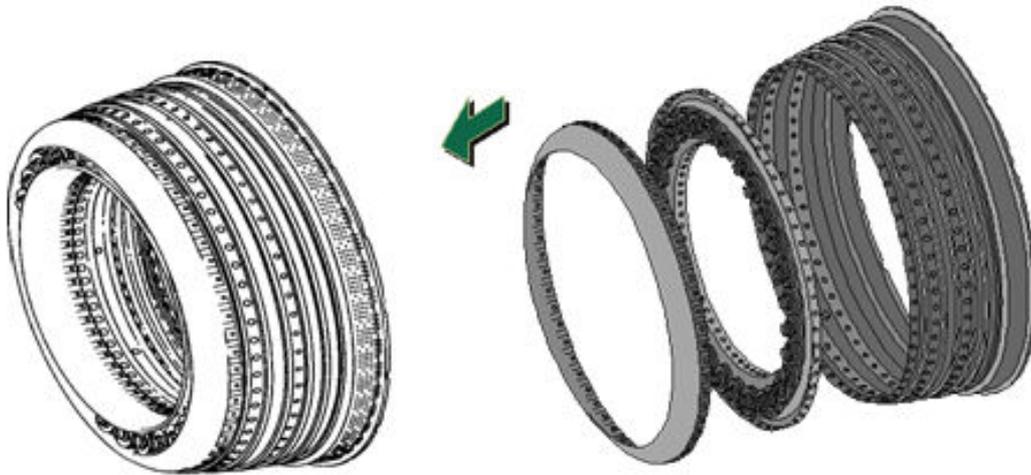


Figure (I-12) : La chambre de combustion.

### **I-5.3. Le module turbine haute pression (HPT): Figure (I-13)**

La turbine haute pression est une turbine à deux (02) étages pour le moteur CF6-80 E1. Par contre dans le moteur CFM56-7B, elle est composée d'un seul étage. L'ensemble rotor est lié au compresseur haute pression. Le 1<sup>er</sup> étage diffuseur « stator » est boulonné à la partie intérieure du CRF et soutenue au diamètre extérieur avant par la structure de la couche extérieure de la chambre de combustion.

La turbine haute pression est composée des éléments suivants :

- **1<sup>er</sup> étage diffuseur (stator) de la turbine haute pression :**

Il permet de diriger les gaz chauds sortis de la chambre de combustion vers les aubes du rotor de la turbine haute pression THP.

- **L'ensemble 2<sup>ème</sup> étage diffuseur (seulement pour le CF6-80 E1) :**

Il fournit un support d'appui au 1<sup>er</sup> étage, fournit aussi le contrôle du jeu actif ainsi que les chemins pour l'écoulement d'air.

- **L'ensemble rotor :**

Il est de (02) deux étages pour le CF6-80 E1. Par contre, il est d'un seul étage pour le CFM 56-7B. Cet ensemble permet la récupération de l'énergie cinétique des gaz chauds, et la transforme en énergie mécanique pour conduire l'attelage haute pression et entrainer le système des accessoires moteurs.

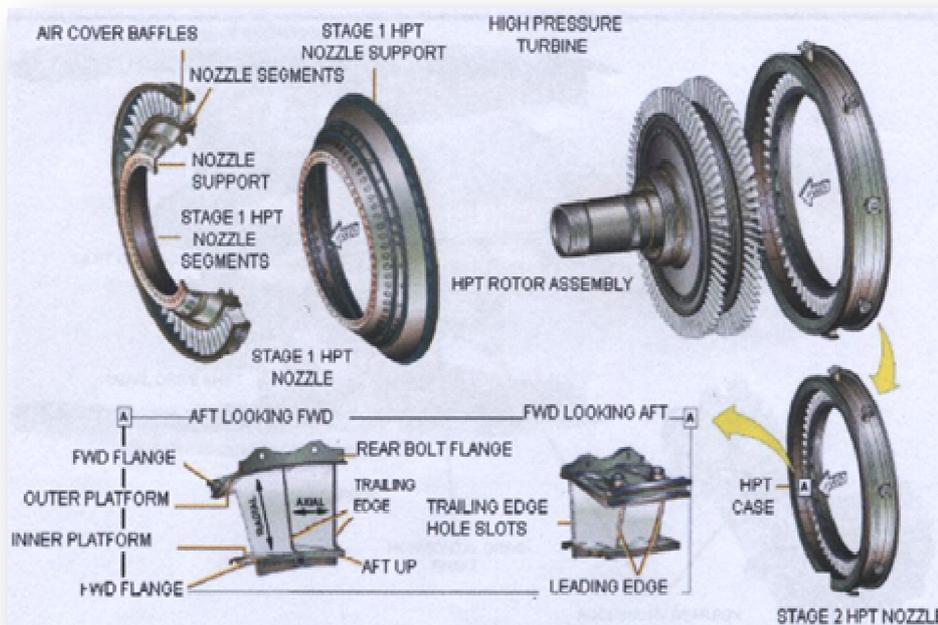


Figure (I-13.1): Pour CF6-80 E1.

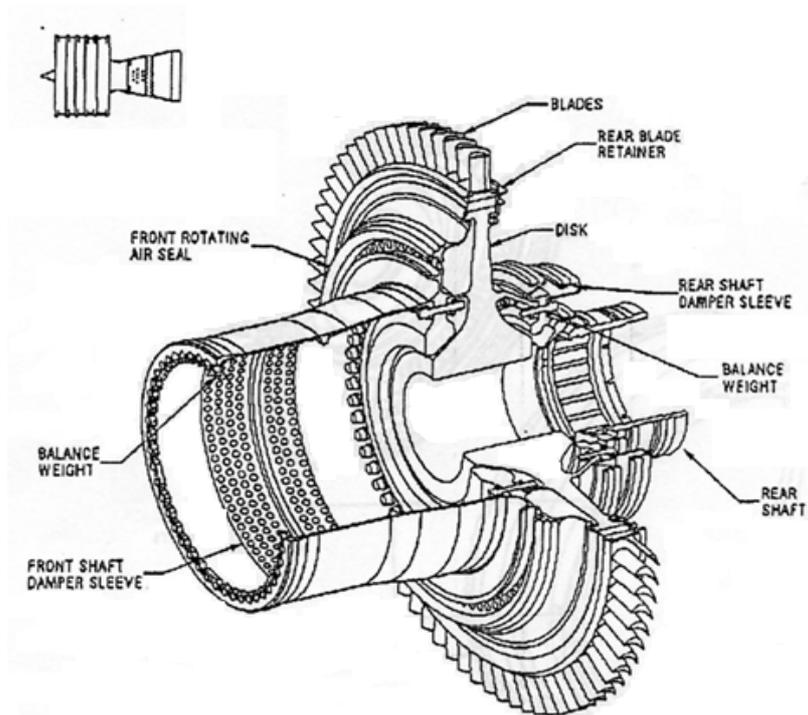


Figure (I-13.2): Pour le CFM 56-7B.

Figure (I-13) : Turbine haute pression.

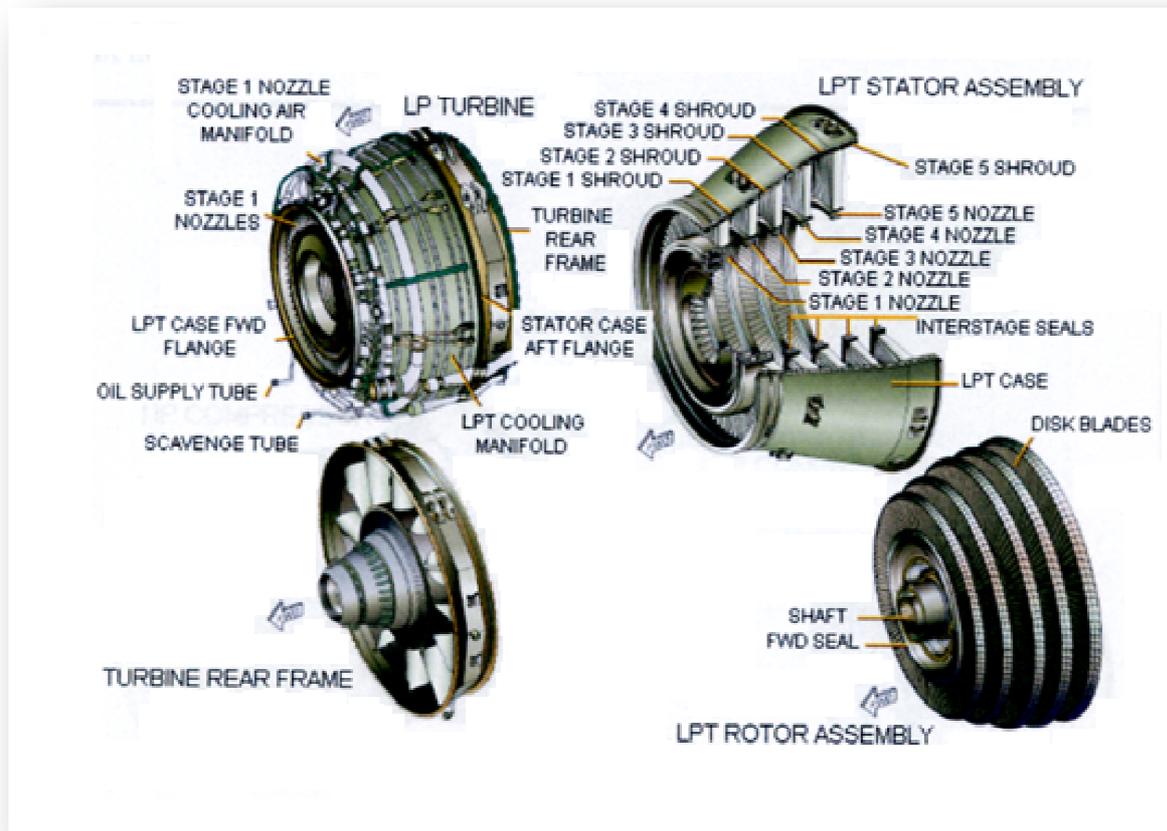
#### **I-5.4. Le module turbine basse pression (LPT): Figures (I-14)**

La turbine basse pression se constitue de (05) étages « rotor/stator » pour le moteur CF6-80 E1 et de (04) étages pour le moteur CFM56-7B. Elle entraîne le Fan et le compresseur basse pression. Les stators constituent un seul bloc, ainsi que le carter turbine qui est en seul corps. Le carter sert de carénage d'inter communication entre le support des stators de la turbine haute pression et l'arrière de la turbine, il retient aussi les stators de la turbine d'en haut.

Le premier étage des stators est refroidi par cavité, l'air de refroidissement est transmis au joint d'équilibre de pression. Il passe à travers une tuyauterie positionnée sur la périphérie du carter, il est ensuite éjecté à travers les cavités pour le contrôle de la température.

Les stators du dernier étage sont doublés. Les deux couches sont soudées et unies entre elles avec un assemblage en nid d'abeille, cet assemblage est utilisé pour augmenter la rigidité des stators. Des ouvertures sont réalisées sur le carter pour la fixation des thermocouples ainsi que des trous de boroscopie usinés sur le carter pour l'inspection des étages de la turbine. Une tubulure de contrôle du jeu de la

turbine fait une décharge d'air sur le carter de la turbine, c'est à travers des trous positionnés sur le carter que l'air est éjecté pour diminuer la dilatation du carter et ainsi minimiser le jeu entre le carter et les aubes du rotors de la turbine afin de diminuer la consommation du carburant et augmenter le rendement de la turbine.



**Figure (I-14) : Turbine basse pression.**

### **I-5.5. Le Module Gear box : Figure (I-15)**

L'énergie mécanique nécessaire pour le fonctionnement des accessoires de l'avion et du moteur est soutirée à travers un système de Gear box. La boîte de prélèvement du mouvement (IGB : Inlet Gear Box) prélève le mouvement de l'attelage haute pression N2. Puis la RDS (Radial drive shaft) assure la transmission radial du mouvement, ce dernier sera transformé en mouvement axial par la TGB (Transfert Gear Box). Par la suite la HDS (Horizontal drive shaft) le transmet vers l'AGB (Accessory Gear Box) qui sert à entraîner les accessoires du moteur.

Pour le moteur CF6-80 E1, la AGB entraine les équipements suivants :

- ❖ Les équipements qui se situent à l'avant de la Gear box :
  - Unité hydromécanique (HMU).
  - Cinq pompes de récupération d'huile.
  - Une pompe de refoulement d'huile.
  - Une pompe hydraulique.
  - Un tachymètre N2.
  - Un alternateur magnétique permanent (PMA) (Génératrice de courant électrique de l'ECU)
- ❖ Ceux qui se situent à l'arrière :
  - Le générateur (IDG) « Générateur de courant de l'avion ».
  - Une pompe à carburant.
  - Un démarreur pneumatique.

Alors que pour le moteur CFM56-7B, la boîte permet d'entraîner les accessoires suivants :

- ❖ Ceux qui se trouvent dans la partie avant on a :
  - Alternateur EEC « Unité de contrôle électrique ».
  - Démarreur d'air du moteur « Pneumatique ».
  - Pompe hydraulique.
  - Alternateur à entraînement intégré (IDG).
- ❖ Ceux qui se trouvent dans la partie arrière on trouve :
  - L'unité hydromécanique.
  - Pompe carburant.
  - Unité de lubrification(LBU).
  - Echangeur principal huile/carburant.
  - Servo-réchauffeur carburant.

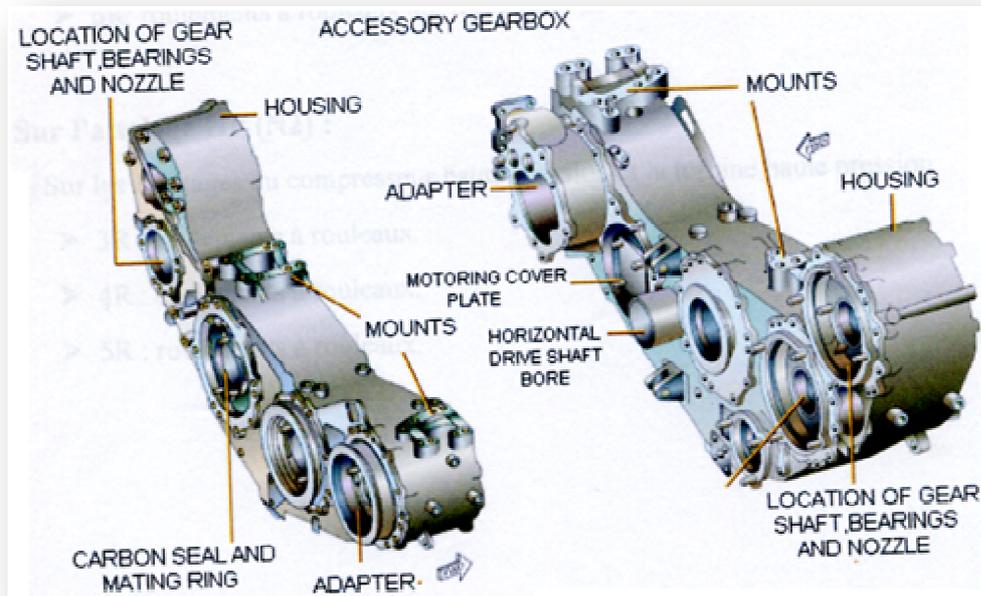


Figure (I-15) : L'AGB.

### I-6. Paliers et roulements moteur : Figure (I-16)

Les rotors du moteur sont supportés par des roulements positionnés dans les cavités du carter.

Le palier est un ensemble de roulements, sur le CF6-80 il y'a quatre paliers principaux :

- Le palier « A » se situe sur le support FAN, il se compose de trois roulements 1B, 2R et 3R.
- Les paliers « B et C » se situent à l'arrière du support du compresseur, ils se composent de trois roulements 4B, 4R et 5R.
- Le palier « D » se compose d'un roulement 6R.

Par contre le moteur CFM56-7B comporte deux (02) paliers :

- Palier avant.
- Palier arrière.

Cinq (05) roulements « Deux (02) à bille et trois (03) à galets » sont contenus dans le palier avant (Roulement 1B, 2B et 2R) et palier arrière (Roulement 4R et 5R).

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

La lubrification des roulements est très importante pour garder les caractéristiques mécaniques des systèmes, car elle refroidit les paliers et diminue les frottements ce qui implique une diminution d'usure.

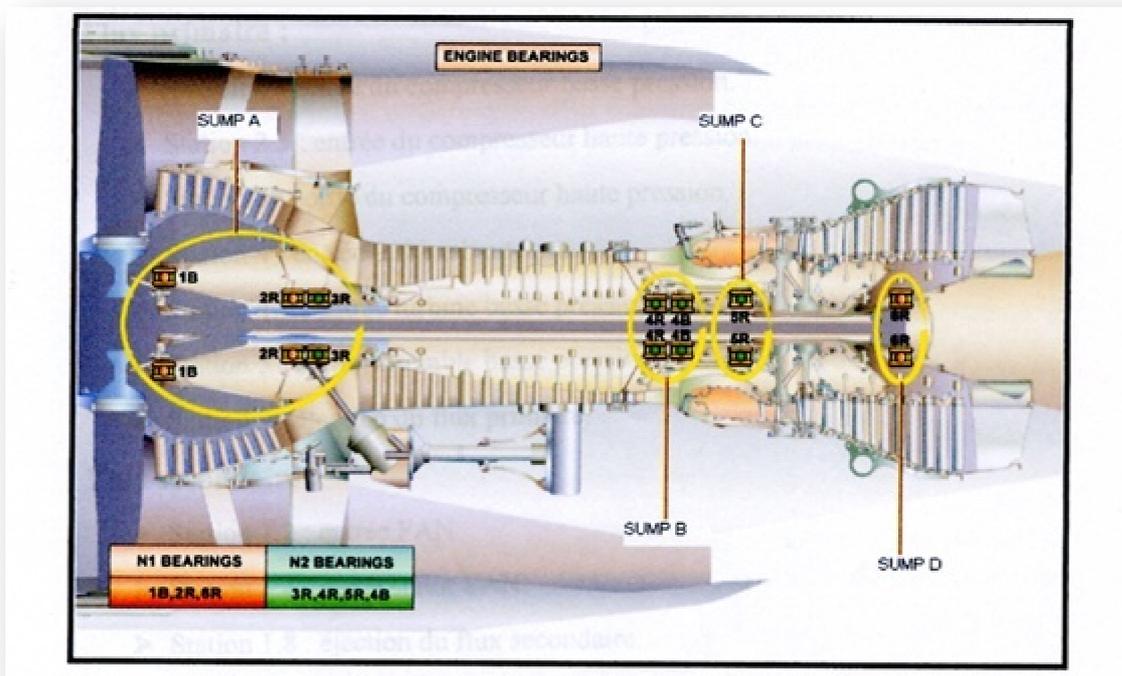


Figure (I-16): Les paliers et roulements.

### I-7. Les stations aérodynamiques : Figure (I-17)

Pour l'étude des performances du turboréacteur et le bon fonctionnement de ce dernier, le moteur a été réparti en plusieurs stations aérodynamiques, dans chacune des stations des capteurs et des sondes sont placés pour la détermination des températures et des pressions en chaque station et en temps réel.

- La station 0 : Atmosphère ambiante (température et pression ambiantes).
- La station 1.2 : Entrée d'air.

- ❖ Les stations du flux primaire :
  - Station 2 : Entrée compresseur basse pression.
  - Station 2.5 : Entrée compresseur haute pression.
  - Station 3 : Sortie compresseur haute pression.
  - Station 4 : Entrée turbine haute pression.
  - Station 49.5 : Entrée turbine basse pression.
  
- ❖ Les stations du flux secondaire :
  - Station 1.2 : Entrée fan.
  - Station 1.4 : Sortie stator fan.
  
- ❖ Si le moteur est équipé du Kit surveillance d'état optionnel, plus de sondes sont à ces stations.
  - Station 13 : Décharge Fan.
  - Station 25 : Entré HPC.
  - Station 50 : Décharge LPT.

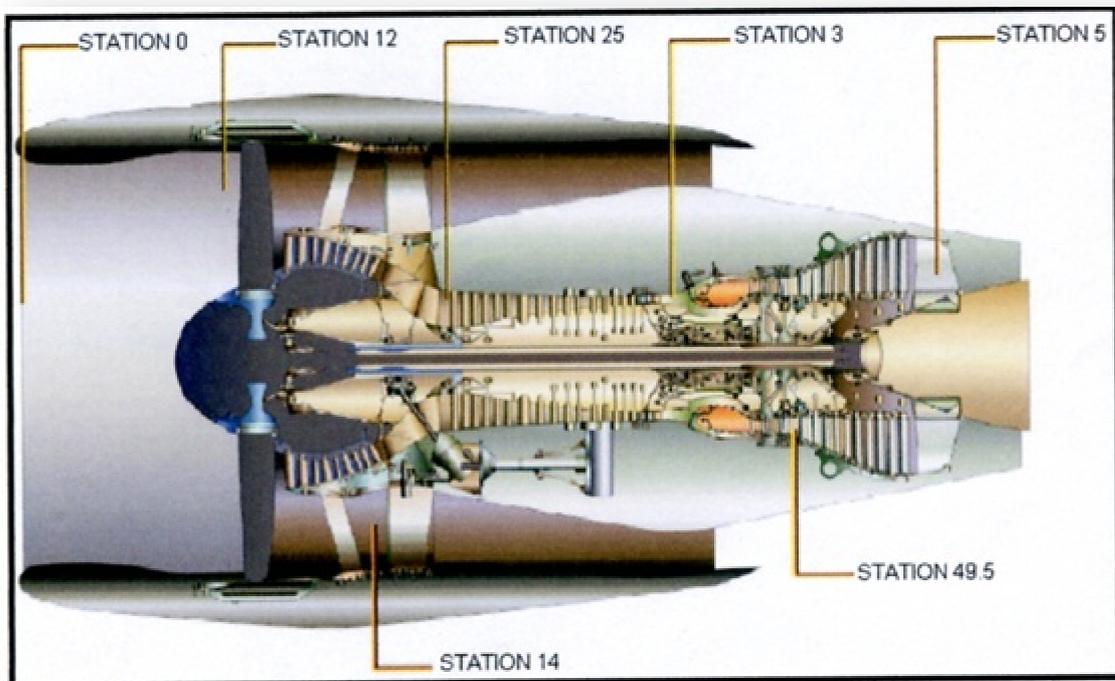


Figure (I-17) Les stations aérodynamiques.

## **II-1. Le système FADEC :**

### **II-1.1. Description générale :**

Le FADEC (Full Authority Digital Electronic Control), est un système numérique à microprocesseur qui sert au contrôle et la gestion des turboréacteurs dont il est équipé. Il calcule la quantité de carburant à injecter au moteur en fonction de la position de la manette des gaz (TLA), 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 ) » pour le moteur CF6-80 E1, ainsi que d'autres composants qui sont :

- ➔ Unité hydromécanique (HMU).
- ➔ Capteurs (Pression, température, vitesse de rotation).
- ➔ Actionneurs (Moteur, servo -valves, pompes).
- ➔ Système d'inversion de poussée.

Il existe un Système FADEC pour chaque moteur dans l'avion, et ses éléments critiques (Capteurs, unité de traitement, connecteurs et servocommandes) sont doublés.

Chaque chaîne de commande du moteur est indépendante des autres contrairement à l'interface entre le FADEC et les autres systèmes de l'avion qui lui 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).

### **II-1.2. L'intérêt du contrôle numérique :**

#### **➤ Diminution des tâches de travail de l'équipage :**

Le FADEC assure un contrôle automatique du fonctionnement du moteur dans toutes les phases du vol ainsi, il réduit la tâche de travail à l'équipage qui est une tâche critique et complexe. 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 le pilote automatique (Auto manette).

En plus il peut gérer des procédures compliquées tel que :

- Des procédures de démarrage.
- Des procédures d'extinction des moteurs.
- Des procédures d'inversion de poussée à l'atterrissage.
- Ainsi que toutes sortes de limitation au fonctionnement normale des moteurs.
  
- **Utilisation optimale du moteur :**

Le FADEC permet d'assurer une meilleure exploitation du moteur dans toutes les phases du vol, assurant de la même manière la réduction de l'usure des moteurs.

- **Simplification de la maintenance :**

Toute anomalie de fonctionnement est détectée par le FADEC et est transmise au calculateur de maintenance centralisé (MCDU) qui sera interrogé lors des opérations de maintenance au sol. De cette façon on peut prévenir l'apparition de certaines pannes et par la même occasion on assure une disponibilité opérationnelle des moteurs qui sera en nette augmentation.

- **Simplification des systèmes :**

Et cela par suppression des liaisons mécaniques et d'éléments mécaniques complexes susceptibles de vieillir. Qui en résulte aussi un gain de poids non négligeable lorsqu'on sait l'importance de ce facteur dans l'aéronautique.

**II-1.3. Mode de fonctionnement du système FADEC :**

➤ **Le réglage de la poussée en mode manuel ou automatique :**

Six modes « Limite de poussée » (Thrust ratings) peuvent être sélectionnés à la manette des gaz :

- MTO/GA : Poussée maximale au décollage et remise des gaz.
- FLXT/O : Poussée réduite au décollage.
- IDLE : Le FADEC détermine un débit de carburant minimal suffisant pour assurer toutes les servitudes de bord (Pressurisation, antigivrage, ...).
- MCT : Poussée maximale en continu.
- MCL : Poussée maximale en montée.
- REVERSE : Gestion de la poussée au freinage au sol avec contrôle des panneaux d'inversion de poussée.

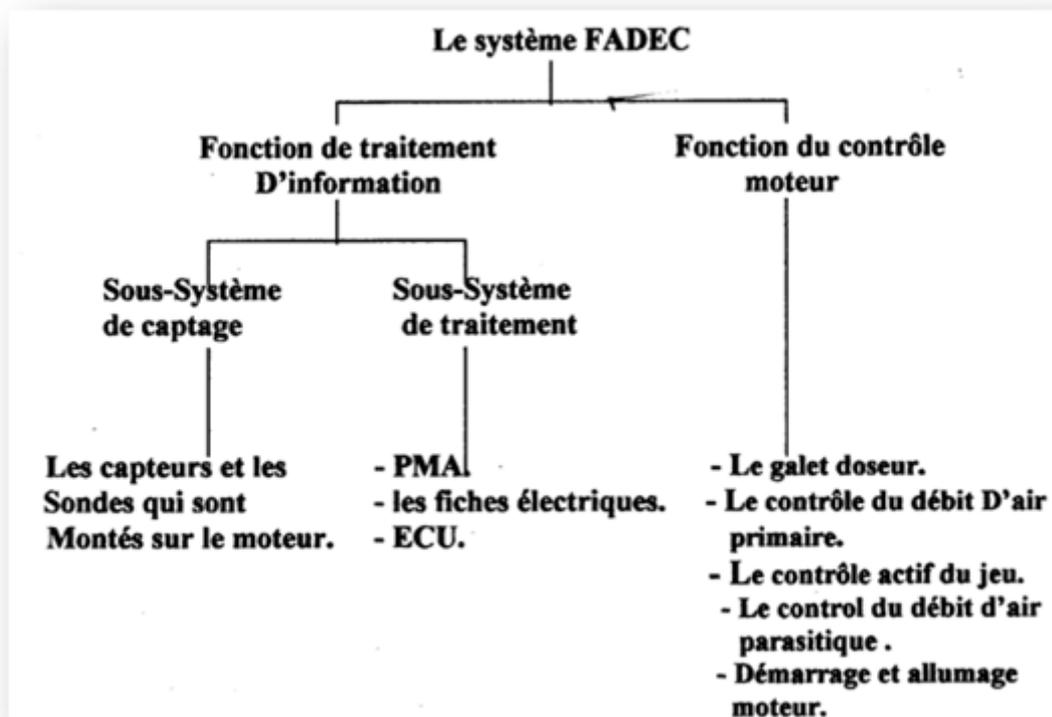


Figure (II-1) : Les fonctions du système FADEC.

➤ **Transmission des paramètres moteurs pour affichage :**

Les paramètres principaux 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).

➤ **Contrôle moteur :**

Le FADEC exécute les fonctions suivantes :

- Contrôle du débit de carburant (FMV).
- Contrôle de la valve de sélection d'injecteurs (BSV) pour le CFM 56-7B.
- Contrôle de la valve de retour carburant (FRV).
- Contrôle de la vanne de décharge (VBV).
- Contrôle des stators à calage variable (VSV).
- Contrôle de la valve de contrôle actif du jeu turbine haute pression (HPTACC).
- Contrôle de la valve de contrôle actif du jeu turbine basse pression (LPTACC).
- Contrôle de la valve de décharge transitoire (TBV) pour le CFM 56-7B.
- Contrôle de la vanne de refroidissement (BCV) pour le CF6-80 E1.
- Contrôle de la vanne de refroidissement du moteur et accessoires (CCCV) pour le CF6-80 E1.
- Contrôle de température.
- Contrôle de démarrage du moteur et de la détection des pannes internes.

Par précaution, l'alimentation de chaque chaîne de calcul est assurée par un alternateur spécialisé entraîné par le moteur dès que  $N2 > 15\%$  et au démarrage par le circuit d'avion.

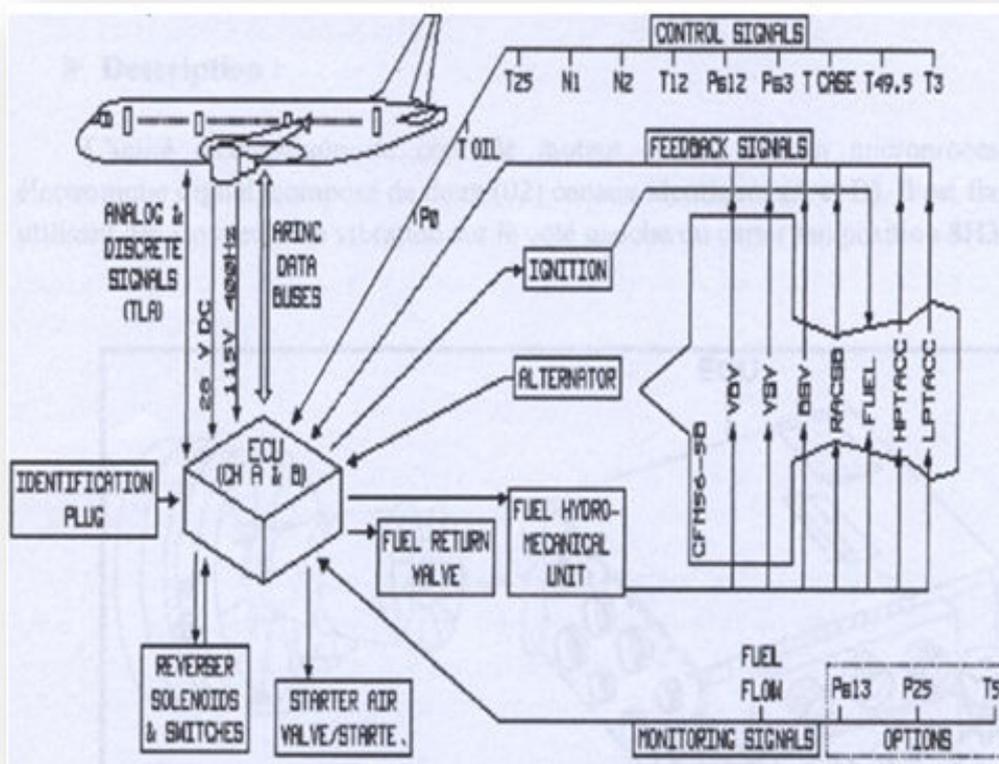


Figure (II-2) : Présentation du système FADEC.

## II-2. Les unités du système FADEC :

### II-2.1. Unité de contrôle électronique du moteur CF6-80 E1 (ECU) :

L'ECU (Electronic Contrôle Unit), est localisé en position de 8H30 sur le carter FAN à l'arrière de la soufflante, c'est un microprocesseur et un calculateur numérique à double canal A et B. Il se déclenche automatiquement lors du déclenchement du FADEC au sol. Tous les paramètres moteurs, signal de retour des équipements aussi les paramètres propres de l'ECU, ils lui seront transmis après les avoir transformé en alarmes visuelles et sonores vers le coq-pite, si ces paramètres sont hors de la marge de sécurité, ils seront enregistrés au niveau du MCDU « Flight deck Multipurpose Control and Display Unit ». L'ECU reçoit les signaux électrique depuis les sondes du moteur fixées à distance et après le traitement des signaux, L'ECU transfert les commandes sous forme de signaux électriques à l'HMU.

Ces signaux électriques sont :

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

Les deux canaux qui équipent l'ECU, sont des canaux d'acquisition et de calcul. Chaque canal peut contrôler les opérations du moteur. Ces deux canaux reçoivent les mêmes signaux des positions des vannes, solénoïdes et Switch. Tous deux reçoivent le signal de position de chaque valve « Inputs signals », ils traitent ce signal de position puis l'envoi en un signal de commande « Outputs signal ». Le signal d'un seul canal qui commandera tous les systèmes, l'autre sera éliminé dans l'ECU par le « Switching relays ». C'est pour ça qu'on dit que les deux canaux fonctionnent indépendamment l'une de l'autre tout en assurant la redondance, quant l'un est actif l'autre est en attente (Mode de surveillance), ce canal exécute les mêmes fonctions que celle du canal actif, il comprend plusieurs connections pneumatiques et électriques.

Le canal passive prend le relais quant celui qui était actif tombe en panne, cette transaction se fait directement et sans décalage de signal, et ceux grâce à un connecteur électrique entre les deux canaux, ce connecteur est appelé CCDL (Cross Channel Data Link). Il assure encore la comparaison du signal de commande entre les deux processeurs pour détecté la défiance si défiance il y a dans ces processeur.

Il contient (15) connecteurs électriques câblés qui sont localisés sur le panneau bas de l'ECU. Chaque connecteur à un modèle à clé unique qui n'accepte que le câble correspondant. Ces (15) connecteurs sont partagés en trois parties :

- (J1-J6) : Les interfaces avion.
- (J7-J13) : Les composants moteurs.
- (J14-J15) : Les prises d'identifications.

→ **Les interfaces avion :**

Le connecteur	Le canal	Fonction
(J1-J2)	(A-B)	Excitateur allumage entrée/sortie.
J3	A	Ouverture galet doseur, ouverture valve démarrage, pannes ECU, bus des données digital (ADC,TMC) entrée/sortie.
J4	B	Allumage simple, double.
J5	A	Type d'avion, position moteur (gauche, droite), position des inverseurs.
J6	B	Déconnexion TMC sélection de mode d'opérations (Contrôle ou teste), position des inverseurs.

→ **Les composants moteurs :**

Le connecteur	Le canal	La couleur	La fonction
J7	A	Noir	Capteur N2, solénoïde, ESCV, position des commutateurs de ESCV, BCV1,HMU.
J8	B	Marron	
J9	A	Rouge	Alternateur ECU, valve de démarrage, capteur N1, T12, BCV2.
J10	B	Orange	
J11	A	Jaune	T25, LPTC, HPTC, VBV, BCV3.
J12	B	Vert	
J13	A et B	Bleu	T3, T49, T5, capteur de température d'huile, débit mètre carburant.

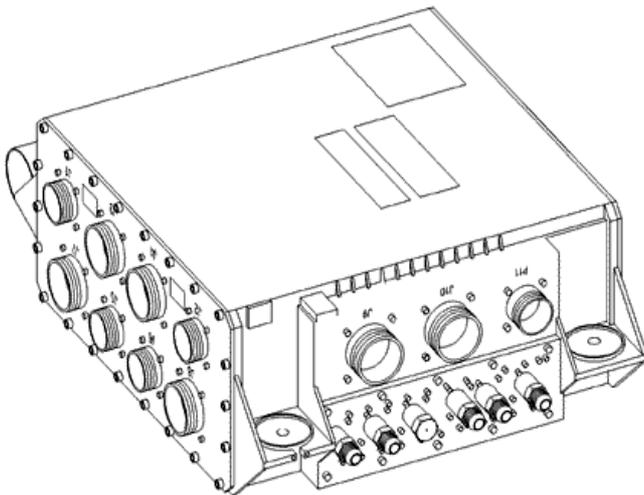
➔ **Les prises d'identification :**

J14 : Bouchon de nombre de sortie.

J15 : Bouchon d'estimation des paramètres moteurs.

L'ECU est enveloppé d'une couche d'aluminium, il assure les fonctions suivantes :

- Le contrôle de la poussée du moteur.
- Le contrôle du débit à travers le compresseur.
- Le refroidissement des carters turbine haute pression et basse pression.
- Assure l'interface moteur/ avion (ECAM,...).
- Détection des pannes.
- Le contrôle du circuit reverse.
- Le contrôle du circuit démarrage.
- Indication de l'état du moteur.



**Figure (II-3) : L'unité électronique du contrôle moteur (ECU).**

➔ **Les connexions de la boîte de contrôle numérique aux systèmes du moteur et d'avion :**

Elle est reliée à des systèmes et composants suivants :

- Prise d'identification.
- Unité hydromécanique (HMU).
- Système de contrôle d'air moteur.
- Capteurs du moteur.
- Commande du carburant.
- Alternateur de la boîte de contrôle numérique (ECU ou EEC).
- Circuit d'allumage.
- Système de visualisation commune.
- L'unité d'affichage électronique (DEU).
- Auto manette (A/T).
- Ordinateur de gestion de vol (FMC) et la boîte de contrôle et d'affichage (MCDU).
- Indication du moteur et du carburant.
- Commande d'arrêt et levier de démarrage.
- Unité de référence à inertie de données aériennes 1 et 2 (ADIRU).
- Unité d'acquisition de données de vol (FDAU).
- Interrupteur de feu moteur.
- Séparateurs de poussée.
- Inverseurs de poussée (TRS).
- Auto bus 1 ou 2 de transfert de courant alternatif.

**II-2.1.1. L'alimentation électrique de l'unité de contrôle électronique :**

L'ECU qui équipe le CF6-80 E1 tire le courant nécessaire à son fonctionnement qui est de 28 volts courant continue à partir du réseau quand le moteur ne trouve pas ou que sa vitesse est encore faible, au démarrage (N2 inférieur à 12%), et par l'intermédiaire de son alternateur triphasé qui lui est propres dès que le moteur tourne à plus de 15% de N2 nominal.

Au sol, 5 minutes après l'arrêt du moteur, l'alimentation avion est automatiquement coupée pour éviter des heures inutiles de fonctionnement de l'ECU. A ce moment l'ECU reçoit aussi une alimentation en 115 volts alternatifs (VAC) pour les circuits d'allumage.

### **II-2.1.2. Dimensions et poids de l'unité de contrôle électronique :**

#### **➔ Dimensionnement de l'ECU :**

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

### **II-2.2. Le système hydromécanique:**

#### **II-2.2.1. L'unité hydromécanique HMU :**

##### **II-2.2.1.a. Généralité :**

L'HMU (Hydromecanical Unit) est localisé sur le coté droit avant de la Gear box. L'HMU est un élément du système FADEC commandé par l'ECU pour fournir le carburant nécessaire aux injecteurs suivant la demande. Elle transforme les signaux traités par micro en des signaux de commande hydraulique pour contrôler les (05) valves de moteur régulées. La HMU contrôle la pression du carburant pour le positionnement des dispositifs suivants :

- ➔ Deux vérins des stators à calage variable (VSV).
- ➔ Deux vérins de valve de décharge (VBV).
- ➔ Une valve de contrôle actif du jeu turbine basse pression (LPTACC).
- ➔ Une valve de contrôle actif du jeu turbine haute pression (HPTACC).

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

- Système de dosage carburant.
- Système du régulateur de survitesse.
- Système de pressurisation et d'arrêt.
- Système de by-pass.
- Système d'asservissement.

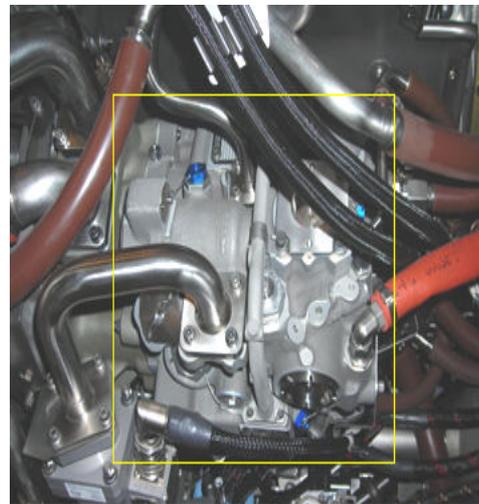
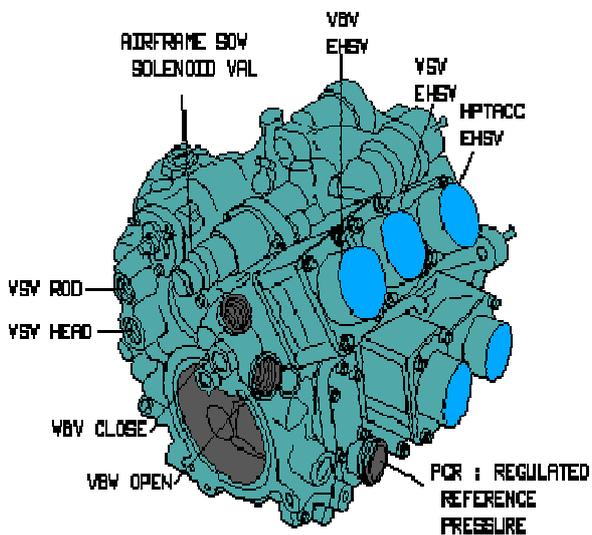


Figure (II-4) : L'unité hydromécanique (HMU).

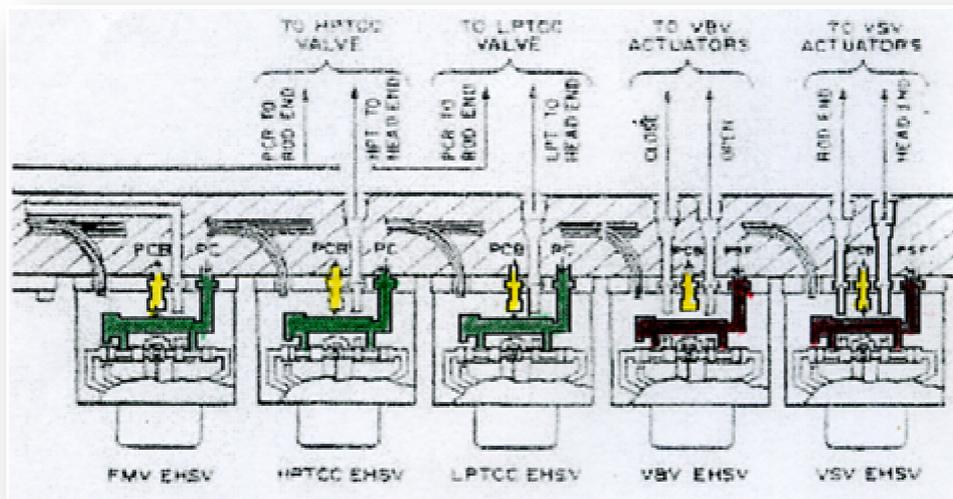
La HMU assure les fonctions suivantes :

- L'ouverture et la fermeture de la HPSOV.
- Contrôle le débit carburant.
- Régulation du N2.
- Guidage des vérins VSV, VBV, HPTACC, LPTACC.

### II-2.2.1.b. Les électro hydrauliques servos vannes (EHSV) :

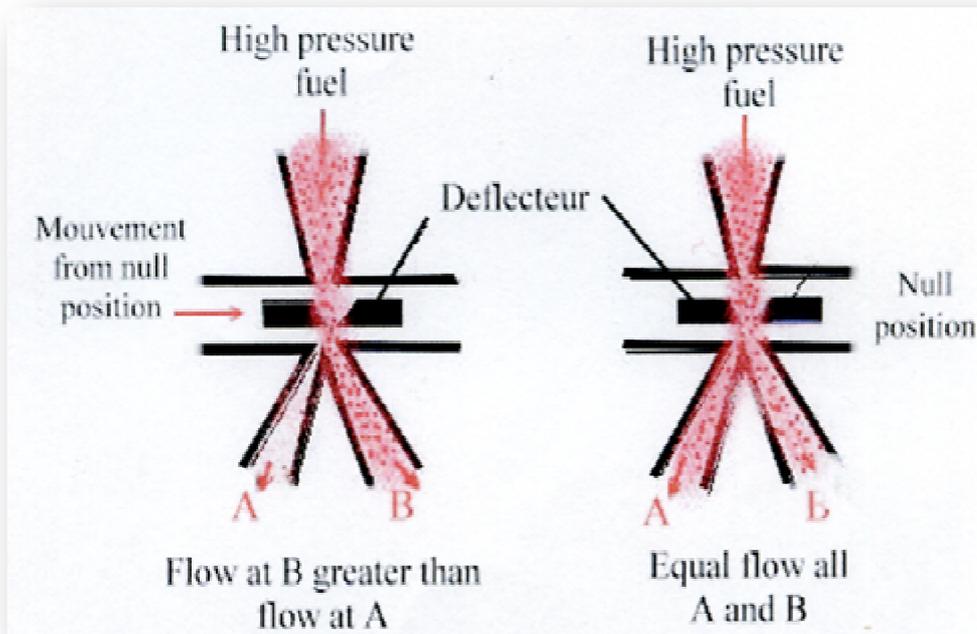
Le régulateur principal du carburant du CF6-80 E1 comporte cinq (05) électro hydrauliques servo valves, ils sont devisés en deux types :

- Trois (03) voies pour les systèmes LPTACC, HPTACC et FMV.
- Quatre (04) voies pour les systèmes VSV et VBV.



**Figure (II-5) : Les différents électro hydrauliques servo valve.**

Chaque EHSV comprend deux étages actionnés par un moteur couple. Le 1<sup>er</sup> étage de l'EHSV est un amplificateur fluide qui actionne le deuxième 2<sup>ème</sup> étage de la vanne tiroir. Il positionne la vanne tiroir en réponse au moteur couple. Il actionne en dirigeant une petite quantité de carburant haute pression aux orifices qui fournissent ce carburant à l'une ou l'autre extrémité de la vanne tiroir.



**Figure (II-6) : L'amplificateur fluide de l'EHSV.**

Quand l'EHSV est à sa position neutre, des pressions égales sont dirigées par l'injecteur de l'amplificateur fluide. Cet injecteur de carburant est entre l'orifice fournissant le carburant à haute pression, et des orifices misent à l'air libre aux extrémités de la vanne tiroir. La position de l'injecteur de carburant est une fonction du moteur couple. En fonctionnement, l'injecteur divise le carburant à haute pression délivrée aux extrémités de la vanne tiroir selon les commandes du moteur couple.

La vanne tiroir fournit le carburant haute pression pour le déchargé à l'extrémité de la vanne. A la position neutre, les orifices de la vanne se ferment et dirigent le carburant vers le composant ayant fonctionné. N'importe quel repositionnement de la vanne tiroir change la mise en l'air libre de la vanne de décharge. Une décharge dirigera le carburant haute pression au composant ayant fonctionné.

L'orifice centrale de la vanne évacuera le carburant à haute pression au composant ayant fonctionné vers la pression du corps ( $P_{cb}$ ). La déflexion d'armature est commandée par l'amplitude et la polarité du courant dans les enroulements moteur.

Lorsque le moteur couple est à la position neutre, un courant est fourni à partir de l'ECU pour maintenir le déflecteur à la position neutre. N'importe quel changement de courant du moteur couple cause la déflexion d'armature. La quantité et la direction de débattement sont déterminées par le

changement d'amplitude et la polarité du courant nul. Le débattement d'armature est appliqué par un tube flexure attaché à l'armature au point de pivot de cette dernière.

Dans le premier étage de l'EHSV, le mouvement du tube flexure repositionne le déflecteur dans l'amplificateur fluide. Le déflecteur alternativement, réoriente l'écoulement du carburant haute pression aux extrémités du servo valve. Le mouvement de la valve tiroir sur le moteur couple est actionné par un ressort de rétroaction qui est une extension du tube flexure. Les ressorts de rétroaction engagent le point médian de la valve tiroir. La position de cette dernière est mécaniquement alimentée au tube flexure. Ces rétroactions mécaniques assurent l'armature, le tube flexure, et le retour de la valve tiroir à la position neutre après n'importe quel mouvement de la valve tiroir. Le retour des trois pièces à la position neutre assure également le déflecteur d'amplificateur fluide qui est rendu à la position neutre.

#### **II-2.2.1.c. Fonctionnement de la HMU :**

La HMU reçoit un signal électrique venant de l'ECU. La conversion de ce signal donne une information pour commander les électro- hydrauliques servovalves (EHSV) et qui sert à actionner les vérins des VBV, VSV, la LPTACC et HPTACC.

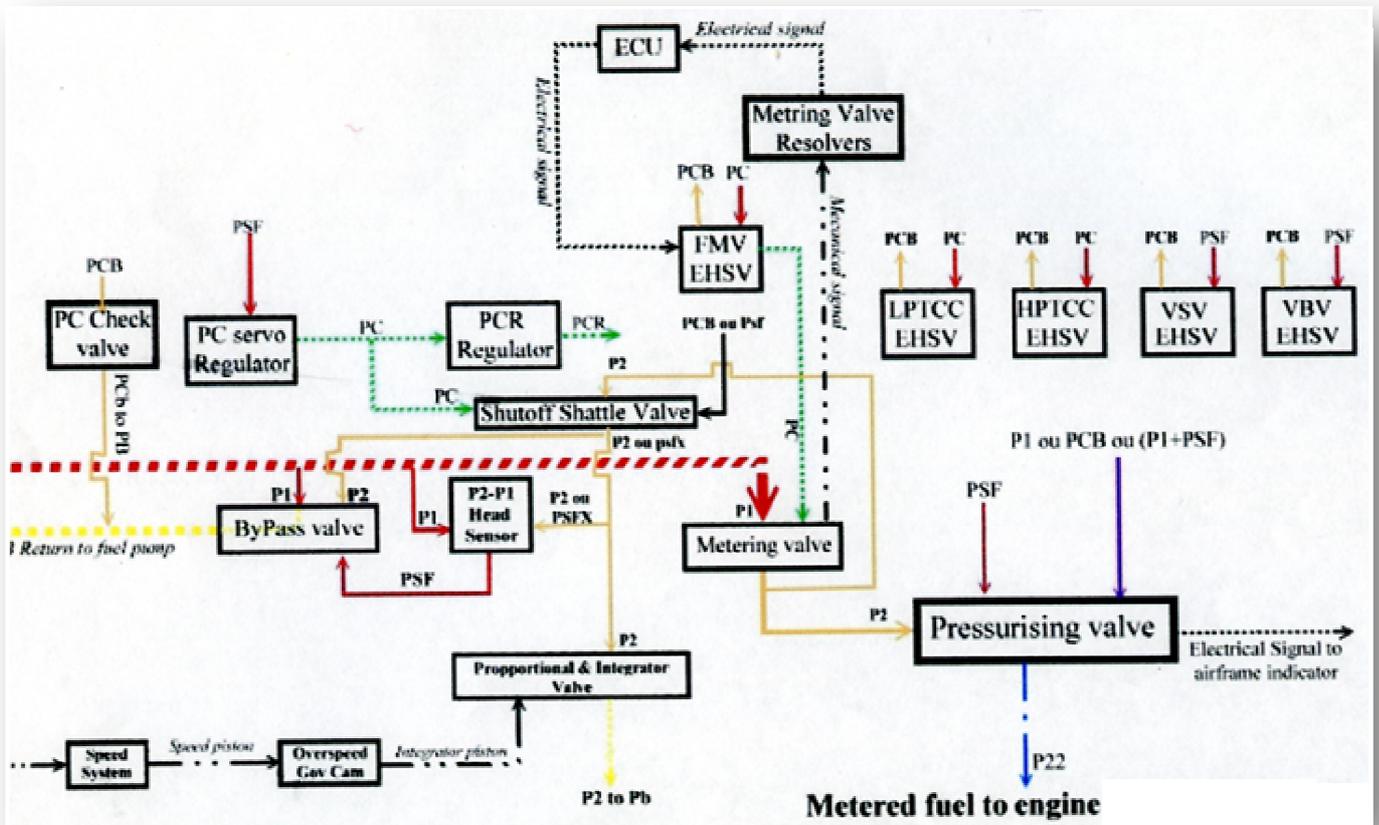


Figure (II-7) : Fonctionnement de la HMU.

La HMU est composée des éléments suivants:

- ✈ (05) cinq électro hydrauliques servovalves (EHSV).
- ✈ Une valve de by-pass.
- ✈ (01) FMV (Fuel Metering Valve).
- ✈ Un gouverneur de survitesse.
- ✈ Un LDVT (2) (Transducteur Différentiel Variable à Mouvement Linéaire).
- ✈ Régulateur de pression différentielle.
- ✈ Régulateur de servo pression.
- ✈ Shut off valve.
- ✈ Shut off solenoid.
- ✈ Le robinet carburant haute pression HPSOV.

➤ **Le galet doseur (FMV) :**

Le galet doseur est un robinet qui ouvre ou ferme l'orifice de la livraison du carburant à la demande. L'instruction est donnée par l'ECU. Cet orifice de la livraison renvoie le carburant dosé vers le robinet de pressurisation.

➤ **Le gouverneur de survitesse :**

Le rôle principal du gouverneur de survitesse est de maintenir la rotation de l'attelage haute pression (N2) si la vitesse dépasse 113%, la by-pass s'ouvre et le surplus du carburant revient vers la pompe.

➤ **Le régulateur servo-pression :**

Le régulateur a pour rôle de maintenir une pression constante aux EHSV quelque soit la vitesse du moteur.

➤ **Régulateur de pression différentielle ( $\Delta P$  régulation) :**

Lorsque la différence de pression dépasse les 36 Psi un régulateur du  $\Delta P$  tarée. La by-pass s'ouvre et fait passer la quantité excédante. Cette quantité de  $\Delta P$  va s'écouler par la valve du by-pass.

➤ **La valve de by-pass :**

La valve de by-pass est une valve dont le rôle principal est de délivrer l'excédent carburant du régulateur vers le radiateur IDG carburant/huile. Cette valve est tarée à une pression différentielle de 36 Psi.

➤ **Robinet carburant haute pression (HPSOV) :**

Le robinet carburant haute pression à deux position (ouvert/fermé). Ce robinet à une connexion avec l'ECU, localisé au fond du HMU. Le robinet carburant joue un rôle pour le drainage. À l'arrêt moteur quand la pression du carburant chute et devient inférieur à 240 Psi le robinet HPSOV se ferme. Le contrôle du système carburant du moteur CF6-80E1 se fait par l'intermédiaire des éléments suivants :

- Le capteur de nombre de vitesse N1.
- Le capteur de nombre de vitesse N2.
- La sonde de l'EGT (T49.5).

- ➔ Les sondes T12, T25, T3, P2.5, FTS (Fuel Température Sensore).
- ➔ Les capteurs P0, Ps12, Ps14, Ps3 et P4.9.

#### **II-2.2.1.d. L'alimentation en carburant du HMU:**

Le carburant filtré du moteur est envoyé directement à l'entrée principale du carburant du HMU à travers un servo réchauffeur carburant et à l'entrée du servo régulateur du HMU. L'entrée principale du carburant est située dans la face support du corps de la HMU. Une douille dans l'entrée de l'orifice, dirige ce carburant vers le clapet de décharge puis vers le galet doseur. Les particules de carburant du servo réchauffeur qui sont plus petit que 270 microns peuvent traverser le filtre carburant. Ce carburant d'alimentation sert à commander les systèmes d'asservissement du HMU, il est désigné par (Psf). Si le colmatage du filtre se produit, le filtre se déplace contre la force de ressort. Un passage de carburant à coté du filtre s'ouvre pour assurer la continuité du carburant d'alimentation aux systèmes d'asservissement du HMU. Cette ouverture, provoque une action qui se produit quand la pression à travers le filtre excède 15 Psi (103 Kpa) de carburant. Le carburant avec ses différentes pressions est distribué comme suite.

- ➔ Le carburant à la pression (Psf) est distribué à :
  - EHSV des vannes de décharges VBV.
  - EHSV des stators à calage variable VSV.
  - A travers un restricteur de tête de sonde et du clapet de décharge.
  - Vers le coté ressort de la vanne mise en pression et d'arrêt.
  - Au régulateur de servo pression (Pc).
  
- ➔ Le carburant à la pression (Pcr) est distribué à :
  - Les valves proportionnelles et d'intégrateur du système de gouverneur de survitesse dans la HMU.
  - L'extrémité de la tige du piston d'intégrateur.
  - Aux extrémités de la tige du LPTACC et du HPTACC.
  
- ➔ Le carburant à la pression (Pc) est distribué au :
  - Régulateur de pression (Pcr).
  - Le piston du galet doseur.

- ➔ Le carburant à la pression ( $P_{cb}$ ) est distribué à :
  - La valve anti-retour.
  - Désigné pour lubrifier l'arbre de commande et empêche n'importe quelle contamination dans la pompe de carburant d'entrée au HMU.

#### **II-2.2.1.e. Schéma représentatif du HMU : Figure (II-8)**

### **II-3. Le circuit carburant :**

#### **II-3.1. Généralité :**

Une spécification importante à considérer dans un carburéacteur, est le point d'éclair qui est la température à laquelle il dégage suffisamment de vapeur pour s'enflammer au contact d'une petite flamme. Généralement pour l'alimentation des groupes turboréacteurs on utilise le carburéacteur type KEROSENE. Ce dernier a l'avantage d'un point d'éclair assez élevé (+38°C) qui on fait un produit ne dégageant pas des vapeurs dangereuses dans des conditions habituelles de température au sol, il peut être donc manipulé sans précautions particulières, son nom commercial est le JET A1.

#### **➔ Qualités spécifiques au kérosène JET A1 :**

<b>Pouvoir calorifique</b>	<b>42.8 Mj/kg</b>
<b>Indice d'octane</b>	<b>70</b>
<b>Point d'éclair</b>	<b>+38°C</b>
<b>Point de congélation</b>	<b>-47°C</b>
<b>Teneur en soufre</b>	<b>0.3</b>
<b>Tension de vapeur</b>	<b>Faible</b>
<b>Densité</b>	<b>0.79</b>

Le circuit carburant permet de fournir le carburant à la chambre de combustion à une pression et un taux d'écoulement requis. Comme il assure l'alimentation du débit de carburant utilisé dans divers fonctions des sous systèmes contrôlés par la HMU.

### **II-3.2. Le rôle du circuit carburant :**

Le rôle du circuit de carburant c'est d'assurer :

- ➔ L'alimentation des trente (30) injecteurs de la chambre de combustion.
- ➔ L'alimentation des circuits hydrauliques de commande des dispositifs anti pompage (02) VSV, (02) VBV.
- ➔ L'alimentation de la vanne de refroidissement du carter turbine haute pression THP et carter turbine basse pression TLP.
- ➔ L'alimentation de la vanne de décharge de transitoire.
- ➔ Refroidissement de l'huile de graissage du moteur.
- ➔ Refroidissement de l'huile de graissage de l'alternateur (IDG).

### **II-3.3. Composition du circuit carburant :**

Le circuit carburant est totalement intégré dans la nacelle du réacteur, ses éléments sont montés sur la Gear box à l'exception des réservoirs des injecteurs et de la tuyauterie, les éléments sont comme suite :

- ➔ Les réservoirs.
- ➔ Une pompe (01) à carburant à haute pression.
- ➔ Un échangeur de chaleur principale (Huile/Carburant).
- ➔ Un filtre principal de carburant.
- ➔ Un réchauffeur carburant (Servo fuel).
- ➔ Un régulateur principal de carburant (HMU).
- ➔ Tuyauterie de l'alimentation carburant.
- ➔ Une vanne de sélection d'injecteur (Fuel Flow Meter).
- ➔ Une rampe d'injection carburant.
- ➔ Un refroidisseur (Huile/Carburant) IDG.
- ➔ Un transmetteur de débit carburant.
- ➔ (30) injecteurs.

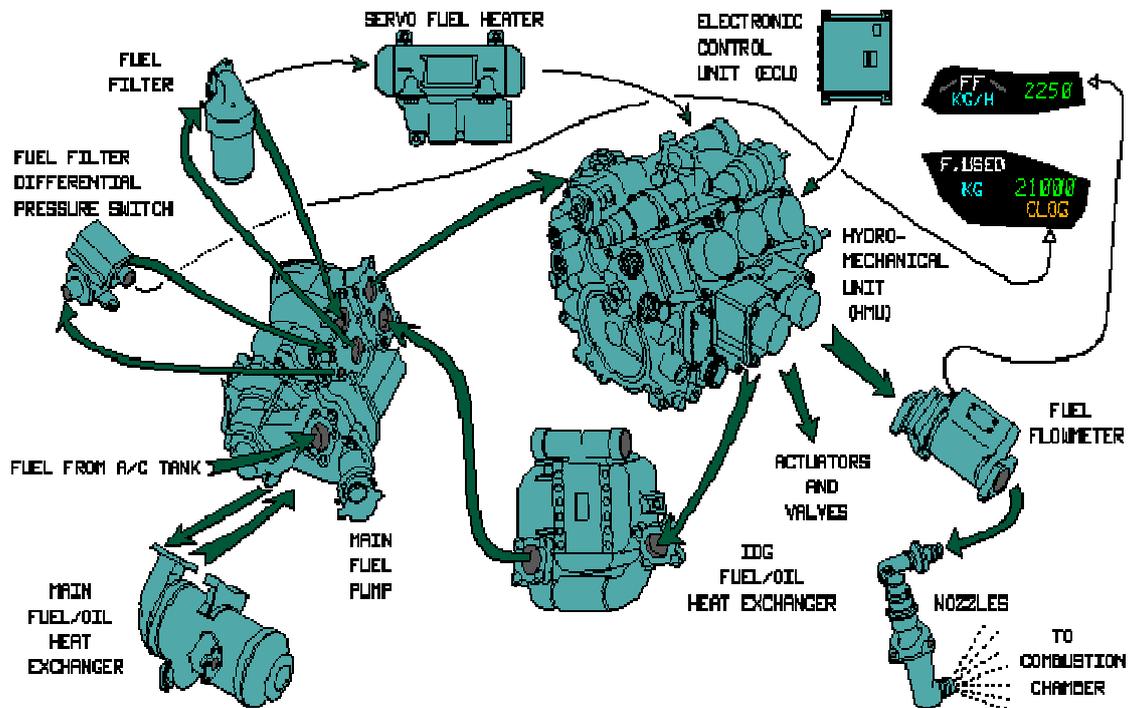


Figure (II-9) Les éléments du circuit carburant dans le moteur.

### II-3.3.1. Pompe à carburant : Figure (II-10).

Elle est montée sur le coté droit de la partie arrière de l'AGB (la boîte d'entraînement des accessoires) à la position 5H00. Cette pompe pèse 43LBS (19.4kg), elle se compose de deux étages :

- Le 1<sup>er</sup> étage est une roue centrifuge ou de gavage, permettant l'alimentation du second étage, afin d'éviter le phénomène de cavitation, sa pression maximale est 125 psi.
- le 2<sup>ème</sup> étage est une roue à engrenage haute pression, la pression maximale de cette pompe est de 1300 psi.

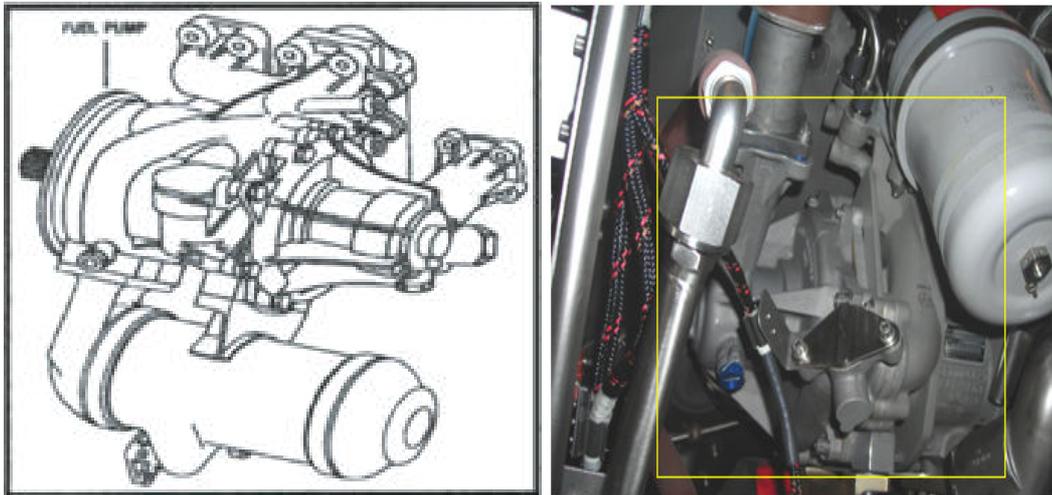


Figure (II-10) : Pompe à carburant.

### II-3.3.2. Le filtre inter étage :

Pour que la 2<sup>ème</sup> pompe (pompe à engrenages) reste toujours sous une protection contre les impuretés, un filtre métallique est placé en amont de cette pompe.

### II-3.3.3. Clapet de surpression :

Ce clapet est ouvert en cas d'une surpression entre la pompe haute pression et l'échangeur de chaleur. Il a pour rôle d'éviter la détérioration de tous les éléments, il est taré lorsque la pression est supérieur à 1350 psi.

### II-3.3.4. L'échangeur de chaleur carburant/huile : Figure (II-11)

L'échangeur de chaleur carburant/huile est monté directement sur la pompe carburant. Il a pour rôle de refroidir l'huile du moteur et réchauffer le carburant durant le fonctionnement du moteur.

Cet échangeur est équipé d'une by-pass pour l'huile. Cette valve de by-pass commence à s'ouvrir à 85 Psi et elle est complètement ouverte à 120 psi.

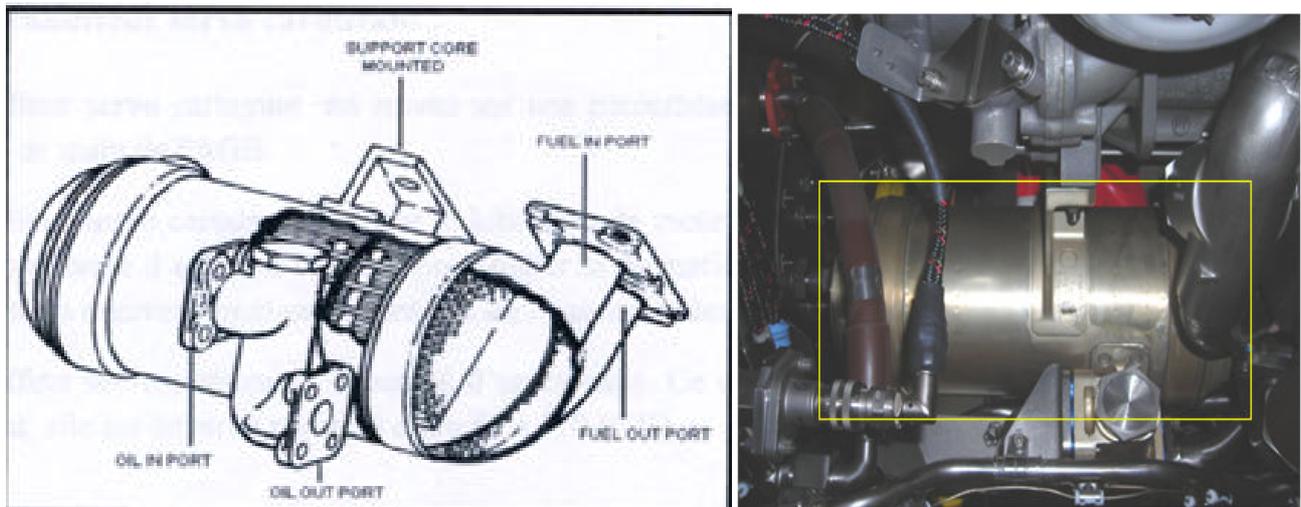


Figure (II-11) : L'échangeur de chaleur carburant/huile.

### II-3.3.5. Le filtre carburant : Figure (II-12)

Il est monté sur la pompe à carburant. Il a pour rôle de protéger les éléments du circuit de la contamination. Dans ce filtre il y a deux flux du carburant :

- Le premier flux est la majorité qui va vers le HMU.
- Le deuxième flux est une petite quantité qui va vers le second filtre (wash screen) qui le conduit au réchauffeur servo fuel.

Le filtre est aussi équipé d'une valve de surpression (by-pass valve), cette valve s'ouvre entre 64 et 95 Psi en cas de colmatage de l'élément.

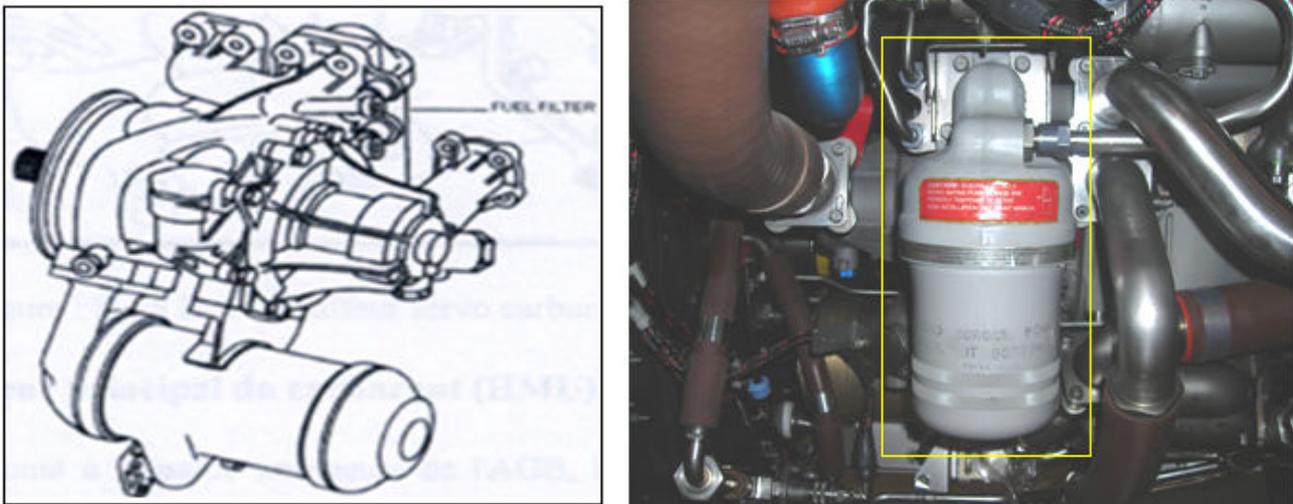


Figure (II-12) : Le filtre carburant.

### II-3.3.6. Le Switch de surpression :

Ce Switch est monté sur la pompe carburant juste au dessous du filtre carburant. Il compte la différence de pression entre l'entrée et la sortie du filtre carburant. Sur le moteur CF6-80E1, l'information de  $\Delta P$  est donnée par l'ECU.

### II-3.3.7. Le réchauffeur servo fuel : Figure (II-13)

Le réchauffeur servo fuel se trouve sur le côté droit de l'AGB, il a pour rôle de :

- Refroidir l'huile de graissage moteur.
- réchauffer le carburant avant d'entrer dans l'unit hydromécanique (HMU) afin d'éviter le phénomène du givrage du carburant qui servira pour les servo- commandes de l'HMU (VBV, VSV,...etc.).

Le carburant passe à travers des tubes métallique et l'huile circule à l'extérieur des ces tubes. Le réchauffeur servo fuel contient :

- Une valve de by-pass de la pression qui commence à s'ouvrir à 60 Psi et elle est complètement ouverte à 110 Psi.
- Une valve de by-pass thermique qui elle à pour rôle d'éviter le phénomène de (coking), ça température excède les 150°F.

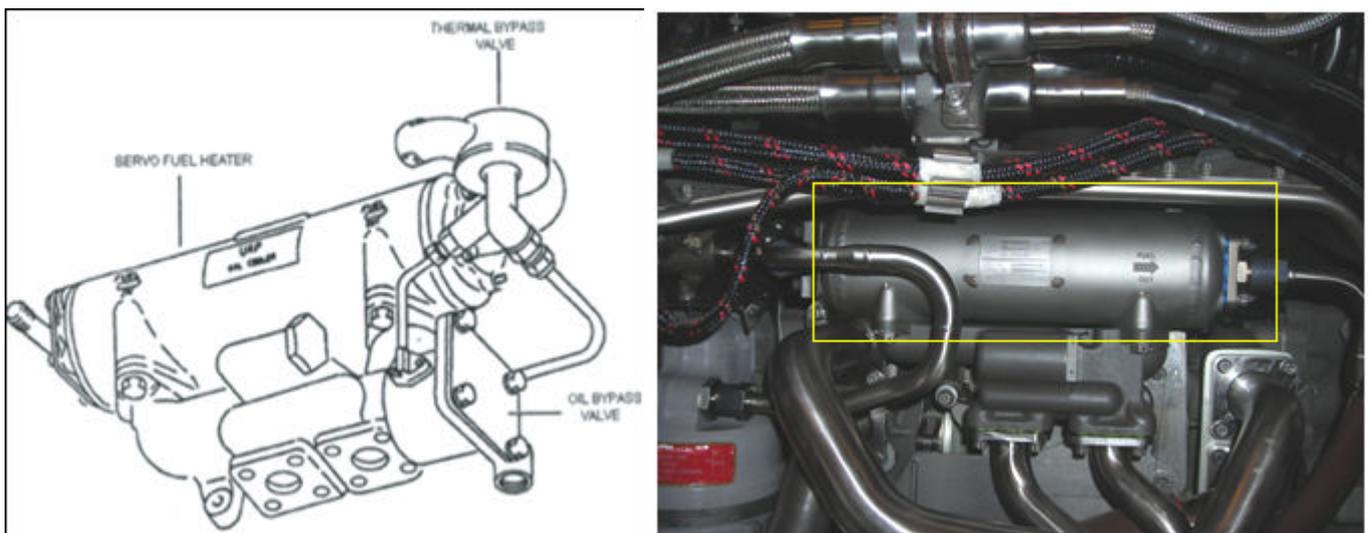


Figure (II-13) : Le réchauffeur servo fuel.

### II-3.3.8. Transmetteur de débit carburant (débitmètre) : (Figure II-14)

Le transmetteur du débit carburant (fuel flow transmitter), se situe sur le coté droit à l'avant de la Gear box, juste au dessus du HMU. Le poids du débitmètre est de 3.5 livre (1.59 kg). Le transmetteur à pour rôle de comptabiliser la quantité du carburant venant du HMU et qui va vers les injecteurs de la chambre de combustion.

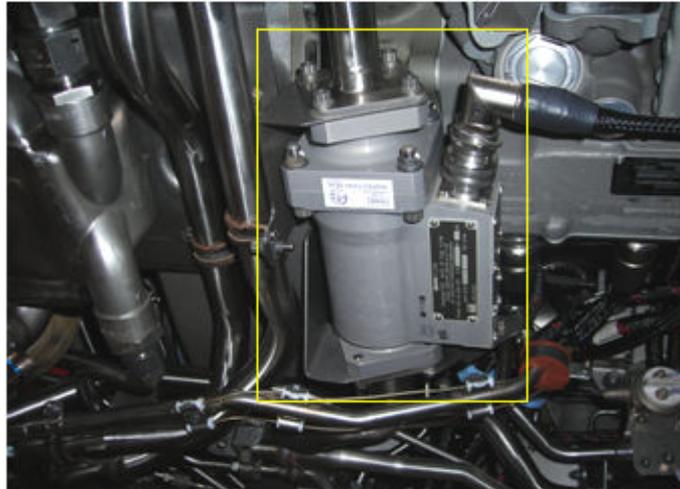


Figure (II-14) : Le débitmètre.

### **II-3.3.9. L'échangeur huile/carburant de l'alternateur IDG : Figure (II-15)**

L'échangeur huile/carburant de l'IDG est localisé sur le côté droit de la Gear box (AGB), juste au voisinage de débitmètre (FFT). Le rôle principal de l'échangeur est de refroidir l'huile de l'IDG. Le carburant transite par des tubes et l'huile circule à l'extérieur de ces tubes. Donc l'échange thermique entre le carburant et l'huile de l'IDG est par convection.

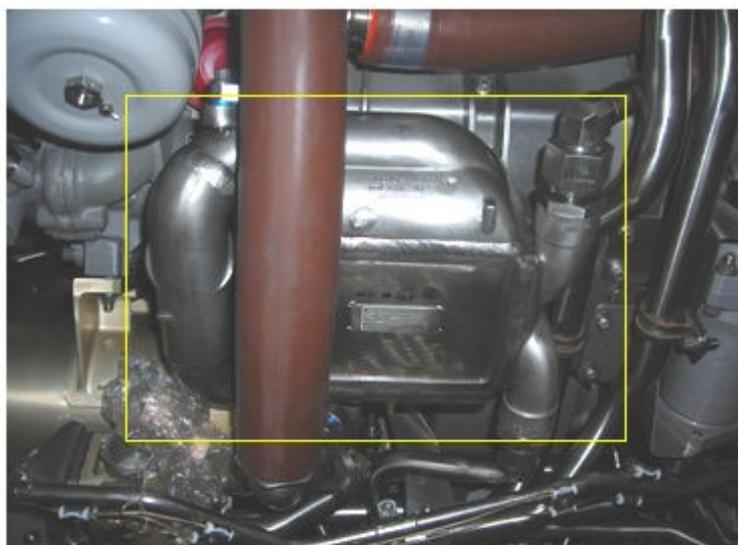


Figure (II-15) : L'échangeur huile/carburant de l'IDG.

### II-3.3.10. La rampe de carburant : Figure (II-16)

La rampe de carburant est localisée sous forme circconférentielle autour de compresseur Rear Frame. En mai 1997, la rampe carburant du CF6-80E1 contient (03) collecteurs à l'intérieur. En ces (03) collecteurs il y'a deux collecteurs de l'alimentation du carburant et la 3<sup>ème</sup> du drainage. Chacun des deux collecteurs alimente 15 injecteurs.



Figure (II-16) : La rampe carburant.

### II-3.3.11. Les injecteurs : Figure (II-17).

La chambre de combustion qui équipe le CF6-80E1 est du type annulaire, équipée de (30) injecteurs de type duplex, ayant un flux primaire et un autre secondaire. En ces 30 injecteurs, 28 injecteurs sont colorés avec bande argentée (injecteurs standards), et (02) injecteurs avec une bande bleue (injecteurs spéciaux), situés à la position 5H30 et 6H30.

- Les 28 injecteurs standards délivrent 70 pph (pound per hour) en 250 Psi.
- Les 02 injecteurs spéciaux délivrent un débit de 115pph en 250 Psi.

Dans chaque injecteur il y'a une valve de contrôle (check valve) installée à l'entrée pour bloquer l'arrivée du carburant.

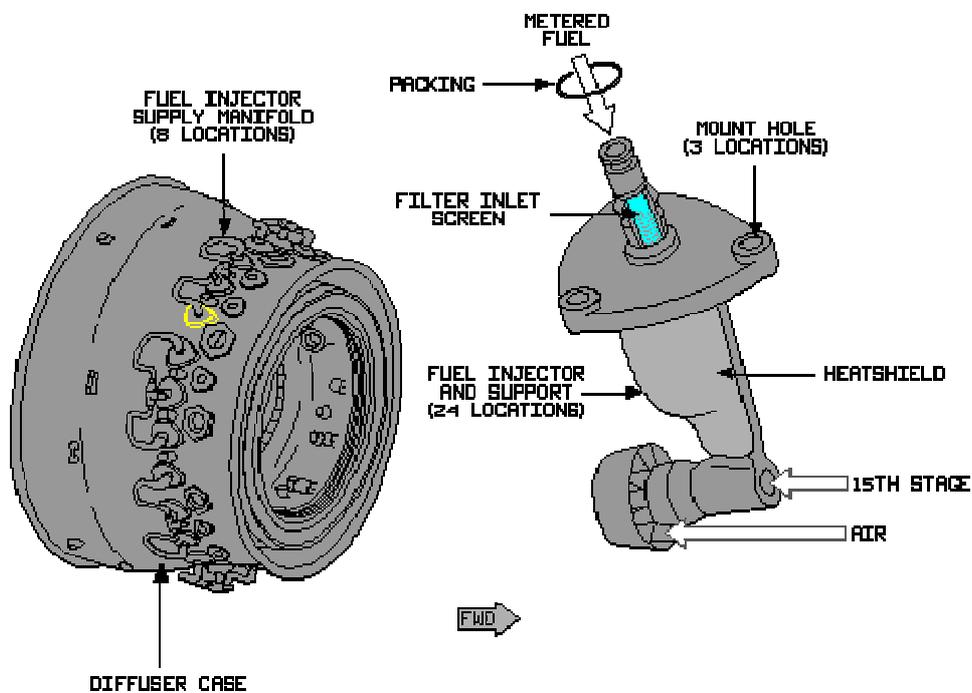


Figure (II-17) : Les injecteurs.

**II-3.3.12. La valve de drainage :**

La CDV est montée sur une tuyauterie localisée au 1<sup>er</sup> étage de la turbine basse pression à la position 5H30, la CDV est un reniflard à ressort, elle a deux position (ouverte / fermée). Elle a pour rôle de vider (ou drainer) la chambre de combustion du résidu du carburant non brûlé.

NB : Dans les CF6-80E1 qui équipe les avions de la compagnie *Air Algérie*, la valve CDV n'existe pas.

### **II-3.4. Contrôle du circuit carburant :**

La surveillance du circuit carburant se fait par l'intermédiaire de :

- ✈ Par une indication de débit carburant situé sur l'écran inférieur des paramètres secondaires moteur.
- ✈ Par un voyant d'alarme du colmatage filtre carburant situé au panneau supérieur P5-2 au cockpit.
- ✈ Par un voyant associé au robinet carburant haute pression (HOSOBV).

### **II-3.5. Le fonctionnement du circuit carburant :**

Le carburant est fourni au moteur à partir des réservoirs de carburant d'avion, après il passe à travers une pompe centrifuge qui le renvoi en suite à l'échangeur de chaleur principal (Huile/Carburant). Ce dernier utilise l'huile de récupération du circuit d'huile pour réchauffer le carburant afin de fournir une meilleure pulvérisation et de diminuer la possibilité de givrage de carburant. Une galerie creusée, porte le carburant au coté opposé de la pompe ou le filtre principal de carburant est monté. Ce dernier enlève les contaminations de carburant qui sont supérieur à 10 microns et permet ainsi de protéger les composants en aval du filtre. Le carburant propre retourne au corps de la pompe haute pression, cette dernière est reliée avec la boîte d'engrenage des accessoires (AGB). Le carburant excessif sera retourné à la pompe carburant entre les deux étages et sera recyclé. Après il va au doseur de carburant (FMV) qui est relié au régulateur carburant qui permet de mesurer la quantité de carburant brûlée. Le carburant passe ensuite à travers le collecteur de carburant (Fuel Manifold), pour alimenter les (30) injecteurs. Ces derniers fournissent le carburant vaporisé dans la chambre de combustion sous pression pour améliorer le mélange et le pulvérisé pour l'allumage et accomplir la combustion.

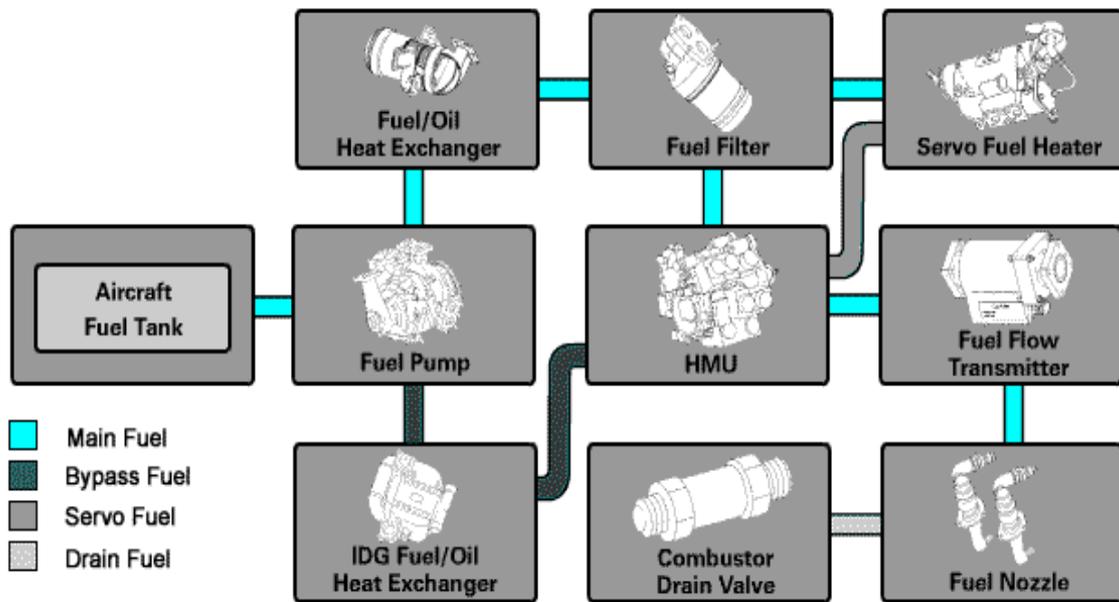


Figure (II-18) : Schéma explicatif du fonctionnement du circuit carburant.

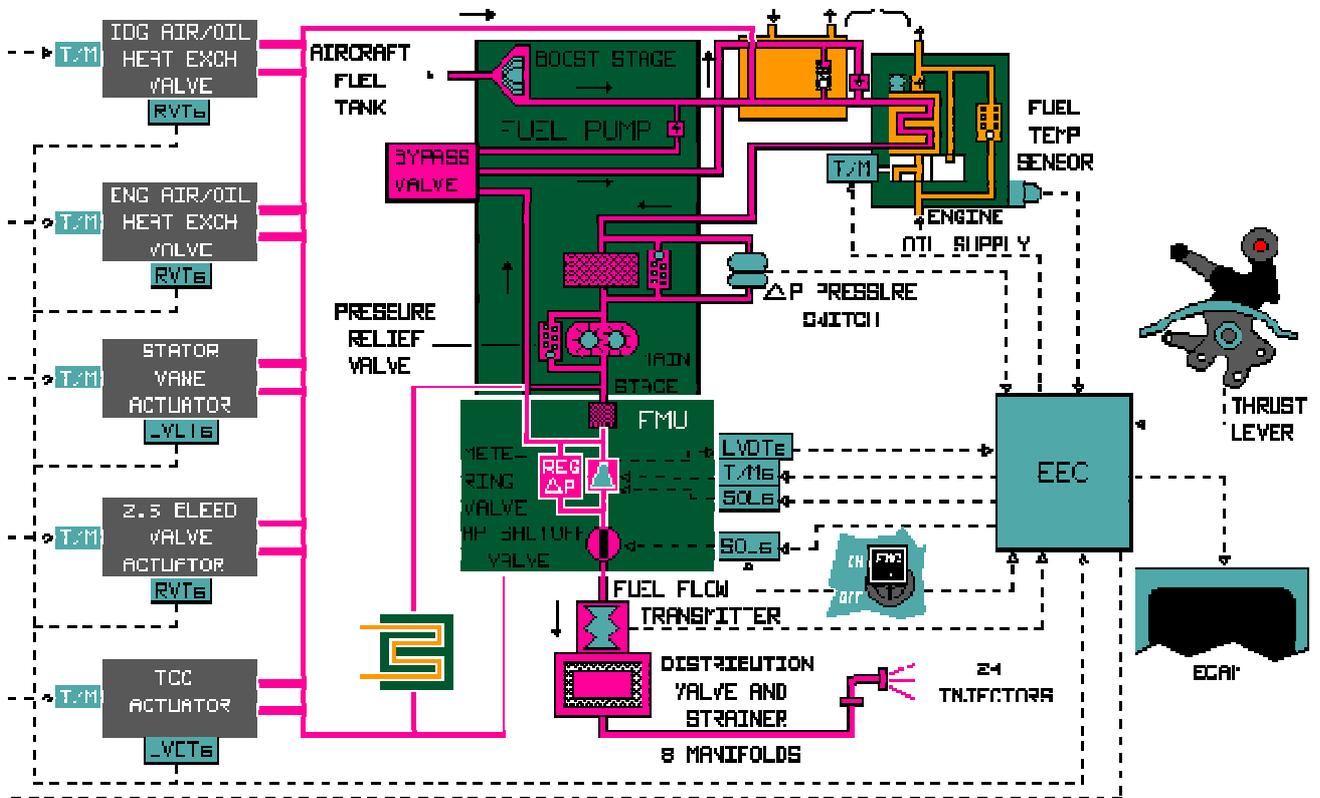


Figure (II-19) : Schéma descriptif du circuit carburant du moteur CF6-80 E1.

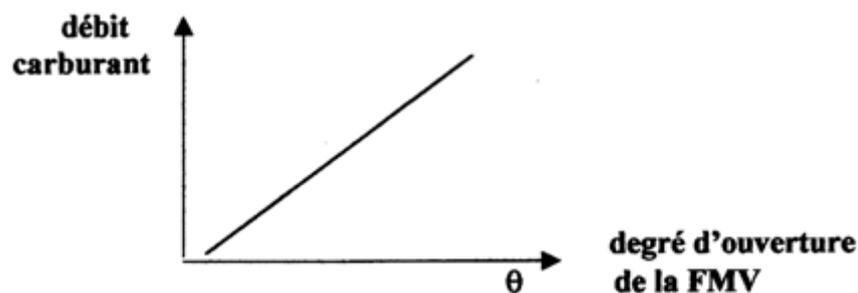
## **II-3.6. Système de dosage carburant :**

### **II-3.6.1. Le galet doseur carburant (FMV) :**

Le galet doseur est une plaque mobile qui ouvre et ferme l'orifice de la livraison du carburant dans le manchon du galet doseur, la plaque est montée et positionnée par le piston du galet doseur, qui est positionné par l'opération du EHSV et ceux en fonction des commandes du ECU.

### **II-3.6.2. Le rôle de la FMV :**

Le galet doseur carburant positionne l'orifice pour l'alimentation du carburant dosé vers la vanne mise en pression et d'arrêt. La fermeture et l'ouverture du galet doseur est établit par l'EHSV du galet doseur en fonction des commandes de l'ECU. Cette dernière utilise un signal électrique pour calculer le carburant demandé au couple moteur du galet doseur carburant pour réaliser le contrôle électrique de la boucle fermée.



**Figure (II-20) : Représentation du débit carburant en fonction de la section de la FMV.**

La pression ( $P_c$ ) est fournie à l'EHSV afin de positionner le piston du galet doseur. La pression ( $P_c$ ) est appliquée directement aux deux extrémités tête et tige du piston de la FMV. L'extrémité du piston du côté tête a une surface très effective par rapport à la surface du côté tige du piston. Des butées mécaniques limitent la course minimale et maximale du piston. Ces butées sont réglées durant le test final pour établir la course minimale du piston et le débit maximum du carburant d'alimentation. Deux résolveurs du signal de retour indiquent à l'ECU la position du galet doseur. Ce signal de retour ferme la boucle d'asservissement du système de doseur. Le débit de carburant régulé du moteur est une fonction

directe de la position du galet doseur. Pour n'importe quelle position du galet doseur, il existe un débit de carburant correspondant.

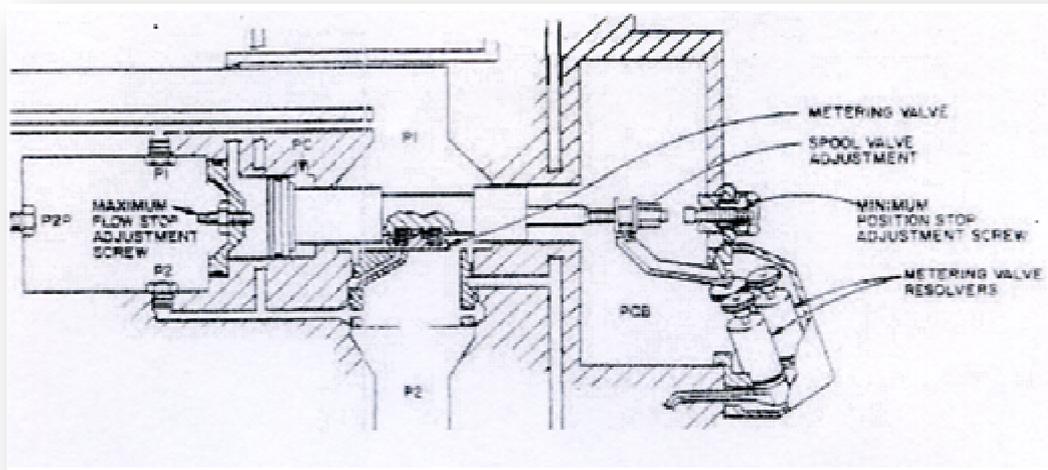


Figure (II-21) : Le galet doseur de carburant (FMV).

### II-3.6.3. Mode de fonctionnement :

L'unité de contrôle électronique (ECU) envoie un signal électrique vers l'unité hydromécanique (HMU). Ce signal est transformé en un signal hydraulique grâce à l'électro hydraulique servo valve du doseur carburant.

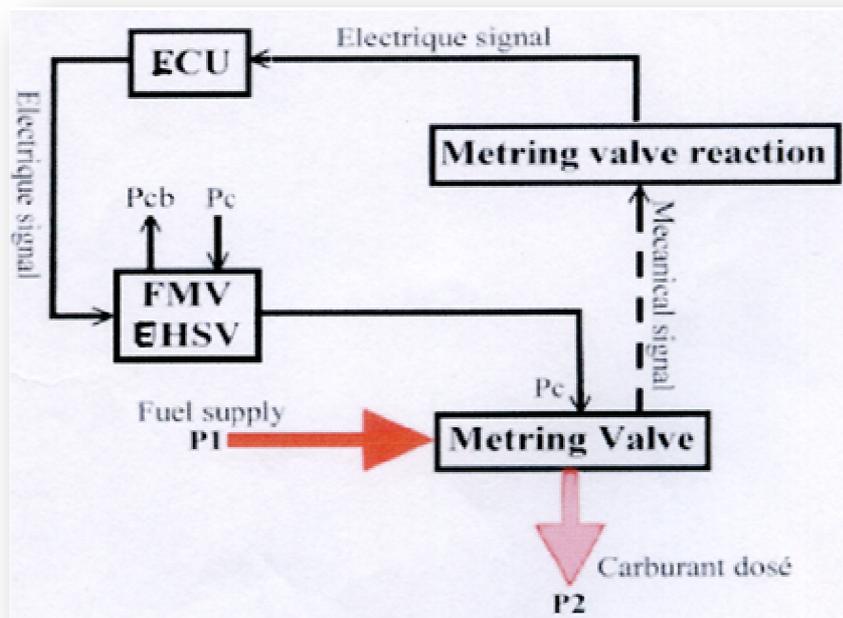


Figure (II-22) : Fonctionnement du galet doseur (FMV).

Deux résolveurs renvoient deux signaux électriques à chaque canal de l'ECU. Pour indiquer la position du galet doseur et l'envoyer ensuite au système EICAS du B.767.300.

#### A. Position ouverte de la FMV :

L'EHSV du FMV est un moteur couple fonctionnant par une servo valve. La valve contrôle la pression ( $P_c$ ) fournie aux extrémités du piston du galet doseur selon les commandes de l'ECU. Quant une augmentation du débit carburant est demandée, l'EHSV réduit le débit du ( $P_c$ ) à l'extrémité tête du piston du galet doseur, et augmente le débit de carburant à l'extrémité tige. Cette pression ( $P_c$ ) réduite à ( $P_{cb}$ ) sur l'extrémité du piston, change l'équilibre des forces qui maintient le piston à sa position neutre.

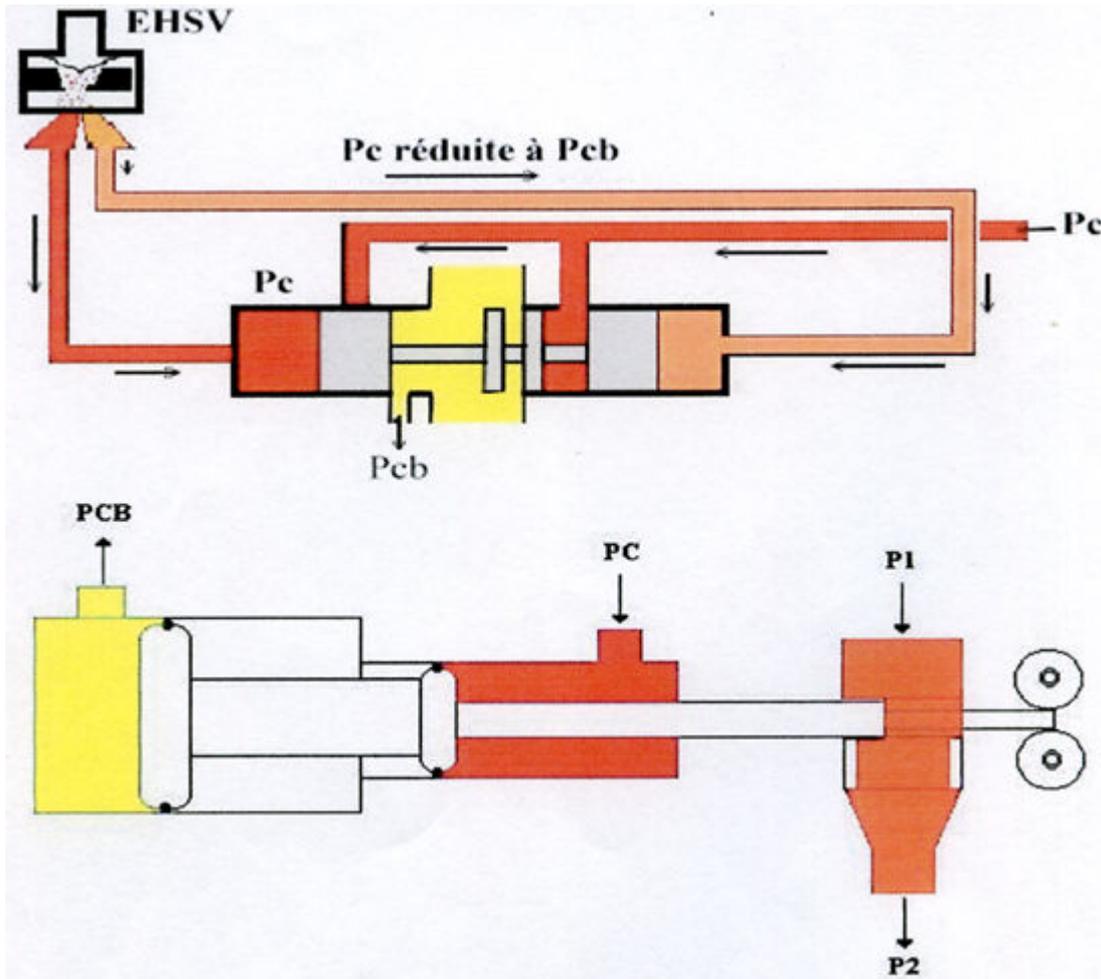


Figure (II-23) : Le fonctionnement de la FMV dans la position ouverte.

La pression ( $P_c$ ) fournie à l'extrémité tige du piston du FMV permet de déplacer le piston contre la pression ( $P_c$ ) réduite à l'extrémité du piston. Ce qui provoque le mouvement du piston du galet doseur à la position ouverte et ainsi la section de l'orifice d'alimentation carburant dosée est augmentée.

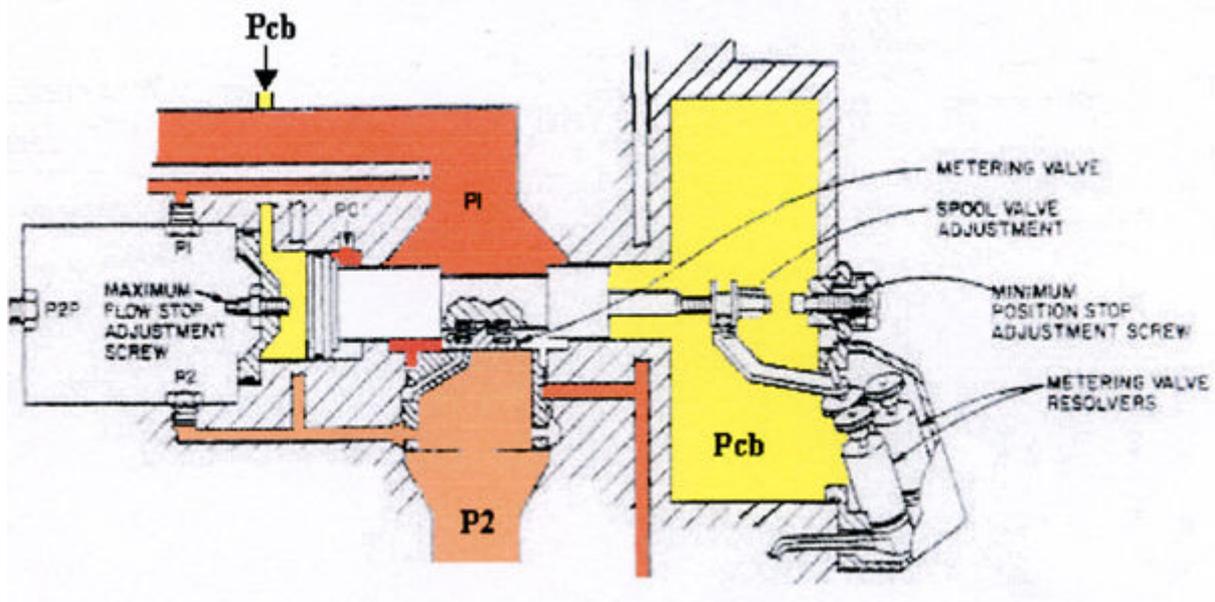


Figure (II-24) : La position ouverte de la FMV.

### B. Position neutre de la FMV :

Quand une diminution du débit carburant est demandée, l'EHSV augmente le débit du (Pc) à l'extrémité tête du piston du galet doseur, et réduit (Pc) à l'extrémité tige. La pression (Pc) ajoutée à (Pcb) sur l'extrémité tête du piston, change l'équilibre des forces et déplace le piston contre la pression (Pc) sur l'extrémité tige du piston qui maintient le piston à sa position neutre. Quand il y a une augmentation ou une diminution du débit carburant, le piston du galet doseur déplace toujours jusqu'à ce que les forces aux extrémités du piston du galet doseur équilibrent l'un à l'autre. A cette condition d'équilibre, le piston du galet doseur carburant (FMV) est à la position neutre. Quand le piston est à la position neutre, il existe toujours une valve tiroir et un petit débit de carburant dans l'EHSV. Ce débit est exigé pour maintenir une pression constante à l'extrémité du piston du galet doseur.

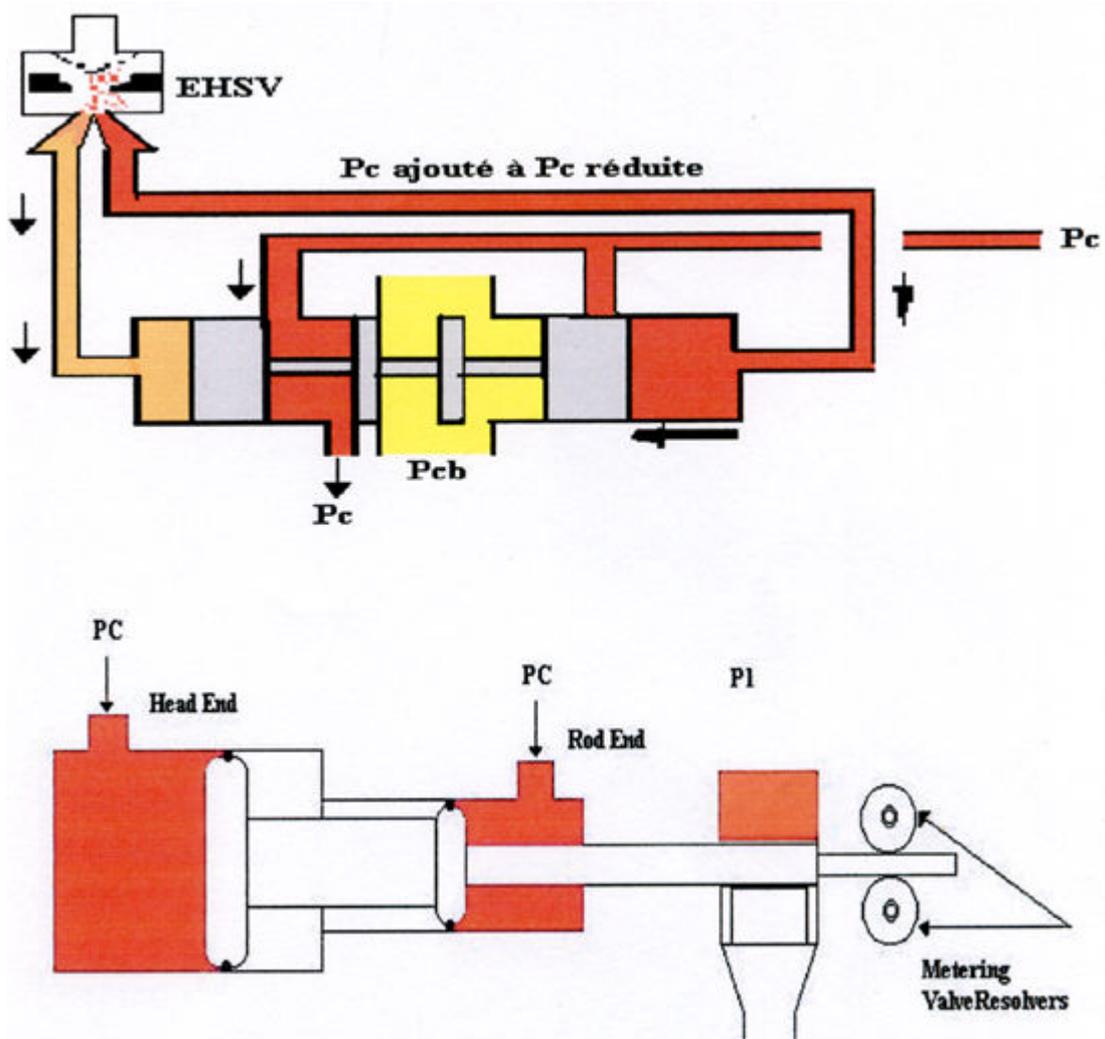


Figure (II-25) : Le fonctionnement de la FMV dans la position neutre.

Quand le piston est à la position neutre, il existe toujours une valve tiroir et un petit débit de carburant dans l'électro hydraulique servo vanne (EHSV). Ce débit est exigé pour maintenir une pression constante à l'extrémité du piston du galet doseur. A cette position, le piston et le galet doseur ne fonctionnent pas. L'alimentation par l'orifice du carburant demandé est établie. Quand il n'y a pas une pression constante aux deux extrémités du piston, ce dernier est exposé à la pression ( $P_{cb}$ ). Alors n'importe quelle action de cette pression ( $P_{cb}$ ) pendant le fonctionnement du piston est négligeable parce que la pression ( $P_c$ ) maintient la pression différentielle ( $P_c - P_{cb}$ ) demandée.

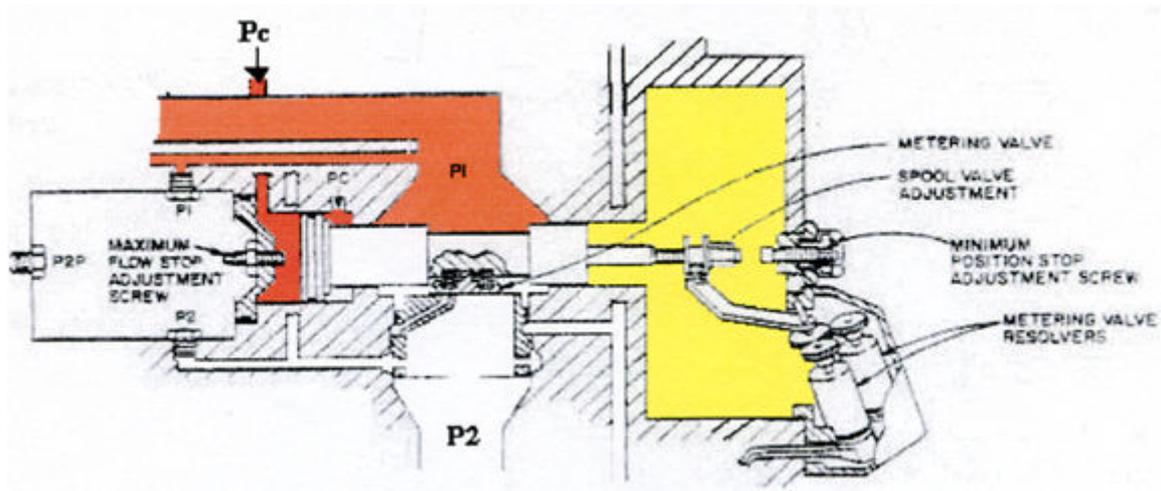


Figure (II-26) : La position neutre de la FMV.

La position du galet doseur et son fonctionnement restent une fonction directe de la pression différentielle à travers le piston.

### **II-3.7. La vanne de pressurisation et d'arrêt :**

Le fonctionnement de la vanne de pressurisation et d'arrêt dépend du fonctionnement du galet doseur carburant (FMV). C'est-à-dire, dans la position ouverte de la FMV la vanne de pressurisation et d'arrêt ouvre aussi, et son carburant reçu de la FMV est envoyé vers les injecteurs.

#### **II-3.7.1. Mode de fonctionnement :**

Une force de ressort qui charge la valve dans la direction fermée. Les pressions  $P_{sf}$  et  $P_1$  ou  $P_{cb}$  sont également fournis au côté de ressort de la valve. La pression  $P_{sf}$  est fournie à la chambre entre le piston supérieur et la valve inférieure. Cette pression agit en tant que ressort alors que la pression est additive à la force de ressort de valve de pressurisation.  $P_1/P_{sf}$  ou  $P_{cb}$  est fournie à la même chambre qui loge le ressort de valve de pressurisation. L'alimentation de cette chambre de ressort, à  $P_1/P_{sf}$  ou  $P_{cb}$ , est assurée à partir du circuit d'arrêt de l'unité hydromécanique (HMU). La pression  $P_{sf}$  est dans le côté opposé du piston supérieur, le jeu étroit entre le piston supérieur et le manchon supérieur empêche la fuite entre ses chambres. La pression  $P_2$  est fournie directement à l'extrémité de la valve de pressurisation qui

est dans le doseur de carburant (FMV). Le circuit d'arrêt du HMU est alimenté par P1 durant le démarrage initial du moteur et durant l'arrêt du moteur. La vanne de pressurisation et d'arrêt fonctionne pendant le démarrage et l'accélération du moteur.

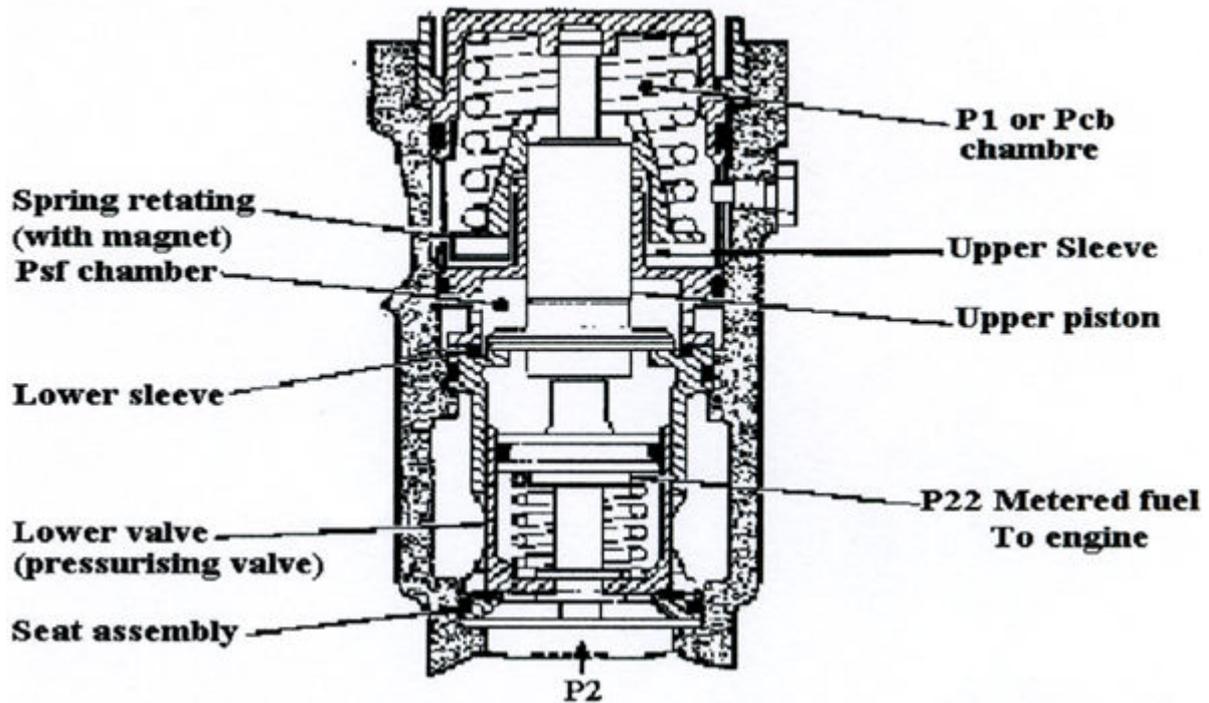


Figure (II-27) : La vanne de pressurisation et d'arrêt.

➤ **Démarrage initial moteur :**

Pendant le démarrage initial du moteur, la pression P1 est fournie à la chambre du ressort de la valve de pressurisation à travers l'orifice du galet doseur. Et comme la pression du carburant ( $P1+Psf$ ) est supérieure à la pression P2 du carburant dosé, dans ce cas la valve de pressurisation et d'arrêt est à la position fermée.

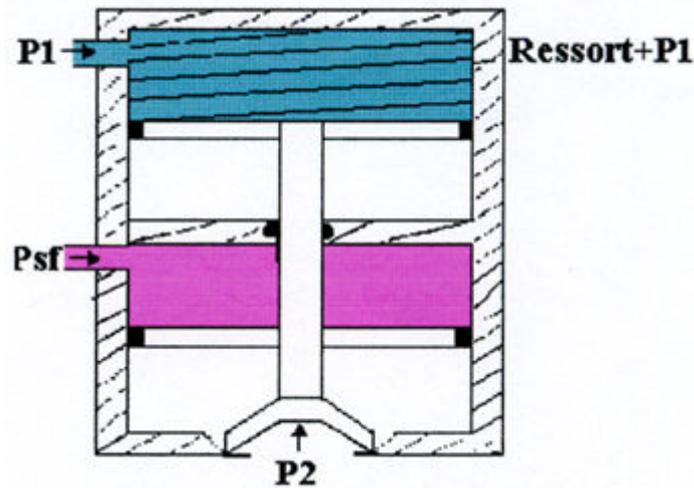


Figure (II-28) : La vanne de pressurisation et d'arrêt pendant le démarrage initial moteur.

➤ Démarrage continu moteur :

Lors du démarrage continu moteur, la pression  $P_{cb}$  est fournie dans ce cas à la chambre de ressort de la vanne de pressurisation à travers l'orifice du galet doseur. L'équilibre des forces de pression donne que  $(P_{cb} + P_{sf})$  est inférieure à la pression  $P_2$  du carburant dosé c'est pourquoi cette pression va permettre l'ouverture de la vanne de pressurisation.

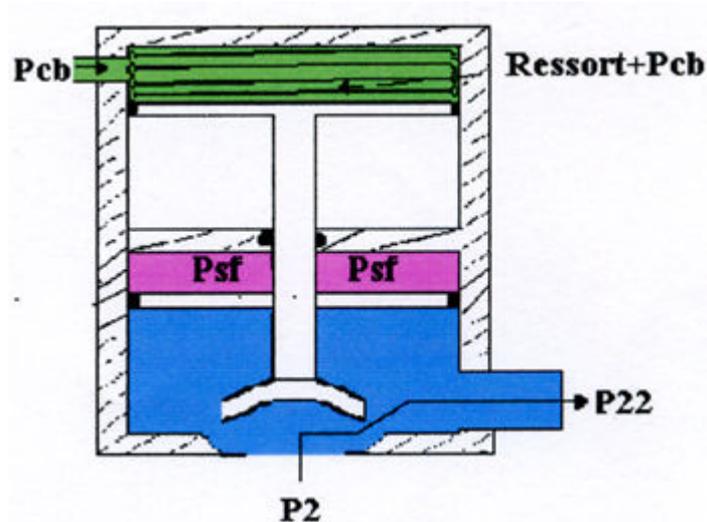


Figure (II-29) : La vanne de pressurisation et d'arrêt pendant le démarrage continu moteur.

La quantité initiale du carburant à l'ouverture de la vanne est exactement suffisante pour délivrer le débit de carburant au moteur. Après le démarrage, le volume de l'écoulement augmente et la pression  $P_2$

déplace la valve de pressurisation complètement hors du jet d'écoulement. L'ouverture de la valve de pressurisation et d'arrêt est indiquée au coq-pite d'avion par un commutateur de proximité.

➤ **Arrêt moteur :**

Durant l'arrêt du moteur, la pression ( $P1+Psf$ ) est fournie dans ce cas à la chambre de ressort de la valve de pressurisation à travers l'orifice du galet doseur. L'équilibre des forces de pression donne que ( $P1+Psf$ ) est supérieure à la pression  $P2$  du carburant dosé. C'est pourquoi cette pression va permettre la fermeture de la valve de pressurisation. La valve de pressurisation se déplace au début afin de fermer le chemin  $P2$  vers  $P22$  par des ports du manchon. L'ajustement diamétral de la valve dans le manchon ferme le passage  $P2$  à  $P22$ .

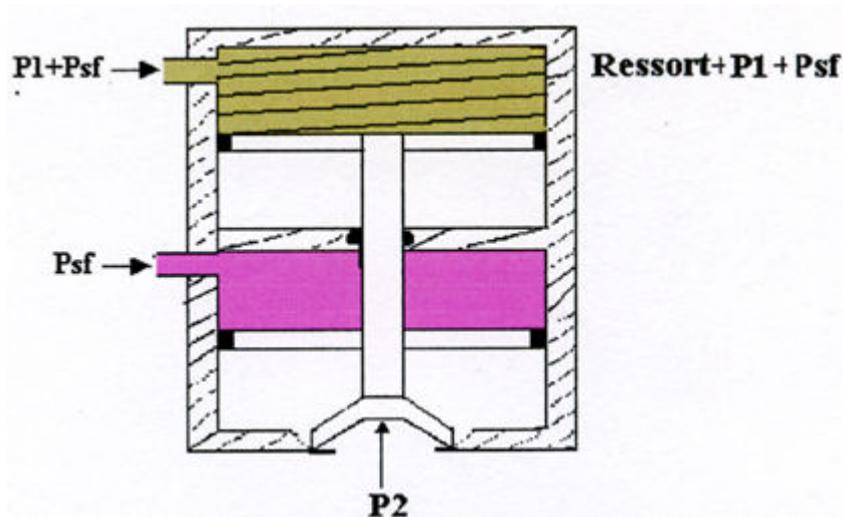


Figure (II-30) : La vanne de pressurisation et d'arrêt pendant l'arrêt moteur.

### **II-3.8. Le clapet de décharge et la tête du sonde:**

Le clapet de décharge et la tête du sonde ( $P1-P2$ ), fonctionnent ensemble pour maintenir la pression différentielle du galet doseur FMV constante. Les deux unités fonctionnent sur le flux de carburant entre l'entrée de carburant et la sortie du galet doseur. Le clapet de décharge renvoie le carburant qui est en plus des besoins du moteur vers la pompe inter-étage carburant, la pression de retour créée par la pompe inter-étage carburant est  $Pcb$ .

### II-3.8.1. Description du clapet de décharge :

Le clapet de décharge est divisé en deux valves proportionnelle et intégrale. La valve proportionnelle fonctionne dans l'alésage de la valve intégrale. Les deux valves sont des ressorts chargés dans la direction fermée. L'action de la valve proportionnelle est rapide, afin de corriger les transitions ou de la montée subite de la pression différentielle ( $P_1-P_2$ ). La position de la valve est une réponse à la pression différentielle entre  $P_1$  sur un coté de la valve et  $P_2$  plus la force de ressort du coté opposé. L'opération de la valve change, et améliore la quantité de carburant à la pression par la valve intégrateur. L'opération du clapet de décharge d'intégrateur est plus lente. Cette valve établie l'orifice principal pour dériver le carburant à la pression  $P_1$  pour maintenir en plus la pression différentielle de la tête du galet doseur. Le carburant dérivant le chemin de  $P_1$ , à travers des orifices dans le coté de la tête valve, vers la pression  $P_b$ .

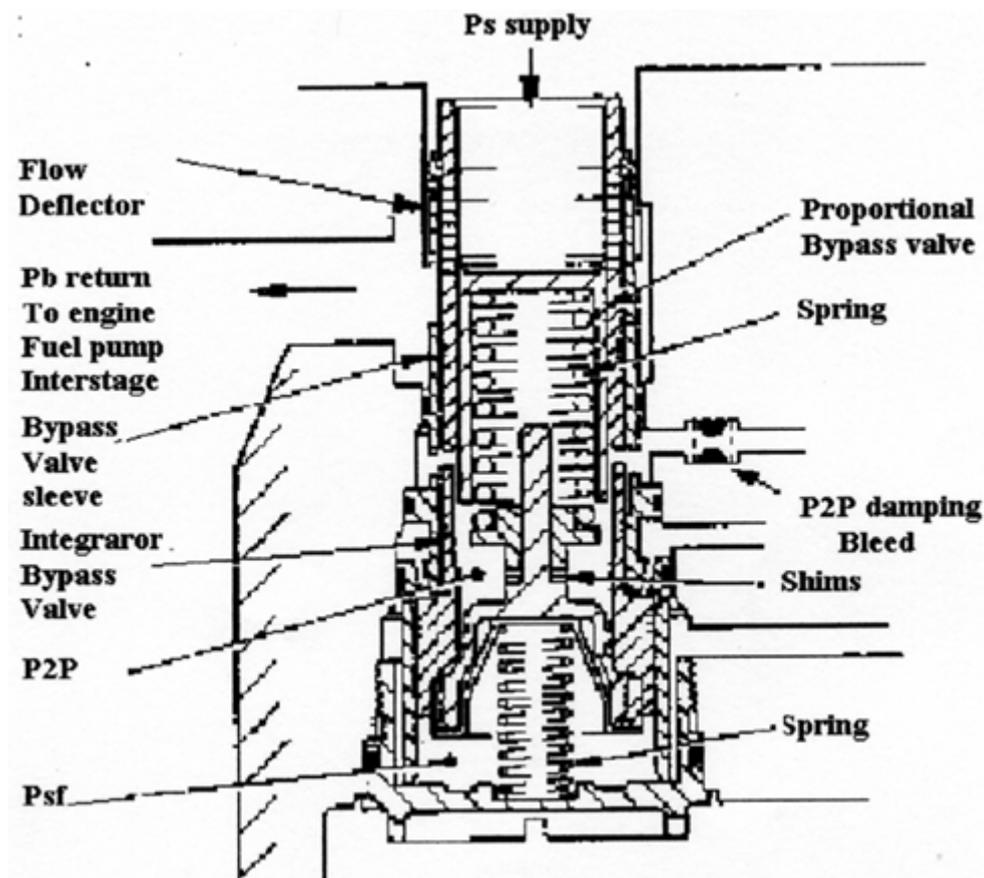


Figure (II-31) : La valve de by-pass.

### **II-3.8.2. La tête de sonde (Head sensor) :**

La tête du sonde dirige le clapet de décharge de la vanne intégrale afin d'établir l'orifice principal et de délivrer le carburant qui est en plus vers Pb. La surface de l'orifice est déterminée par la pression différentielle de la tête calibrée et la force du ressort sur le servo tête du sonde. La force appliquée par le ressort au côté servo tête de sonde est réglée durant le teste de contrôle et d'ajustement. Des disques bimétal qui ont une température sensitive sont installés entre la vis de réglage à ressort. Ces disques règlent la force du ressort pour compenser le changement dans la température de carburant.

La pression P2 est fournit à l'extérieur des soufflets de tête de sonde à travers un restructeur de commande. La vraie valeur de la pression P2 qui se trouve à l'extérieur des soufflets est désignée par P2P. Les deux pressions P2P et P2 sont des pressions égales sauf durant la survitesse. Durant la survitesse du moteur (Lorsqu'on atteint 113% de N2), les valves qui contrôlent P2P dans ce système sont ouvertes. P2P est évacuée vers Pb à travers ces valves. Quand P2 est délivrée vers les soufflets de la tête de sonde, le restructeur de commande permet au P2P d'abaisser au niveau du Pb.

La longueur effective des soufflets de la tête de sonde est déterminée par la pression différentielle (P1-P2). N'importe quel changement dans la longueur des soufflets sont transmis par des montants sur les soufflets vers la valve d'asservissement. La servo valve est dirigée par une liaison de l'orifice de la tête de sonde. Durant le fonctionnement du système, la pression Psf est délivrée par le restructeur de carburant vers les systèmes de fonctionnement du clapet de décharge et de la tête de sonde.

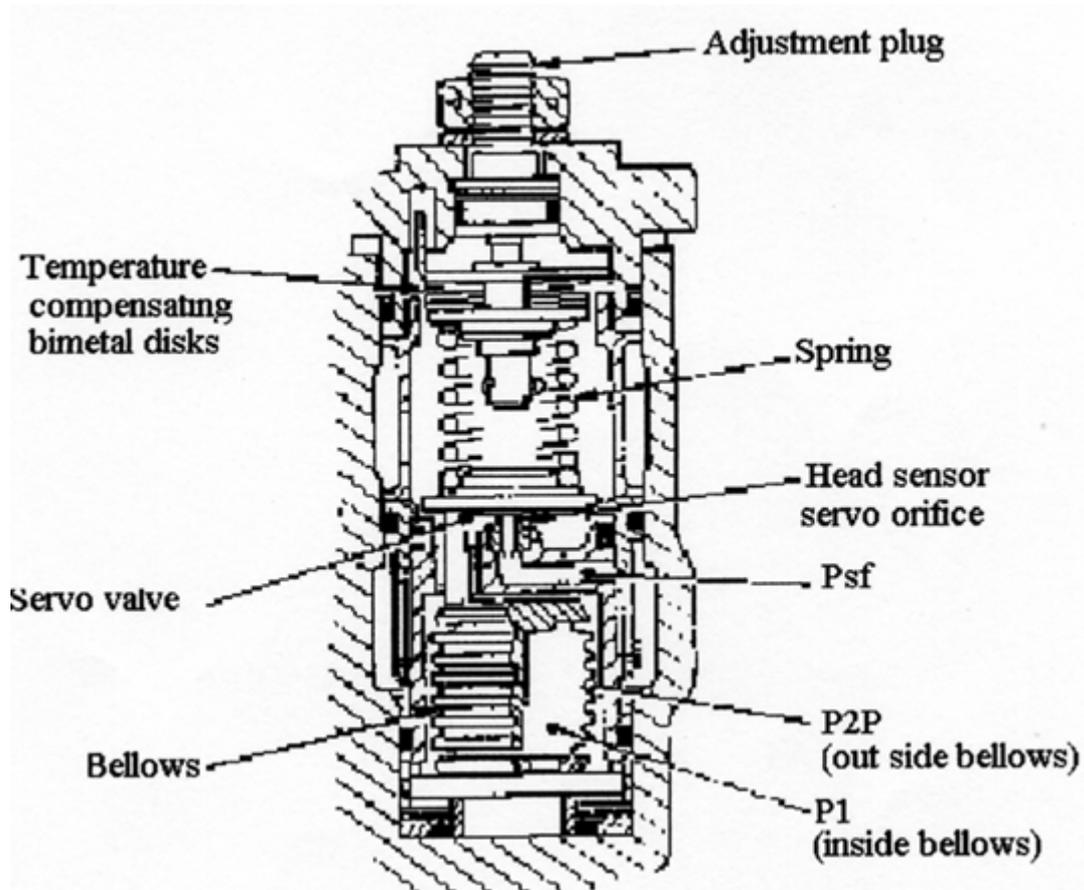


Figure (II-32) : Le Head sensor.

La valve d'asservissement est à la position neutre quand la pression différentielle ( $P1-P2$ ) équilibre la force du ressort sur la valve d'asservissement. Si  $P2P$  augmente, le mouvement des soufflets est loin par rapport à la valve d'asservissement. La servo valve est déplacée vers l'orifice d'asservissement par la tension du ressort. L'orifice d'asservissement est fermé afin d'augmenter la pression de fonctionnement du système d'asservissement. Si la pression  $P1$  augmente, le mouvement des soufflets est vers la valve d'asservissement. Cette valve est déplacée loin à l'orifice d'asservissement par les soufflets. L'orifice est ouvert pour diminuer la pression de fonctionnement du système d'asservissement.

### **II-3.9. Système de régulation de survitesse :**

Le gouverneur de survitesse assure la protection du moteur contre une défaillance catastrophique qui se produit dans les circuits de commande de l'ECU ou dans le circuit de régulation carburant. Au même temps, le gouverneur de survitesse limite la vitesse du moteur à 113% de  $N2$ .

### **II-3.9.1. Mode de fonctionnement :**

#### **➔ Condition normal ( $N_2 < \text{over speed}$ ) :**

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 Head sensor. Ce dernier est envoyé directement à l'entrée de la valve by-pass pour maintenir le fonctionnement normal de la FMV et aussi pour avoir une alimentation relative au régime.

#### **➔ Condition de survitesse ( $N_2 \geq \text{over speed}$ ) :**

Le système de gouvernement de survitesse comprend :

- Un dispositif mécanique constitué de :
  - Le système speed servo.
  - La valve proportionnelle et la valve d'intégrateur.
  - Le piston d'intégrateur.
  - Le servo valve d'intégrateur à clapet.
  - La came du gouverneur de survitesse.
- Une pression hydraulique développée à partir de la pression régulée  $P_c$  pour la commande des systèmes de contrôle du HMU.

#### **A. Le fonctionnement du système speed servo :**

Les masses lots reçoivent une vitesse d'entraînement  $N_2$  et la transforment en force, cette force est appliquée à une extrémité du table lever plus une autre force du ressort de référence appliquée par le feedback roller sur l'autre extrémité du table lever. Ces deux forces ont pour rôle de diriger le speed servo valve qui fonctionne à l'extrémité du masse lots et du table lever. N'importe quel changement dans la force des masses lots déplace le speed servo valve, qui provoque le déplacement du speed piston par des servo pressions.

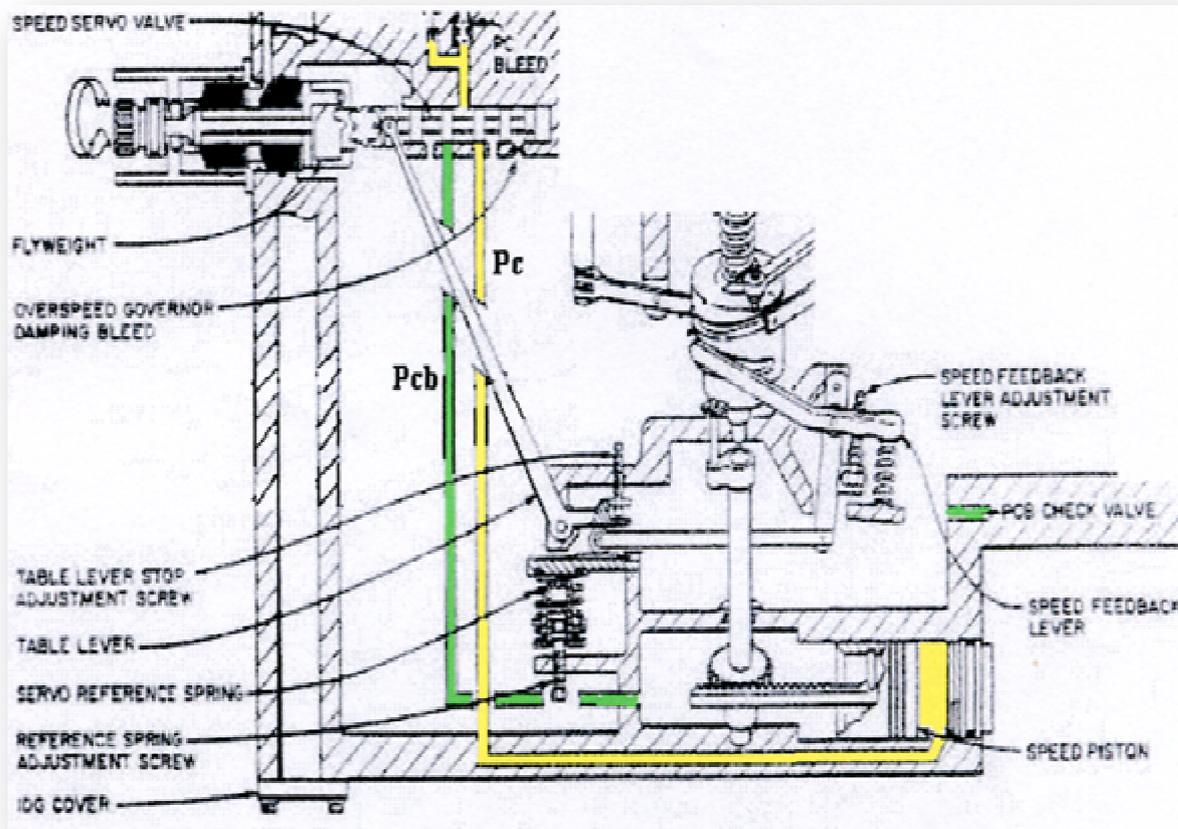


Figure (II-33) : Le fonctionnement du système speed servo.

Une pression  $P_c$  est délivrée à une extrémité du speed piston et sur l'extrémité opposée il y a une quantité de carburant de la pression  $P_{cb}$ . Dans ce cas là, le piston de vitesse est déplacé vers l'extrémité. Le mouvement du piston est transmis vers l'arbre d'entraînement de la came du régulateur de survitesse (OSG) pour tourner sa came.

### **B. Fonctionnement de la valve proportionnelle :**

La valve proportionnelle est commandée par la came gouverneur de survitesse, dont la forme extérieure de son contour développe en tournant un mouvement de position sur l'extrémité d'un levier pivotant autour d'un axe fixe. Ce dernier renvoie le mouvement de la came vers l'autre extrémité du levier attaché à la proportionnelle valve qui commence à s'ouvrir entre 110 à 112% de la vitesse de rotation du moteur alors qu'à 115% elle est complètement ouverte pour contrôler la survitesse moteur.

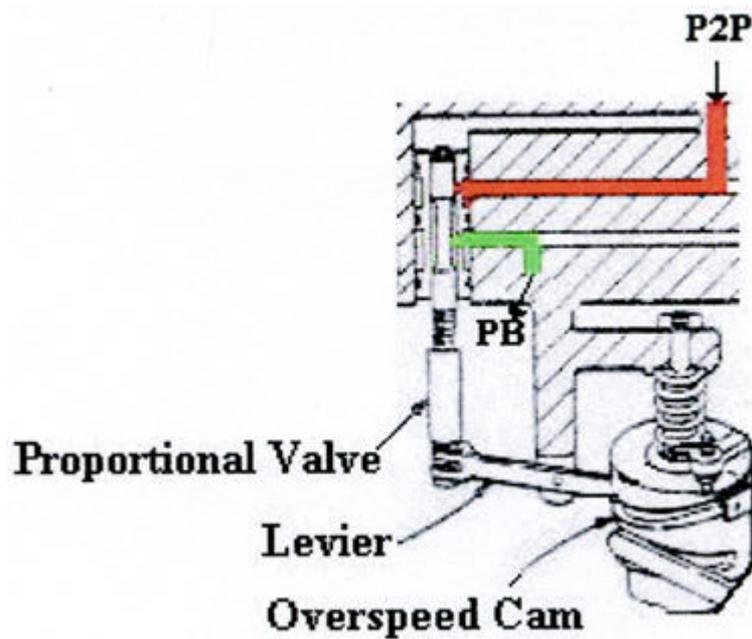


Figure (II-34) : Fonctionnement de la valve proportionnelle.

### C. Fonctionnement de la valve d'intégrateur :

La valve d'intégrateur est positionnée par combinaison de mouvement de la came et le piston d'intégrateur, en effet la came et le piston commande deux leviers qui se rencontrent sur l'extrémité de l'intégrateur valve tandis que les deux autres extrémités sont liées à la came et au piston. La valve est maintenue fermée au-dessous de 75% de la vitesse de rotation du moteur, elle commence à s'ouvrir entre 75 et 110% et elle est complètement ouverte au-dessus de 113% pour contrôler la survitesse du moteur. L'ouverture maximale de la valve résulte du déplacement total du piston causé par l'ouverture de la servo valve sous la commande de la came.

### D. Fonctionnement du piston et du servo valve d'intégrateur :

Le déplacement de l'intégrateur piston est causé par la différence de pression  $P_{cr}$  et  $P_c$  respectivement en dessous et en dessus du piston, cette différence de pression est causée par l'ouverture de l'intégrateur servo valve commandée mécaniquement par la came qui l'ouvre pendant le démarrage moteur et jusqu'à une accélération de 50% de la vitesse de rotation. Cette ouverture provoque la chute de la pression  $P_c$  qui se décharge dans la  $P_{cb}$ , ainsi et sous l'effet de la pression  $P_{cr}$ , le piston se déplace complètement vers le haut et ferme.

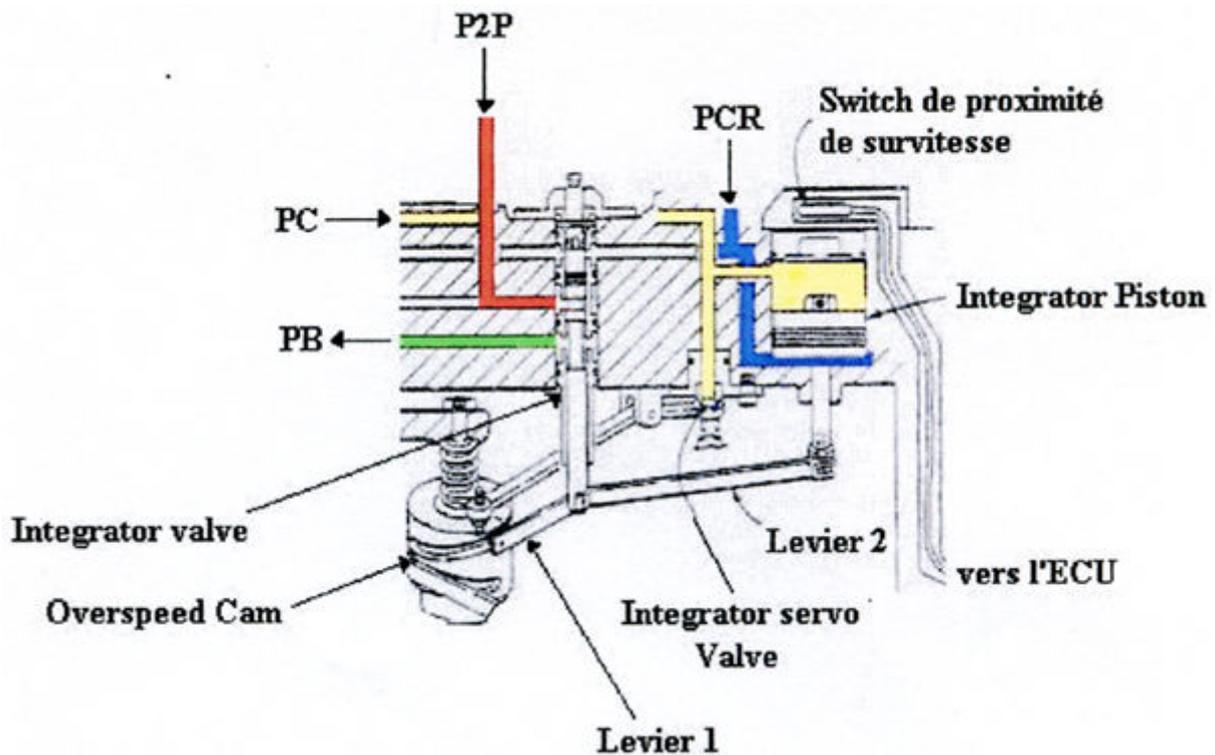


Figure (II-35) : Fonctionnement du piston et du servo valve d'intégrateur.

Le Switch de proximité de survitesse situé en fin de course du piston, cette opération de simulation de survitesse est nécessaire car elle indique à l'ECU que le système over speed governor est opérationnel, à 50% de la vitesse du moteur, la came ferme toujours l'intégrateur valve qui commande la survitesse réelle du moteur qui se situe au-delà de 113%. Quand la vitesse du moteur dépasse les 50%, la servo valve se ferme et cause donc le rétablissement de la pression  $P_c$  au-dessus de l'intégrateur piston qui se déplace vers le bas et au-delà de 113%, la came se positionne et commande l'ouverture complète de la servo valve qui pousse le piston à se déplacer vers le haut, ainsi que le pivot de l'intégrateur valve, c'est alors et sous l'effet de la combinaison du mouvement de la came et du piston que l'intégrateur valve s'ouvre pour contrôler la survitesse moteur.

#### **E. Fonctionnement du système en condition d'over speed réelle :**

A 113% de la rotation du moteur, la came ouvre la valve proportionnelle et par la combinaison du mouvement de l'intégrateur piston, la came ouvre aussi l'intégrateur valve. L'ouverture de la valve proportionnelle ainsi que l'intégrateur piston causent la décharge de la pression  $P_{2P}$  vers la pression  $P_b$ .

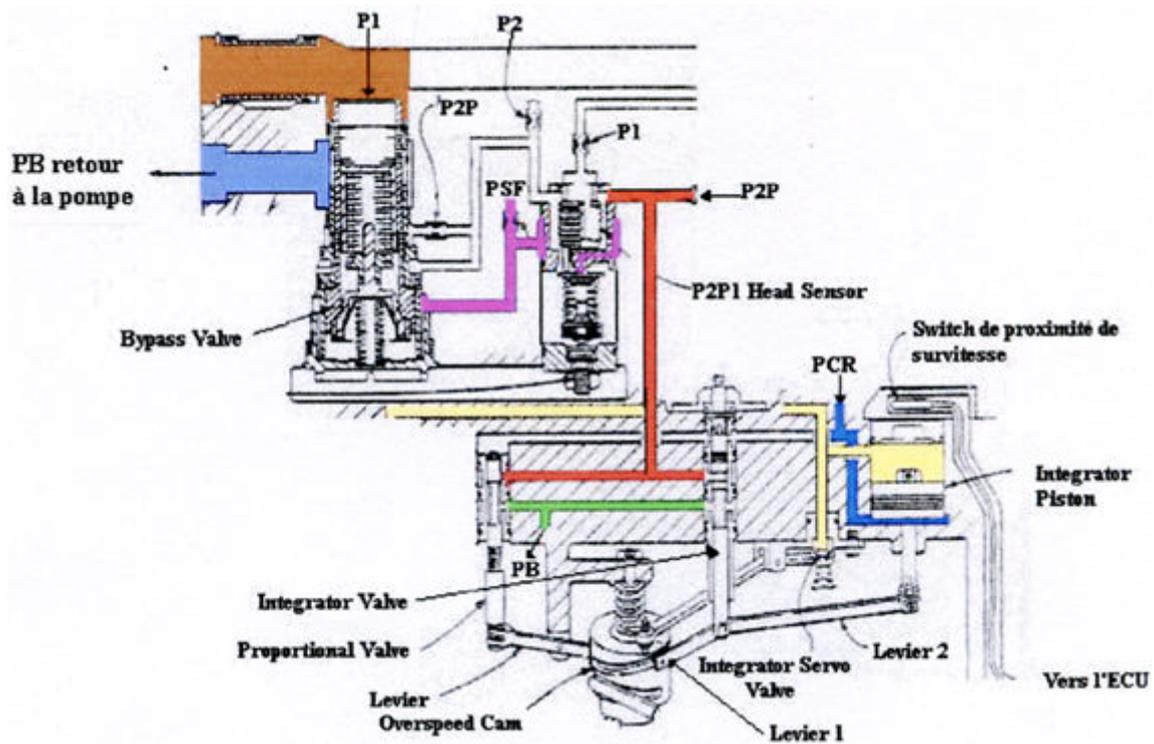


Figure (II-36) : Fonctionnement du système en condition d'over speed réelle.

Cette chute de pression (P2P) est aussitôt senti au niveau du P2-P1 Head sensor, qui à son tour ouvre un passage pour décharger la pression Psf qui est appliquée comme une pression de fermeture pour la by-pass valve. L'affaiblissement de la pression Psf au niveau de la by-pass valve permet à la pression P1 d'ouvrir davantage le passage pour retourner plus de carburant vers la pompe carburant, ceci à pour effet de diminuer considérablement la quantité du carburant allant vers les injecteurs et ainsi donc la rotation du moteur se stabilise autour de 113%.

### II-3.10. Les injecteurs de carburant :

Les injecteurs de carburant distribuent et pulvérisent le carburant pour fournir les caractéristiques d'allumage acceptable dans la chambre de combustion pendant tout le régime de fonctionnement du moteur. Les injecteurs doivent contribuer aux émissions acceptables des niveaux de la combustion, bon démarrage et capacité d'allumage élevée et le maintien de la flamme à la décélération pour éviter son extinction. Tous les types d'injecteurs ont deux écoulements de carburant différents et séparés en primaire

et secondaire. Le débit primaire du circuit a un débit à bas volume avec pulvérisation de décharge séparée.

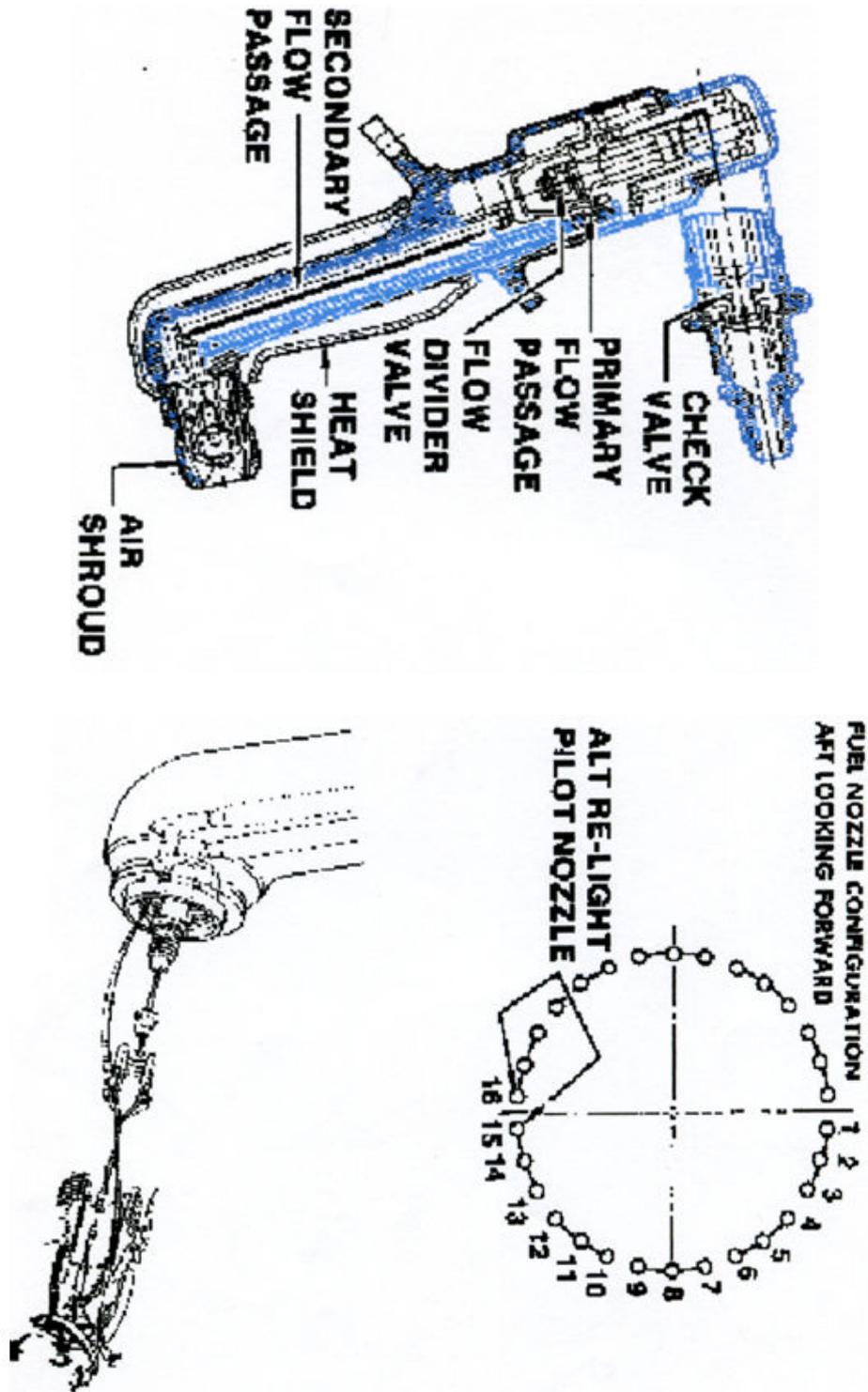


Figure (II-37) : Les injecteurs de carburant du moteur.

## **II-4. Le circuit d'air :**

### **II-4.1. Généralité :**

Le système d'air a pour rôle de contrôler le fonctionnement du moteur. Le système d'air en vérité empêche la production d'un dysfonctionnement en pompage et surpression. Il comprend des systèmes hydromécaniques indépendants qui ont pour rôle de réduire les difficultés d'adaptation turbine/compresseur et contribuent à éviter les problèmes de pompage et des vannes sur le compresseur basse pression (LPC) et des stators à calage variable sur le compresseur haute pression (HPC) qui améliorent encore ces caractéristiques.

Deux dispositifs de contrôle des jeux diminuent les pertes marginales entre rotors et carters turbines, il amène une diminution sensible de la consommation spécifique, notamment en croisière et augmentent la longévité du moteur. En plus de ces systèmes on trouve d'autres dispositifs tels que :

- ➔ Le refroidisseur d'alésage (Bore Cooling).
- ➔ Variable bleed valve.
- ➔ Refroidisseur du compartiment du Core.
- ➔ Delta pression Switch du 7<sup>ème</sup> étage.
- ➔ Refroidisseur air/huile du (IDG).

### **II-4.2. Système de commande des stators à calage variable (VSV) :**

Le système stator à calage variable (VSV) est un dispositif qui contrôle l'écoulement d'air du compresseur haute pression (HPC), il l'entoure jusqu'au 5<sup>ème</sup> étage « Les 5 premiers étages ». Il assure un contrôle exact de l'écoulement d'air à travers le compresseur haute pression (HPC) en ajustant l'écoulement autour des profils d'aubes à différents régimes de fonctionnement du moteur dans le but d'éviter le pompage ou d'avoir une marge pour ne pas rester en pompage.

### **II-4.2.1. Description du vérin de commande des (VSV) :**

Le vérin de commande des (VSV) est du type (Vérin à piston) munie de deux connections hydrauliques, coté tête et coté tige.

Le système « VSV » est constitué de :

- ➔ (02) actuateurs hydrauliques en position 3H00 et 9H00.
- ➔ (02) transmetteurs de position (LVDT) pour l'envoi du signal de position vers l'ECU ou l'EEC.
- ➔ (02) bras de levier principaux.
- ➔ (12) liens.
- ➔ (06) anneaux d'unison.
- ➔ (06) étages de stators vannes.

### **II-4.2.2. Mode de fonctionnement :**

Pour pouvoir arriver à déterminer la position du « VSV » l'ECU utilise les paramètres suivants :

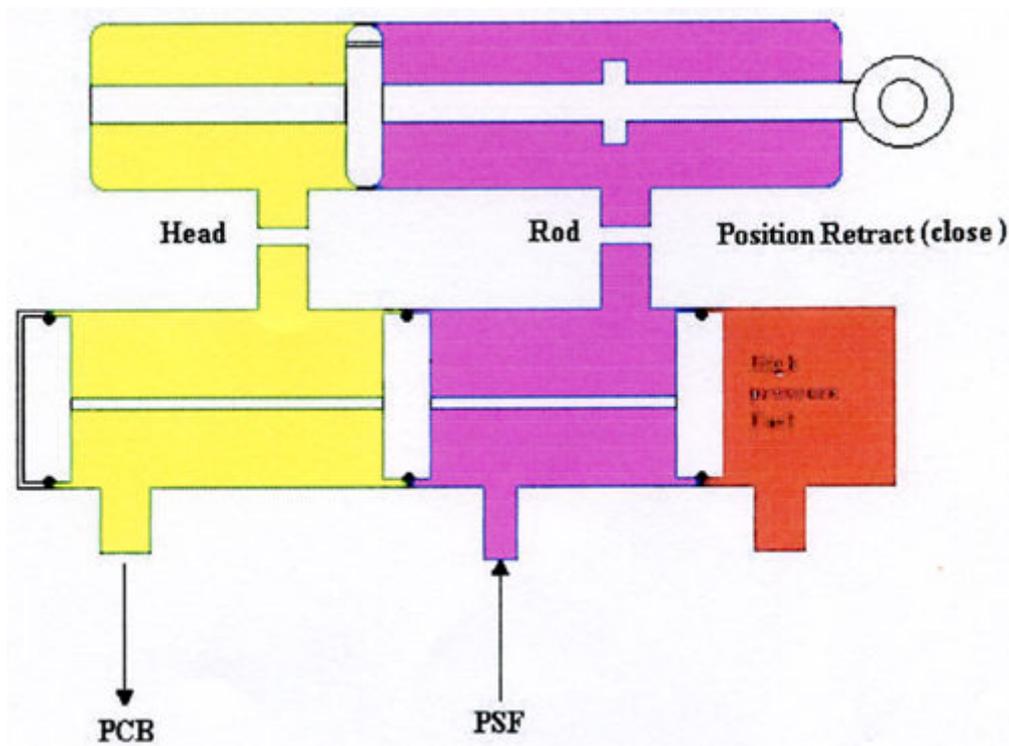
- ➔ La vitesse de l'attelage haute pression « N2 ».
- ➔ La vitesse de l'attelage basse pression « N1 ».
- ➔ La température dans la station 2.5 « T2.5 ».
- ➔ L'altitude.

L'ECU calcule la position de la « VSV » puis envoie un signal électrique vers l'HMU torque moteur qui transforme ce signal électrique en un signal hydraulique. L'EHSV envoie les pressions suivant ce signal vers les actuateurs pour déplacer les vannes à la nouvelle position.

En fin un transmetteur différentiel de la position linéaire « LVDT » dans chaque actuateur permet de transmettre la nouvelle position vers les deux (02) canaux (A) et (B) de l'ECU.

### A. La position fermée du VSV :

Dans le cas où la valve est fermée, l'ECU envoie un signal électrique qui représente une commande de fermeture de la valve de VSV. L'électro hydraulique servo valve (EHSV) convertit ce signal à une commande hydraulique. L'orifice de la pression  $P_{sf}$  du côté droit du réflecteur de pression du système de VSV est ouvert, ce qui provoque le déplacement du piston contre la pression  $P_{sf}$  permettant l'ouverture des deux orifices de pression  $P_{sf}$  et  $P_{cb}$ .



**Figure (II-38) : La position fermée de la VSV.**

Tel que la pression  $P_{sf}$  présente dans la face tige du vérin et la pression  $P_{cb}$  présente dans la face tête du vérin. La différence de pression du côté droit du sélecteur de pression ce qui résulte le décharge dans la pression  $P_{sf}$  du côté tige du vérin, alors que du côté de la tête on a une pression  $P_{sf}$  et  $P_{cb}$  provoque le déplacement du vérin contre la pression  $P_{cb}$ . Et comme la pression  $P_{sf}$  est supérieure à la pression  $P_{cb}$ , alors le vérin du système de VSV se déplace vers la droite provoquant la fermeture des stators à calage variable. La position du piston est contrôlé par la (LVDT) qui convertit la position linéaire en un signal électrique et envoie un signal de retour à l'ECU désignant la position du vérin.

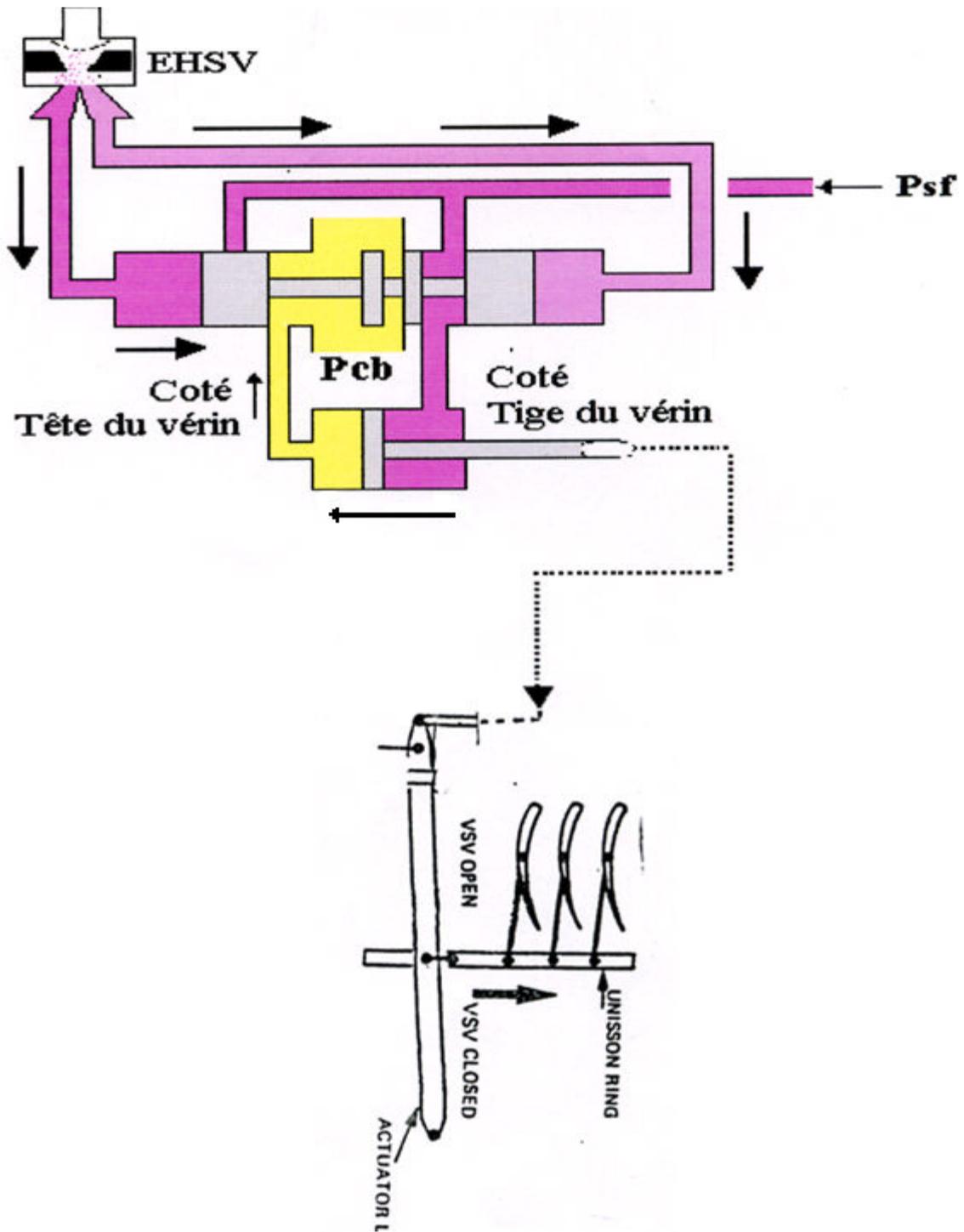
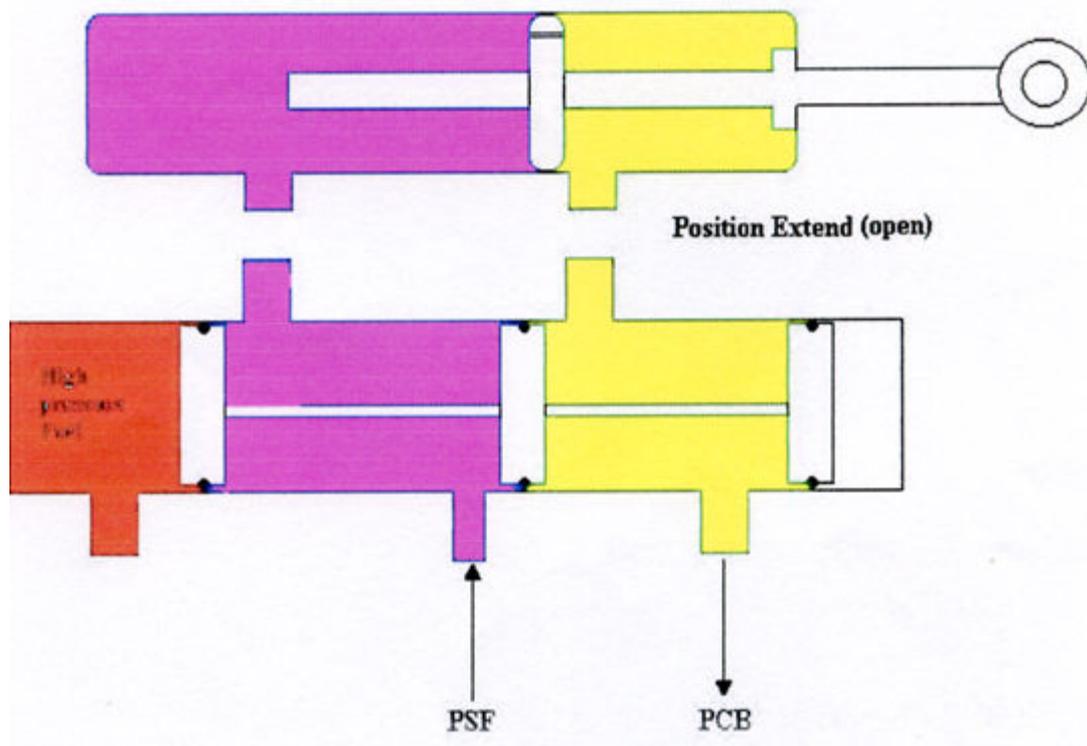


Figure (II-39) : Fonctionnement de la VSV en position fermée.

**B. La position ouverte de la VSV :**

De la même manière de fonctionnement à la position fermée mais avec le changement des entrées de pression tels qu'on aura la fermeture de l'orifice de pression  $P_{sf}$  du côté droite et l'ouverture de l'orifice de pression  $P_{sf}$  du côté gauche. Tel que la pression  $P_{sf}$  présente dans la face tête du vérin et la pression  $P_{cb}$  présent dans la face tige du vérin.



**Figure (II-40) : La position ouverte de la VSV.**

La différence de pression entre  $P_{sf}$  et  $P_{cb}$  provoque le déplacement du vérin contre la pression  $P_{cb}$  suivant la loi ( $P_{sf} > P_{cb}$ ) qui permet de commander la position des aubes du stator vers la position ouverte. Le LVDT envoie un signal de retour à l'ECU désignant la position du vérin.

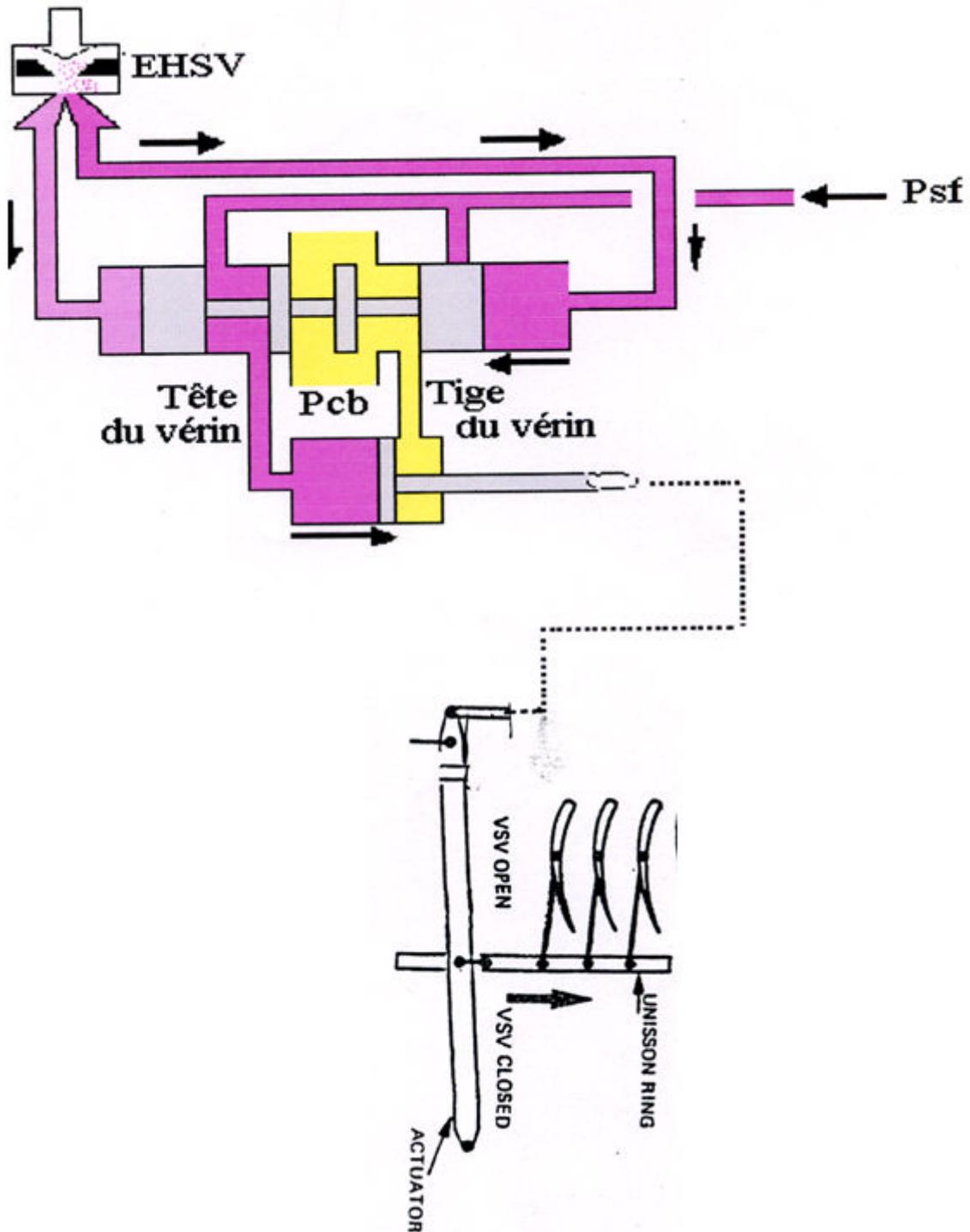


Figure (II-41) : Fonctionnement de la VSV dans la position ouverte.

### **II-4.3. Le système du variable bleed valve « VBV » :**

Le système de décharge « VBV » permet de décharger l'air du flux primaire vers le flux secondaire. Plus précisément il permet d'effectuer une décharge d'air du compresseur basse pression (LPC) vers l'écoulement dans les aubages du compartiment du compresseur basse pression (LPC). Et ceux avant l'entrée du compresseur haute pression afin d'éviter le pompage pendant les phases d'accélération rapide. Aussi il permet d'empêcher les particules non désirés d'atteindre le compresseur haute pression (HPC) durant les faibles vitesses et l'utilisation des inverseurs de poussée. Le vérin de commande (VBV) est de type « Vérin à piston », ce système se constitue de deux (02) actionneurs hydrauliques, coté tige et coté tête, chacun d'eux contient un transmetteur différentiel de position linéaire (LVDT), (12) portières de décharge et bellerank tringlerie et des anneaux unison.

#### **II-4.3.1. Mode de fonctionnement de la vanne de décharge (VBV) :**

L'ECU exploite les paramètres suivants :

- Vitesse de l'attelage haute pression N2.
- Vitesse de l'attelage basse pression N1.
- Nombre de Mach.
- L'altitude.

L'unité de contrôle électronique du moteur (ECU) reçoit les données à partir des capteurs moteurs en l'occurrence N2, T25 et P0. A partir de ces données, l'ECU envoie un signal électrique qui représente une position des VBV à l'unité hydromécanique (HMU) qui a pour rôle de transformer ce signal électrique reçue de l'ECU à une commande hydraulique pour faire actionner les vannes de décharge. La position du piston est contrôlé par la LVDT qui convertit la position linéaire en un signal électrique et envoie un signal de retour à l'ECU désignant la position du vérin. Les (VBV) sont complètement ouvertes lors de l'opération des inverseurs de poussée en atterrissage et durant une décélération rapide.

Les (VBV) sont en position fermer quand les (VSV) sont en position ouverte, c'est-à-dire quand la vitesse (N2) atteint 80% de sa vitesse maximale.

**A. Position fermée de la VBV :**

Dans le cas où la valve est fermée, l'orifice de la pression  $P_{sf}$  du côté droit ouvre ce qui provoque le déplacement du piston permettant l'ouverture des deux orifices de pression  $P_{sf}$  et  $P_{cb}$ . Tel que la pression  $P_{sf}$  présente dans la face tige du vérin et la pression  $P_{cb}$  présente dans la face tête du vérin. La différence de pression entre  $P_{sf}$  et  $P_{cb}$  ( $P_{sf} > P_{cb}$ ) provoque le déplacement du vérin contre la pression  $P_{cb}$  suivant la loi ( $P_{sf} > P_{cb}$ ) ce qui permet de commander la position des aubes stators vers la position fermée. La position du piston est contrôlée par la LVDT qui convertit la position linéaire en un signal électrique et envoie un signal de retour à l'ECU désignant la position du vérin.

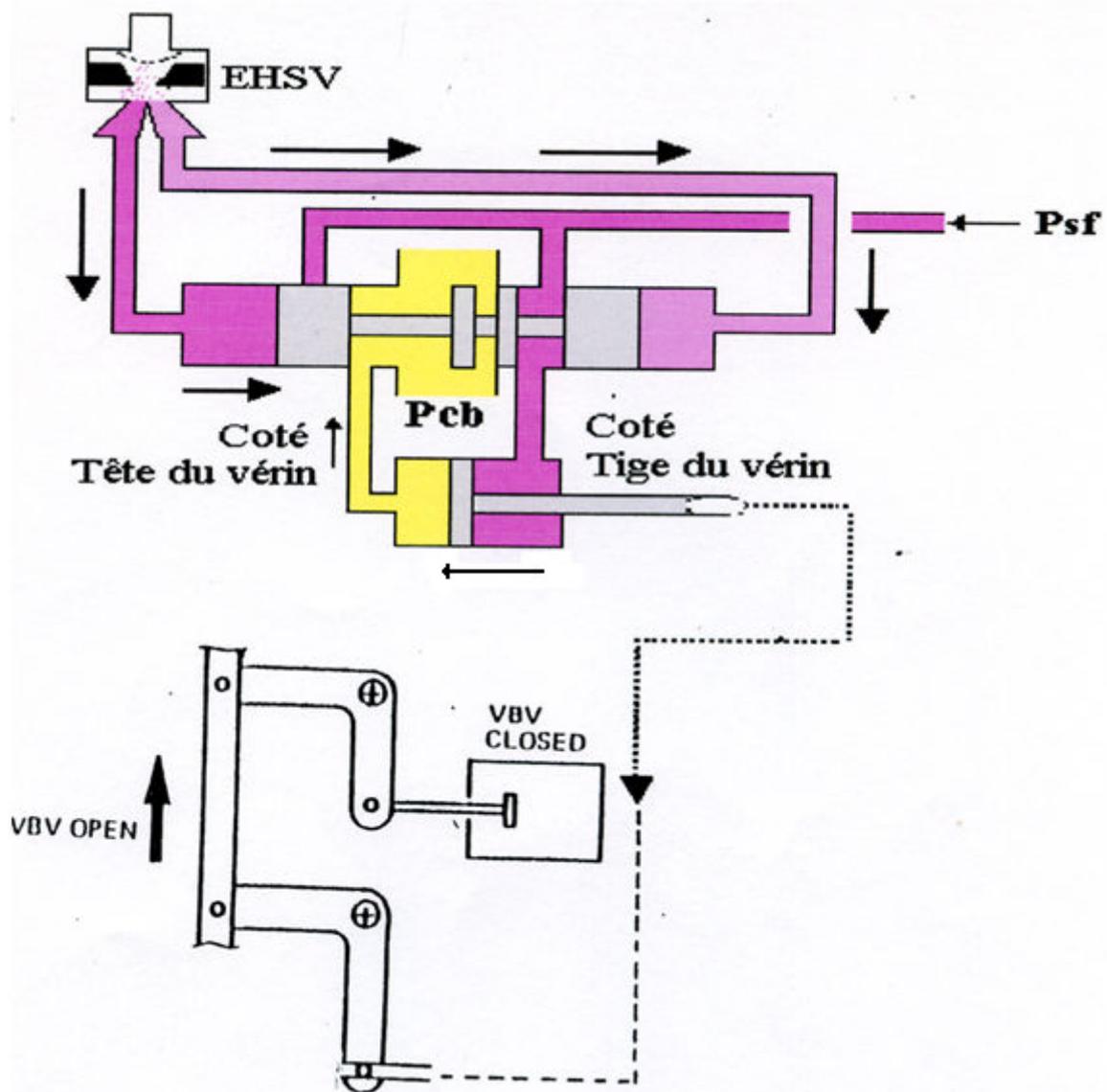
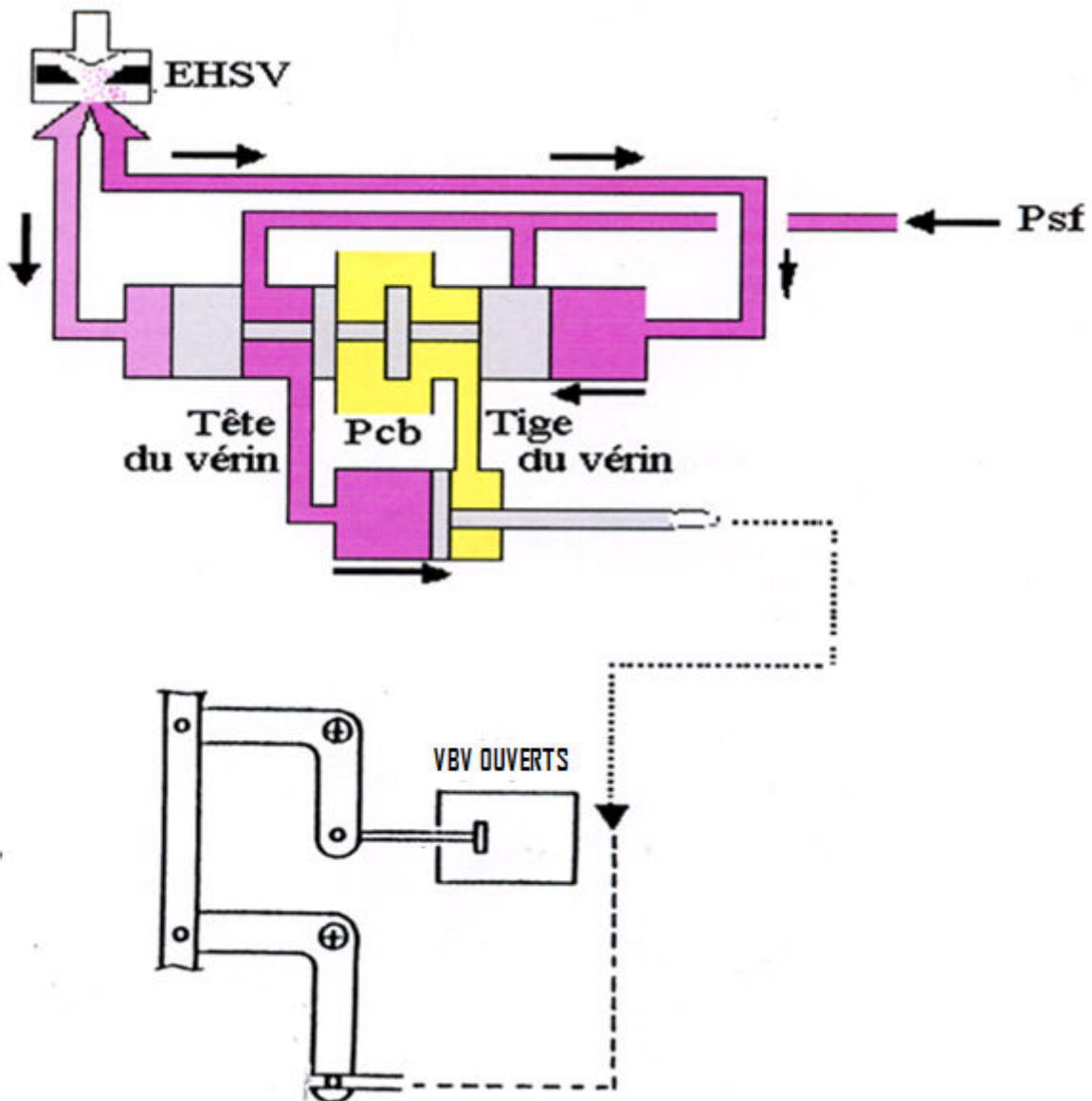


Figure (II-42) : Fonctionnement de la VBV dans la position fermée.

**B. Position ouverte de la VBV :**

Dans le cas où la valve est à la position ouverte on aura la fermeture de l'orifice de pression  $P_{sf}$  du côté droit et l'ouverture de l'orifice de pression  $P_{sf}$  du côté gauche. Tel que la pression  $P_{sf}$  présente dans la face tête du vérin et la pression  $P_{cb}$  présente dans la face tige du vérin. La différence de pression entre  $P_{sf}$  et  $P_{cb}$  ( $P_{sf}-P_{cb}$ ), qui permet de commander la position des aubes du stator vers la position ouverte. Le LVDT envoie un signal de retour à l'ECU désignant la position du vérin.



**Figure (II-43) : Fonctionnement de la VBV en position ouverte.**

#### **II-4.4. Système de contrôle actif du jeu turbine haute pression (HPTACC) :**

Le système du contrôle du jeu turbine haute pression contrôle la quantité d'air prélevé du 4<sup>ème</sup> et 9<sup>ème</sup> étage du compresseur haute pression et renvoyé vers le carter de la turbine haute pression pour contrôler le jeu. Tout ça est dans le but de réduire la consommation spécifique du carburant (SFC), ainsi que la température des gaz sortie (EGT). La valve de contrôle du jeu turbine haute pression se compose de :

- ➔ Un ensemble du corps de la valve du 4<sup>ème</sup> étage.
- ➔ Un ensemble du carter de vérin.
- ➔ Un transformateur différentiel variable linéaire (LVDT) à canal double.
  - L'ensemble du corps de la valve se compose de :
    - Un corps de la valve.
    - Une plaque à papillon et tringlerie du vérin pour le 4<sup>ème</sup> étage.
    - Un élément de dosage cylindrique sculpté pour le 9<sup>ème</sup> étage.
  - Le carter de vérin se constitue de :
    - Vérin à piston actionné hydrauliquement.
    - Une Switch d'indication de piston utilisant un canal double (LVDT).
    - Une terour à engrenage.
    - Un ressort de fermeture de 4<sup>ème</sup> étage.
- ❖ L'EEC utilise ces données pour contrôler la vanne (HPTACC) :
  - ➔ La pression de l'air statique (P0).
  - ➔ La température de l'air total (TAT).
  - ➔ La vitesse de rotation de l'attelage haute pression (N2).
  - ➔ La température du 9<sup>ème</sup> étage du compresseur haute pression (T3).
  - ➔ La température d'air à la sortie du compresseur haute pression (T25).
  - ➔ La température du carter de la turbine haute pression (HPTACC SENSOR).

La vanne (HPTACC) se compose en vérité de deux (02) vannes, l'une pour le prélèvement du flux d'air du 4<sup>ème</sup> étage et l'autre pour le prélèvement d'air du 9<sup>ème</sup> étage. Les deux vannes sont actionnées par un seul vérin qui est de type « vérin à piston ».

La pression hydraulique du HMU est délivrée aux deux orifices de connections hydraulique du vérin de commande de (HPTACC), soit l'orifice du coté tige ou celui du coté tête de ce dernier. L'orifice qui reçoit la pression en premier détermine la direction du piston du vérin.

La pression d'alimentation à la chambre d'ouverture est restée presque constante par l'orifice (Pcr). Un changement de pression dans la chambre de fermeture par l'orifice (Phptc) fera changer la position des composantes de la valve. Quand la pression (Pcr) augmente du coté d'ouverture du piston et la force est plus que la pression (Phptc) et le ressort, le piston se déplace vers la direction Ouverte. Quand la pression (Pcr) diminue ou la pression (Phptc) augmente, le piston se déplace vers la direction Fermée.

Le vérin du piston actionne une terroir à engrenage entraine un pignon relié à un arbre pour le 4<sup>ème</sup> et le 9<sup>ème</sup> étage. Le pignon et l'arbre du 9<sup>ème</sup> étage tourne (100°degrés) du 0 à 100% de la course du vérin. Le pignon et l'arbre du 4<sup>ème</sup> étage incluent un système de mouvement perdu. Comme la course du vérin se déplace vers la position Ouverte.

Le piston du vérin incorpore un orifice pour le débit du carburant à travers le piston, qui donne le refroidissement au vérin.

Un drainage de carburant est fourni pour l'acheminement de n'importe quelle fuite liquide après le joint de l'arbre à un carter éloigné.

La position de la valve contrôlée par l'unité de contrôle électronique (ECU) par l'intermédiaire d'un (LVDT) à canal double.

### II-4.4.1. Mode de fonctionnement :

#### A. Position fermée :

Dans le cas où la valve est fermée, le déplacement du piston ferme l'orifice de la pression  $P_{cb}$  et ouvre l'orifice d'entrée du  $P_c$ .

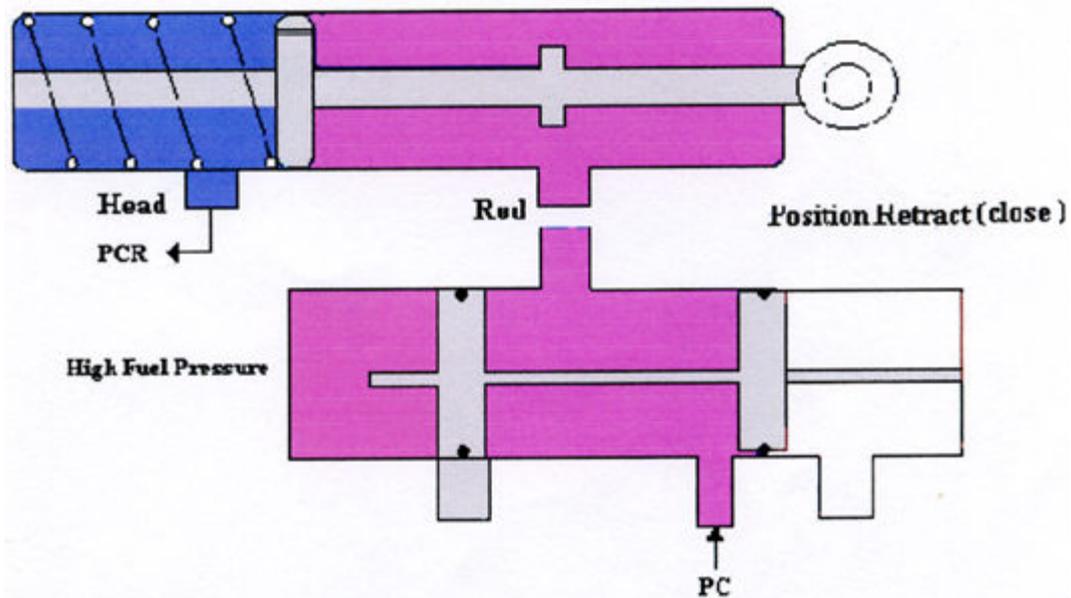


Figure (II-44) : Position fermée de la HPTACC.

Donc le vérin sera alimenté par la pression  $P_c$  qui va vers le côté tête et sur la partie tige on a du  $P_{cr}$  et suivant la loi hydromécanique  $P_{cr} < P_c$ . Le piston se déplace contre  $P_{cr}$  cette dernière est dirigée vers  $P_{cb}$ . Le papillon est ramené à la position fermée. La position du piston est contrôlé par la LVDT qui convertira la position linéaire en un signal électrique et envoi un signal de retour à l'ECU désignant la position du vérin.

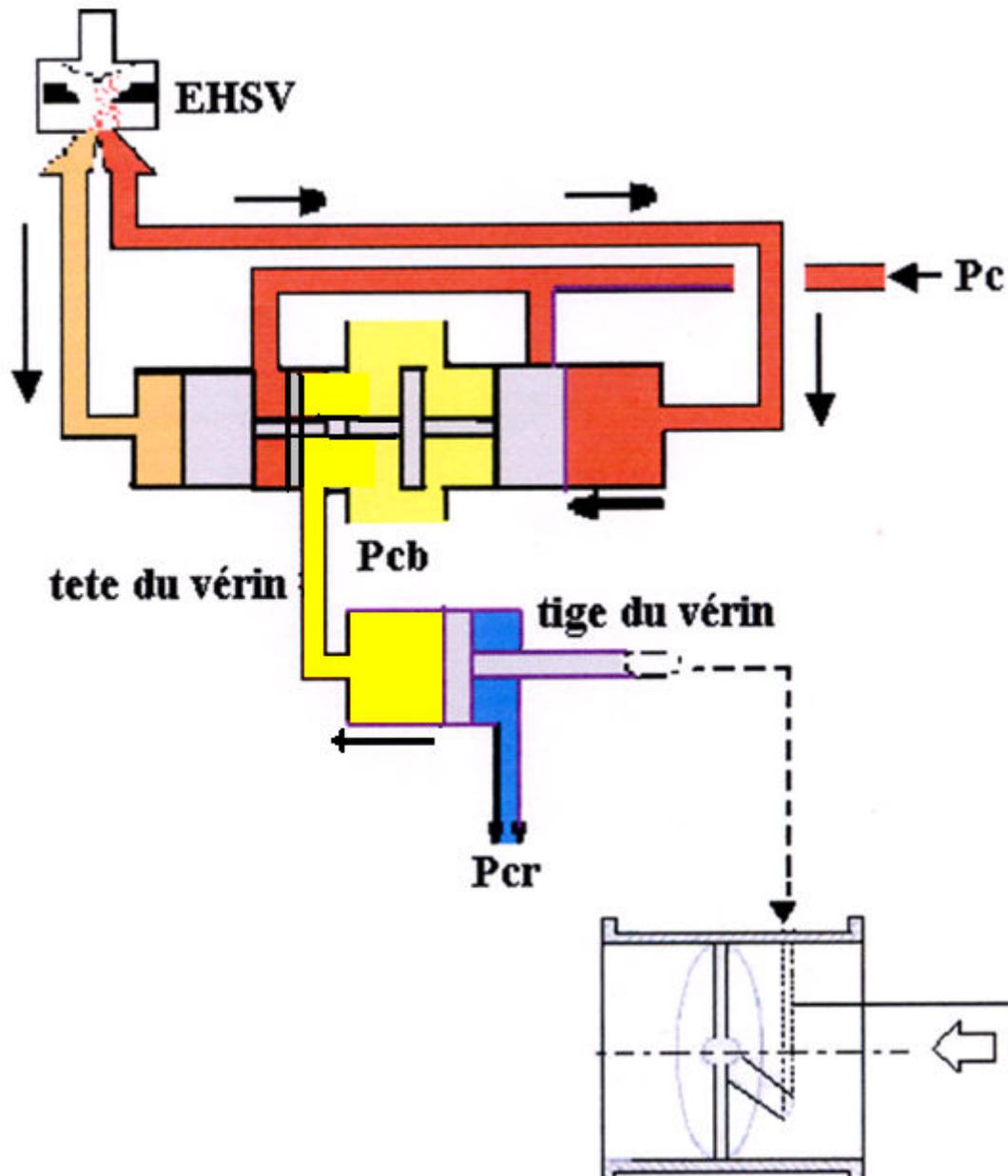


Figure (II-45) : Fonctionnement de la HPTACC en position fermée.

### B. Position ouverte :

Dans le cas contraire ou le piston de la valve ferme l'orifice de la pression  $P_c$ , la tête du vérin sera alimentée par la pression  $P_{cb}$ . Le côté tige sera alimenté par la pression  $P_{cr}$ . Suivant la loi

hydromécanique  $P_{cb} < P_{cr}$ , permet de déplacer le piston contre  $P_{cb}$ , qui provoque la sortie du  $P_{cb}$  du côté tête. Le papillon est ramené à la position ouverte. La position du piston est contrôlé par la LVDT qui

converse la position linéaire en un signal électrique et envoi un signal de retour à l'ECU désignant la position du vérin.

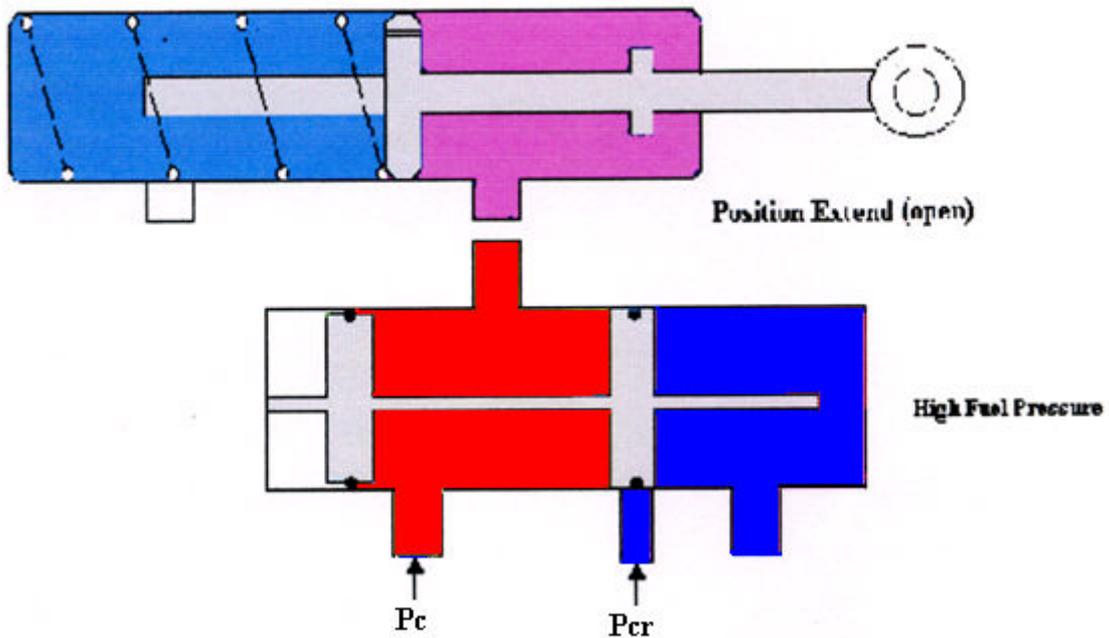


Figure (II-46) : Position ouverte de la HPTACC.

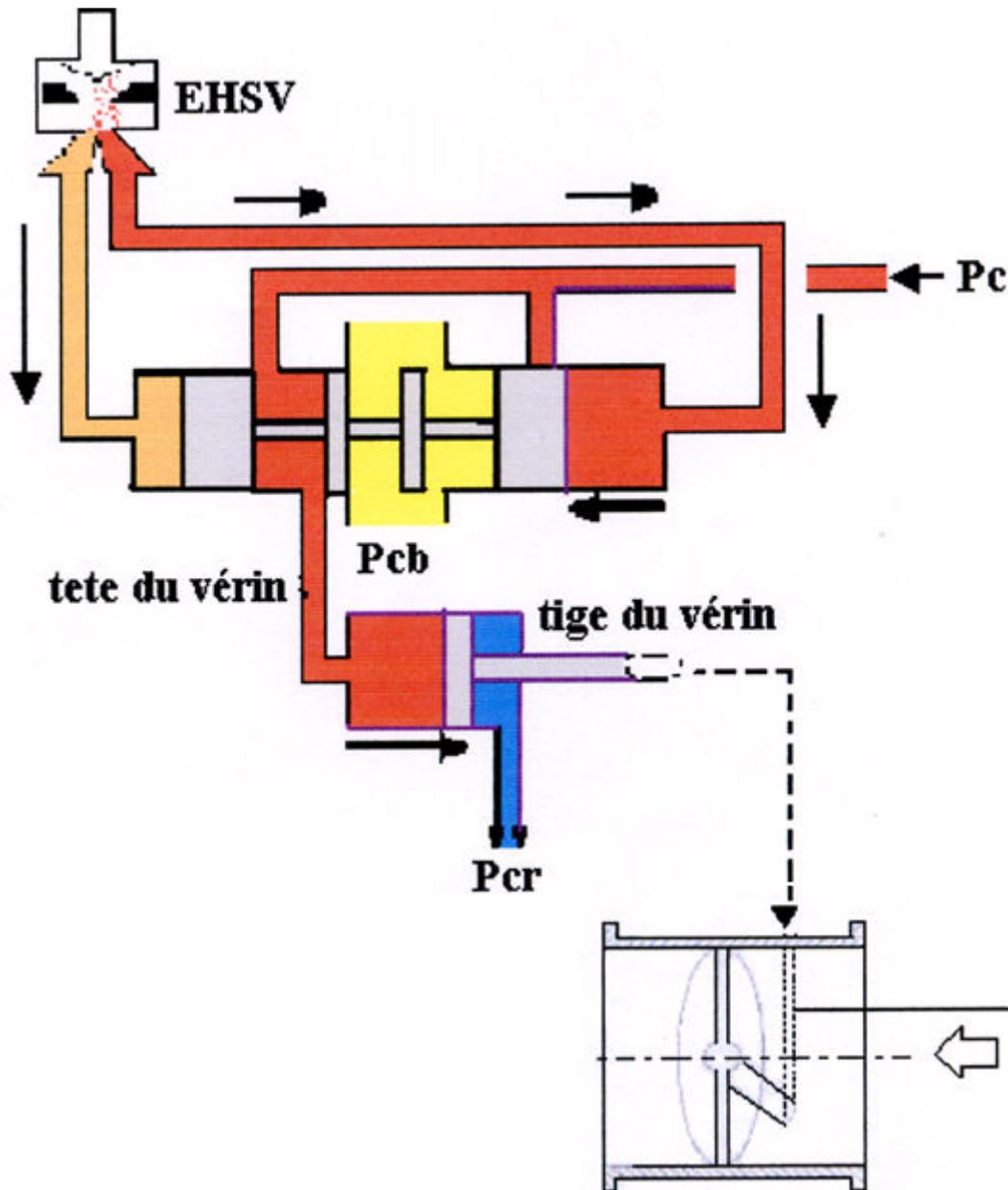


Figure (II-47) : Fonctionnement de la HPTACC à la position ouverte.

#### II-4.5. Système de contrôle actif du jeu turbine basse pression (LPTACC) :

Le système de contrôle du jeu de turbine basse pression (LPTACC) contrôle la quantité d'air prélevée du flux secondaire du fan qui est dirigé vers le carter de la turbine basse pression (LPT) pour contrôler le jeu. Ceci à travers la vanne de (LPTACC). Le circuit de refroidissement du carter turbine basse pression utilise un collecteur pour refroidir le carter de la turbine basse pression. Le refroidissement est assuré par une distribution annulaire ordonnée de tubulures percées uniformément, appelées rampe de

distribution. Cette dernière décharge l'air du Fan sur la surface le carter turbine basse pression par des injections d'air frais, les flux de refroidissement réduit le jeu radial entre le rotor et le stator et augmente l'efficacité de la turbine ainsi le rendement sa croix. L'air en provenance du Fan pour le collecteur est contrôlé par une vanne de refroidissement du carter turbine basse pression, elle est localisée sur le coté gauche du moteur en position 8H00 après de chambre de combustion. Cette vanne est du type papillon, actionnées par un vérin hydraulique. La modulation de la vanne de refroidissement est commandée par un du carburant sous pression en provenance du régulateur principal carburant (HMU) à travers l'électro hydraulique servo vanne (EHSV). La vanne de refroidissement du carter comprend :

- Deux transducteurs linéaires de déplacement variable (Linéaire variable déplacement transducteur, LVDT), qui envoi un signal de position de vanne vers l'unité électronique de contrôle moteur (ECU), chaque LVDT est équipé d'une prise électrique.
- Un LVDT est excité et lu par le canal A du l'ECU, l'autre est excité et lu par le canal B de l'ECU.
- La flèche est sur le corps de la vanne, indique le sens de l'écoulement facilitant ainsi son installation.

#### **II-4.5.1. Mode de fonctionnement :**

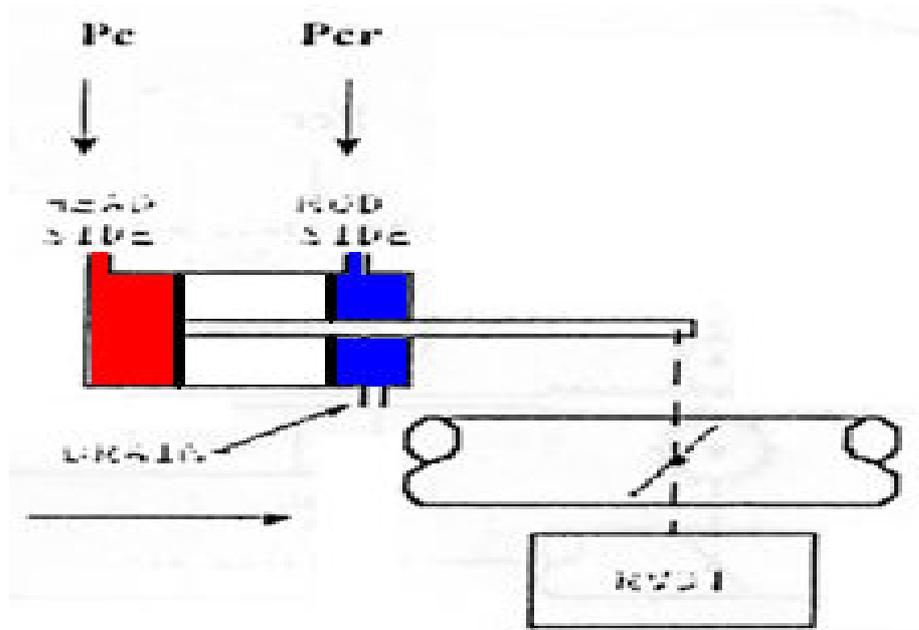
L'ECU utilise les données suivantes pour gérer la position du papillon de la vanne LPT :

- La pression de l'air statique P0.
- La température de l'air total (TAT).
- La température du carter de la turbine basse pression.
- La vitesse de rotation de l'attelage
- La température
- La température d'air à la sortie

L'ECU calcule la position puis envoie un signal électrique correspondant à cette position. Ce signal sera transformé par le torque moteur de cette vanne en différence de pression actionnant les actuateurs.

**Pour l'ouverture du papillon :**

La pression qui règne dans la portière tête est  $P_c$ , et la pression qui règne dans la portière tige est  $P_{cr}$ , l'actuateur se déplace de gauche à droite provoquant l'ouverture de papillon.



**Figure (II-48) : Position ouverte de la LPTTACC.**

**Pour la fermeture du papillon :**

La pression qui règne cette fois si dans la portière tête est  $P_{cr}$ , et la pression qui règne dans la portière tige est  $P_c$ , l'actuateur se déplace de droite à gauche provoquant la fermeture du papillon.

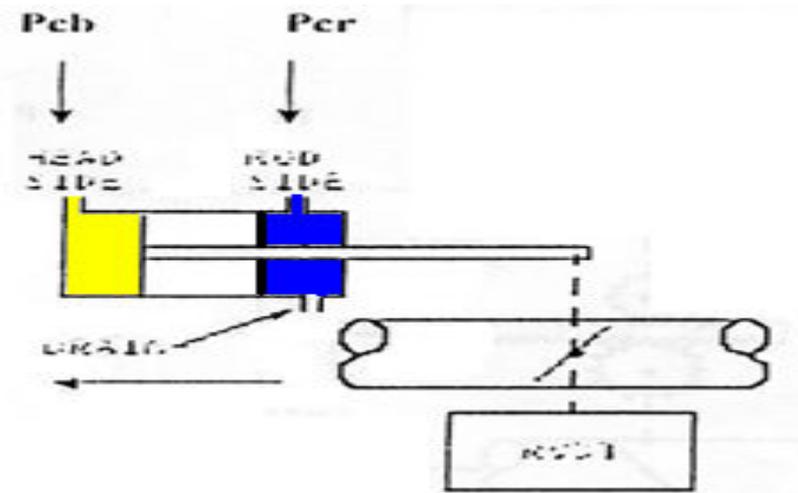


Figure (II-49) : Position fermée de la LPTACC.

#### **II-4.6. La vanne de refroidissement du moteur et accessoires (CCCV):**

La vanne de refroidissement du moteur et accessoires utilise de l'air frais provenant du Fan. Le débit de l'air est réglé par la vanne: « Core Compartement Cooling » Valve (CCCV), de type papillon. Elle est montée sur le carter du 4<sup>ème</sup> étage du compresseur haute pression à 10H00. Cette vanne est ouverte au sol et à basses altitudes pour permettre un refroidissement optimal, et elle est fermée en vol de croisière et à hautes altitudes. Le contrôle de la position du CCCV se fait à travers le solénoïde de la vanne de refroidissement du 11<sup>ème</sup> étage et assuré par l'unité de contrôle électrique.

A hautes altitudes et en vol de croisière l'air ambiant passe à travers des ouvertures dans le capotage permettant le refroidissement par convection du moteur et accessoires ce qui permet l'augmentation de la durée de vie du moteur ainsi l'amélioration de la consommation spécifique du carburant.

La vanne est conçue de façon à ce qu'elle reste ouverte en cas d'une panne (Fail Safe Open).

Quant elle est ouverte, l'air de refroidissement en provenance du fan est envoyé vers le carter du compresseur haute pression, pompe carburant, l'alternateur, et d'autres accessoires.

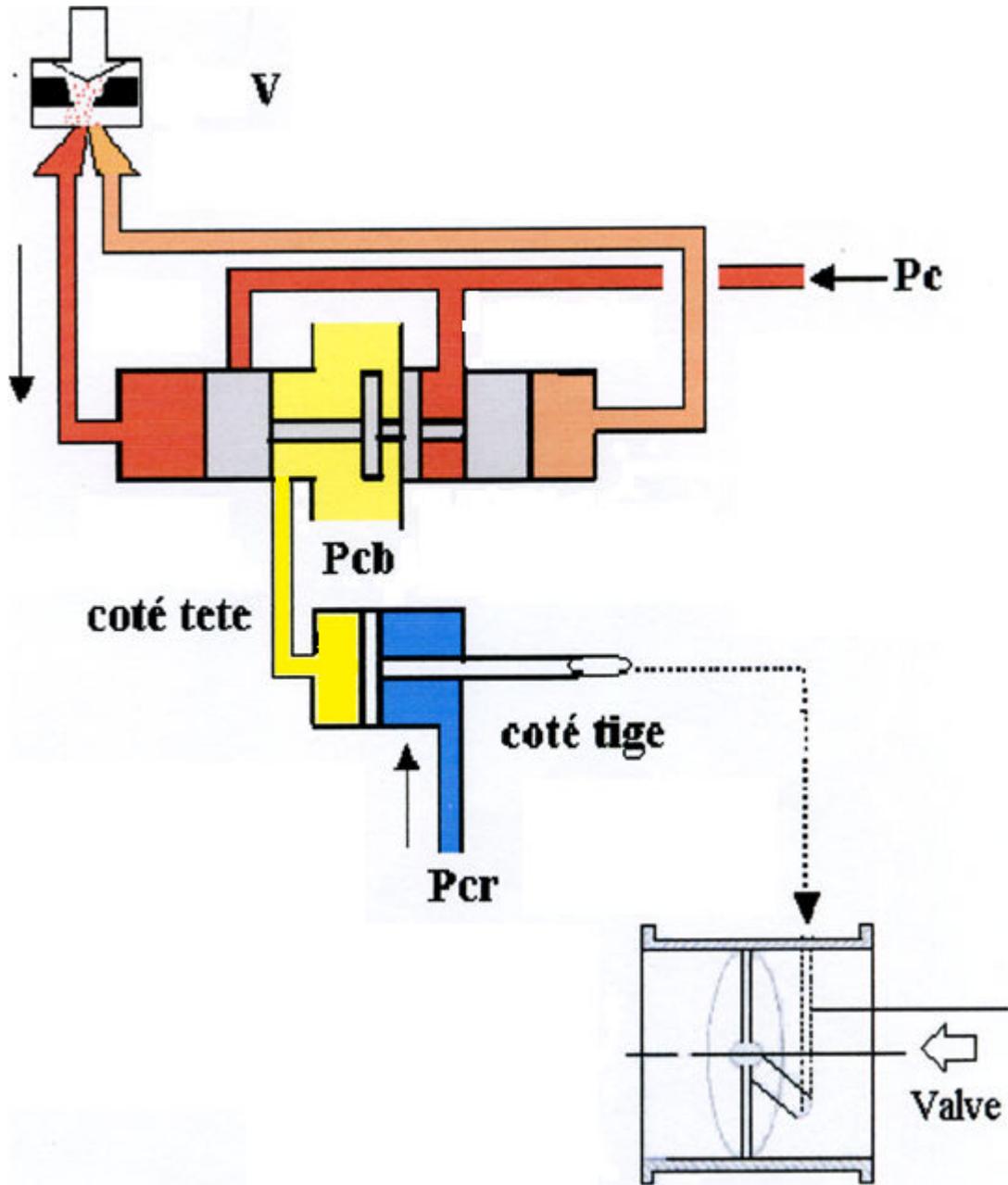


Figure (II-50) : Position fermée de la valve CCCV.

#### II-4.6.1. Mode de fonctionnement :

L'unité de contrôle moteur ECU reçoit des données à partir des capteurs moteurs. Elle envoie un signal électrique au solénoïde de la valve du 11<sup>ème</sup> étage qui représente la demande à la valve du 11<sup>ème</sup>

étage de refroidissement. Les deux valves sont fermées simultanément pour réduire le débit et ouvert simultanément si on veut augmenter le débit d'air.

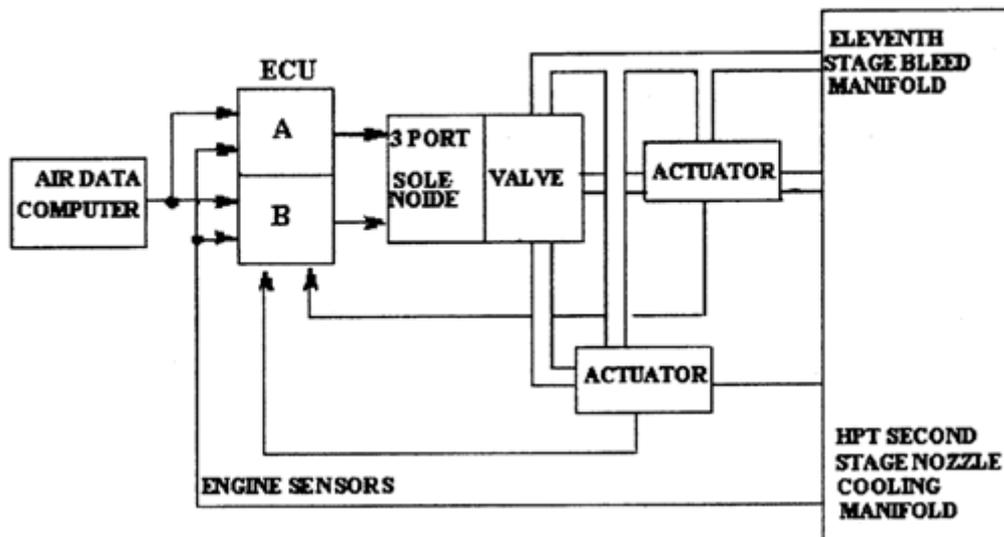


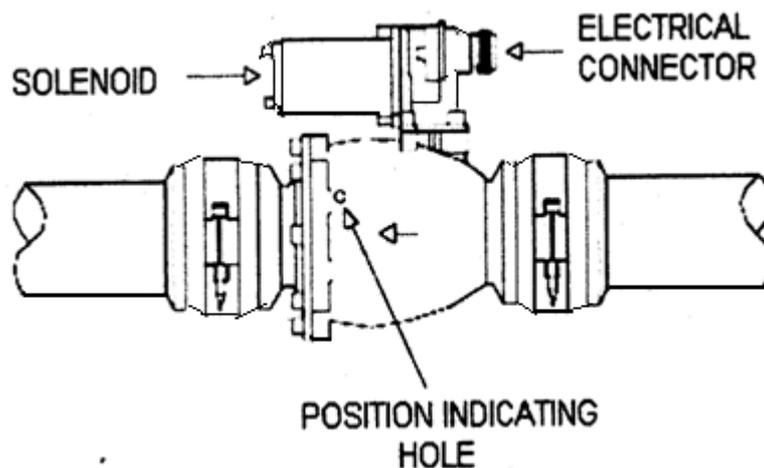
Figure (II-51) : Diagramme simplifié du fonctionnement de la CCCV.

Deux connecteurs électriques sont positionnés dans chaque valve qui donne la position de chaque valve et l'envoie directement à l'unité de contrôle moteur ECU, un pour le canal A et l'autre pour le canal B de l'ECU.

### **II.4.7. La vanne de refroidissement BCV:**

C'est une vanne de refroidissement de type en douille, montée sur le carter fan en position 2H00, 5H30 et 11H00, elle est contrôlée par un solénoïde, équipé de deux prises électriques reliées aux canaux A et B du ECU. Permet le contrôle du débit d'air parasite en provenance de la décharge du compresseur basse pression pour le refroidissement des puisards. Elles sont normalement ouvertes à haut régime pour permettre un maximum de refroidissement et fermées en vol de croisière et au bas régime pour minimiser les pertes du soutirage d'air.

Les vannes de refroidissement (BCV) sont conçues de façon lors d'une panne, elles restent en position ouvertes (Fail Safe Open).



**Figure (II-52) : La vanne de refroidissement BCV.**

### **III-1. Unité de contrôle électronique du moteur CFM56-7B (EEC) :**

Le moteur CFM56-7B est équipé lui aussi d'un système FADEC qui a les mêmes fonctions et le même rôle que celui qui équipe le CF6-80 E1, il sert à contrôler et à gérer les différentes tâches de fonctionnement du moteur. Entre autre, il contrôle la pression du compresseur, la quantité du carburant à injecter dans la chambre de combustion.

Le EEC qui équipe le moteur CFM56-7B est un calculateur numérique qui comprend deux canaux A et B 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). Il comprend plusieurs connections électrique.

L'EEC comprend trois (03) microprocesseurs :

- Le premier : Pour les fonctions principales de commande, de contrôle et de surveillance.
- Le second : Pour les fonctions d'interfaçage avec les capteurs de pression.
- Le troisième : Pour la gestion des échanges de signaux entre l'avion et l'EEC.

Tous ça par des signaux discrets câblés et par liaisons analogiques transmettant des mots série de 32 bits. Le logiciel du EEC organise et distribue les tâches en temps réel. De plus, il assure une synchronisation parfaite entre les deux canaux et fait la sélection du canal en contrôle (actif). Le canal actif est changé à chaque démarrage du moteur et si le canal actif est défectueux, le deuxième prend le relais.

Le EEC a pour rôle de recevoir les données pour calculer les signaux de commande dans le canal A et B et envoyer des signaux de contrôle pour opérer le moteur, il est en aluminium localisé dans le moteur CFM56-7B à 2H00 sur le carter du fan. Il contient (15) connecteurs électriques câblés. Chaque connecteur a un modèle à clé unique qui n'accepte que le câble correspondant. On a (11) prises de J1 à J11 et (04) quatre pour les sondes de pression, distinguées par leurs couleurs facilitant leur localisation dans le moteur. Il comporte aussi un orifice d'entrée et un orifice de sortie relié par des collecteurs au revêtement extérieur du capot de l'entrée d'air, pour permettre à l'air de refroidir la partie interne du EEC.

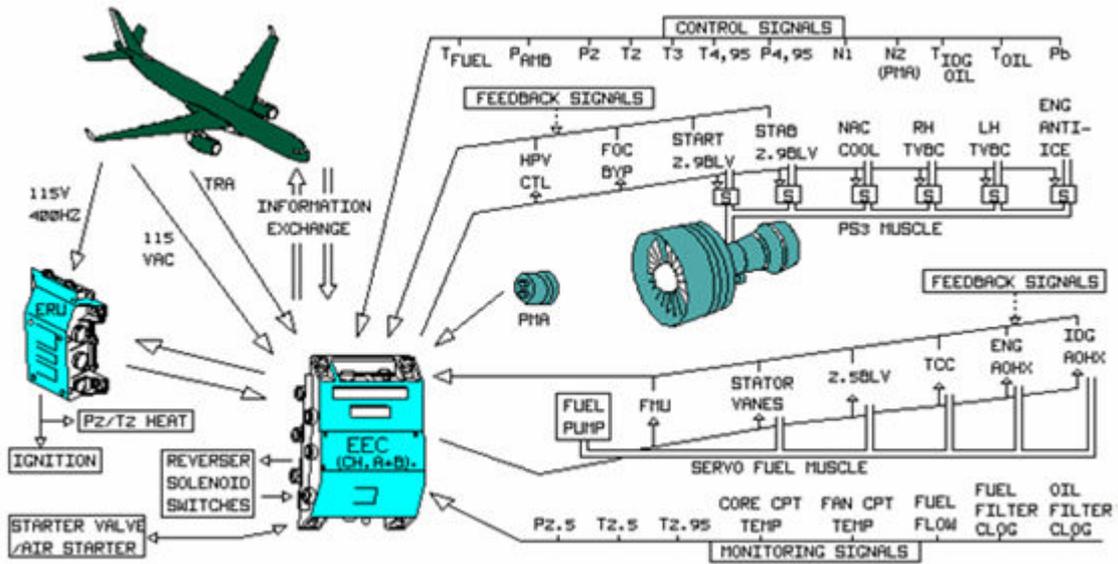


Figure (III-1) : Schéma représentatif du système FADEC.

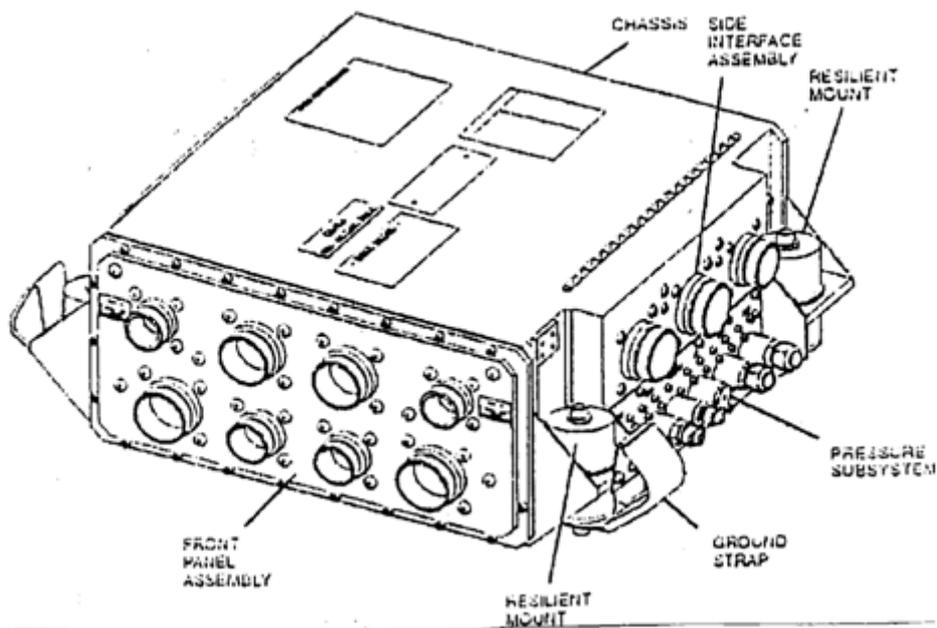


Figure (III-2) : L'unité électronique du contrôle moteur « EEC ».

Connecteur du canal A (Impaire)	Connecteur du canal B (Paire)	Fonction
J1	J2	A/C power (28v), régime d'allumage (115).
J3	J4	A/C Entrée/sortie et TLA.
J5	J6	Inverseurs de poussée.
J7	J8	Solénoïdes, moteur couple, résoudre, N2.
J9	J10	Alternateur, SAV, N1 et T12.
J11	J12	LVDT's, RVDT's, T25, Switch de Position de BSV.
Shared	J14	Bouchon d'identification du moteur.
J13	Shared	WF computer, Thermocouples.
J15	Shared	Interface de teste, WB3.

### Les connecteurs électrique du EEC.

➔ Les connexions du EEC aux systèmes du moteur et d'avion :

Le EEC se relie à des systèmes et composants suivants :

- ➔ Prise d'identification.
- ➔ Unité hydromécanique (HMU).
- Système de contrôle d'air moteur.
- Capteurs du moteur.
- Commande du carburant.
- Alternateur du EEC.
- Circuit d'allumage.

- Système de visualisation commune.
- L'unité d'affichage électronique (DEU).
- Auto manette (A/T).
- Ordinateur de gestion de vol (FMC) et la boîte de contrôle et d'affichage (CDU).
- Indication du moteur et du carburant.
- Commande d'arrêt et levier de démarrage.
- Unité de référence à inertie de données aériennes 1 et 2 (ADIRU).
- Unité d'acquisition de données de vol (FDAU).
- Interrupteur de feu moteur.
- Séparateurs de poussée.
- Inverseurs de poussée (TRS).
- Auto bus 1 ou 2 de transfert de courant alternatif.

### **III-1.1. L'alimentation électrique de l'unité de contrôle électronique :**

Le EEC qui équipe le CFM56-7B est alimentés en 28 volts courant continue à partir du réseau quand le moteur ne trouve pas ou que sa vitesse est encore faible, lors du démarrage (N2 inférieur à 12%), et par l'intermédiaire de son alternateur triphasé qui lui est propres dès que le moteur tourne à plus de 15% de N2 nominal. Au sol, 5 minutes après l'arrêt du moteur, l'alimentation avion est automatiquement coupée pour éviter des heures inutiles de fonctionnement du EEC. Ce dernier reçoit aussi une alimentation en 115 volts alternatifs (VAC) pour assurer l'alimentation des circuits d'allumage.

### **III-1.2. Dimensions et poids de l'unité de contrôle électronique (EEC) :**

- Longueur.....505.2 mm (19.92 in).
- Hauteur.....171.9 mm (6,94 in).
- Profondeur.....378.2 mm (14.96 in).
- Poids.....21.09 Kg (46.5 Ib).

## **III-2. Système hydromécanique du moteur CFM 56-7B :**

### **III-2.1. L'unité hydromécanique HMU :**

#### **III-2.1.a. Généralité :**

Le HMU reçoit les signaux électriques du EEC et les convertit grâce à des moteurs couple et à des servo vannes en ordres hydrauliques pour calculer le débit de carburant du moteur et le débit des six (06) électro hydraulique servo vannes. La HMU régule les débits du carburant moteur en fonctionnement et ceux en fonction des paramètres moteur. La demande du carburant calculer par n'importe quel régime moteur est fournit par un signal électrique à l'électro hydraulique servo vannes du galet doseur qui se trouve dans la HMU. La réponse de l'électro hydraulique servo vanne au signal de commande du EEC positionne le galet doseur de façon à délivrer le débit carburant calculer par le EEC. Les systèmes hydrauliques externes du moteur sont alimentés en carburant par une pression servo alimentation filtrée (Psf), servo pression d'alimentation (Pc) et par la pression de référence régulée (Pcr) du HMU. Les systèmes hydrauliques du moteur commandés par la HMU comprennent :

- Deux (02) vérins des stators à calage variable (VSV).
- Deux (02) vérins de vanne de décharge (VBV).
- Une (01) valve de contrôle actif du jeu turbine haute pression (HPTACC).
- Une (01) valve de contrôle actif du jeu turbine basse pression (LPTACC).
- Une (01) vanne de décharge transitoire (TBV).
- Une (01) vanne de sélection d'injecteurs (BSV).

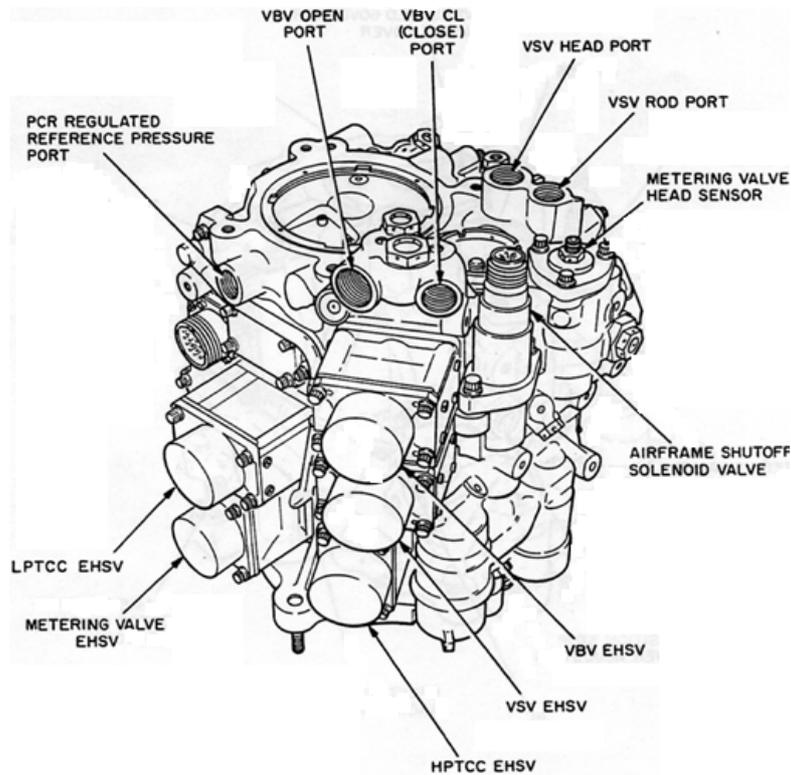


Figure (III-3) : L'unité hydromécanique (HMU).

### III-2.1.b. Les électro hydrauliques servo vannes (EHSV) :

L'unité hydromécanique (HMU) dans le CFM56-7B comprend six (06) électro-hydrauliques servo vannes positionnées sur la HMU, leurs rôles et de convertir les commandes électriques provenant du EEC aux signaux hydrauliques.

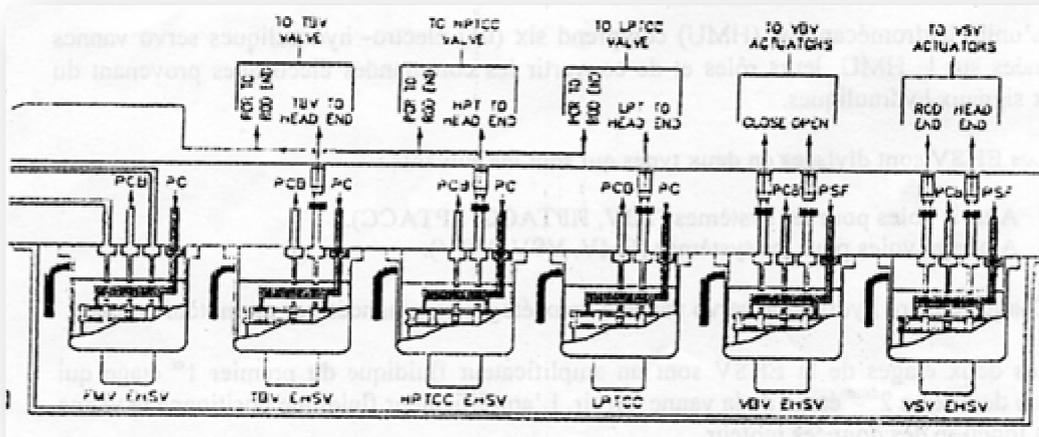


Figure (III-4) : Les différents électro hydrauliques servo valves.

Les EHSV sont divisées en deux types qui sont les suivant :

- Trois voies pour les systèmes (TBV, HPTACC, LPTACC).
- Quatre voies pour les systèmes (FMV, VSV, VBV).

Chaque électro hydraulique servo vanne a deux étages commandés par un moteur couple. Les deux étages de l'EHSV sont un amplificateur fluide du premier 1<sup>er</sup> étage qui actionne le deuxième 2<sup>ème</sup> étage de la vanne terroir. L'amplificateur fluide positionne la vanne terroir en fonction des données moteur. Cet amplificateur fluide actionne en dirigeant une petite quantité de carburant haute pression aux orifices qui délivrent ce carburant à l'une ou l'autre extrémité de la vanne terroir. La position de l'injecteur de carburant est une fonction des données du moteur couple.

- Quand l'EHSV est à sa position neutre, des pressions égales sont dirigées par l'injecteur de l'amplificateur fluide.
- En fonctionnement, l'injecteur devise le carburant à haute pression délivrée aux extrémités de la vanne terroir selon les commandes du moteur couple.

Lorsque le carburant haute pression est envoyé aux extrémités de la vanne terroir, une augmentation du débit à l'une ou l'autre extrémité de la vanne terroir met en mouvement la vanne terroir. A la position neutre, les décharges de la vanne ferme les orifices et dirigent la mise en l'air libre de la vanne, une décharge (Land) dirige le carburant à la haute pression au composant en fonctionnement vers la pression du corps régulé (Pcb).

### III-2.1.c. Fonctionnement de la HMU :

La HMU reçoit un signal électrique venant du EEC. La conversion de ce signal donne une information pour commander les électro- hydrauliques servovalves (EHSV) et qui sert à actionner les différents vérins.

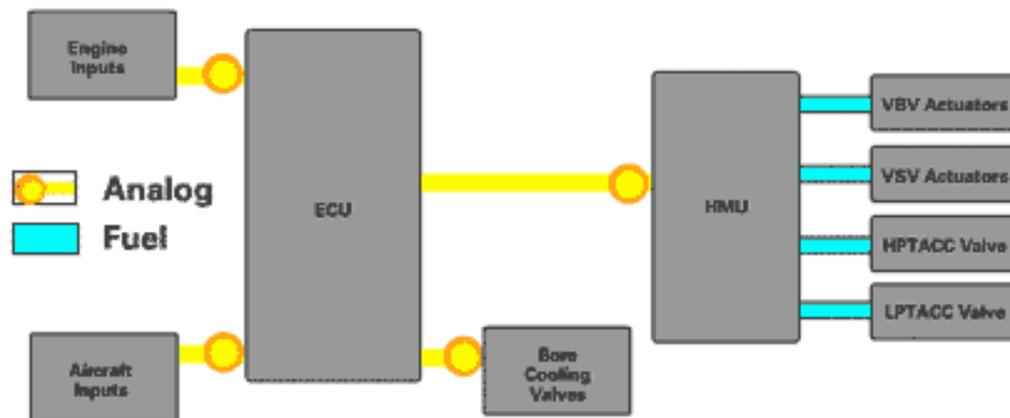


Figure (III-5) : Fonctionnement de la HMU.

### III-2.1.d. L'alimentation en carburant de l'HMU:

Le carburant du moteur est envoyé directement à l'entrée principale du carburant du HMU à travers un servo réchauffeur carburant et à l'entrée du servo régulateur du HMU. L'entrée principale du carburant est située dans la face support de corps du HMU. Cette pression du carburant est désignée par (Ps). L'entrée du servo réchauffeur carburant est montée sur la face du corps du HMU. A l'entrée carburant est installé un filtre de type clapet de surpression. Le filtre fait passer les particules plus grandes que 10630 micro-inch (270 micromètre) du servo réchauffeur carburant, ce carburant d'alimentation aux systèmes d'asservissement du HMU est désigné par (Psf). Si un blocage de filtre par l'arrivée de contamination déplace une force contre la force du ressort, sortie de flux de carburant. Un passage de carburant à coté du filtre s'ouvre pour assurer la continuité du carburant d'alimentation aux systèmes d'asservissement du HMU quand la pression diminue à travers le dépassement du filtre à 15 Psi (103 Kpa).

→ Le carburant à la pression  $P_{sf}$  est distribué :

- A l'EHSV du VBV.
- A l'EHSV du VSV.
- A travers un restricteur du head sensor et du clapet de décharge intégré.
- Vers la vanne de mise en pression et d'arrêt.
- Au régulateur de servo pression ( $P_c$ ).
- Vers la vanne solénoïde d'arrêt.

→ Le carburant à la pression  $P_c$  est distribué :

- Au régulateur servo pression  $P_{cr}$ .
- A l'EHSV de la FMV.
- A la valve servo vitesse.
- A l'EHSV de la HPTACC.
- Au solénoïde de la BSV.
- A l'EHSV de la TBV.

→ Le carburant à la pression ( $P_{cr}$ ) est distribué :

- A l'extrémité de la tête du piston intégrateur.
- A l'extrémité de la tige de la vanne LPTACC.
- A l'extrémité de la tige de la vanne HPTACC.
- A l'extrémité de la tige de la vanne TBV.
- Au solénoïde de la BSV.

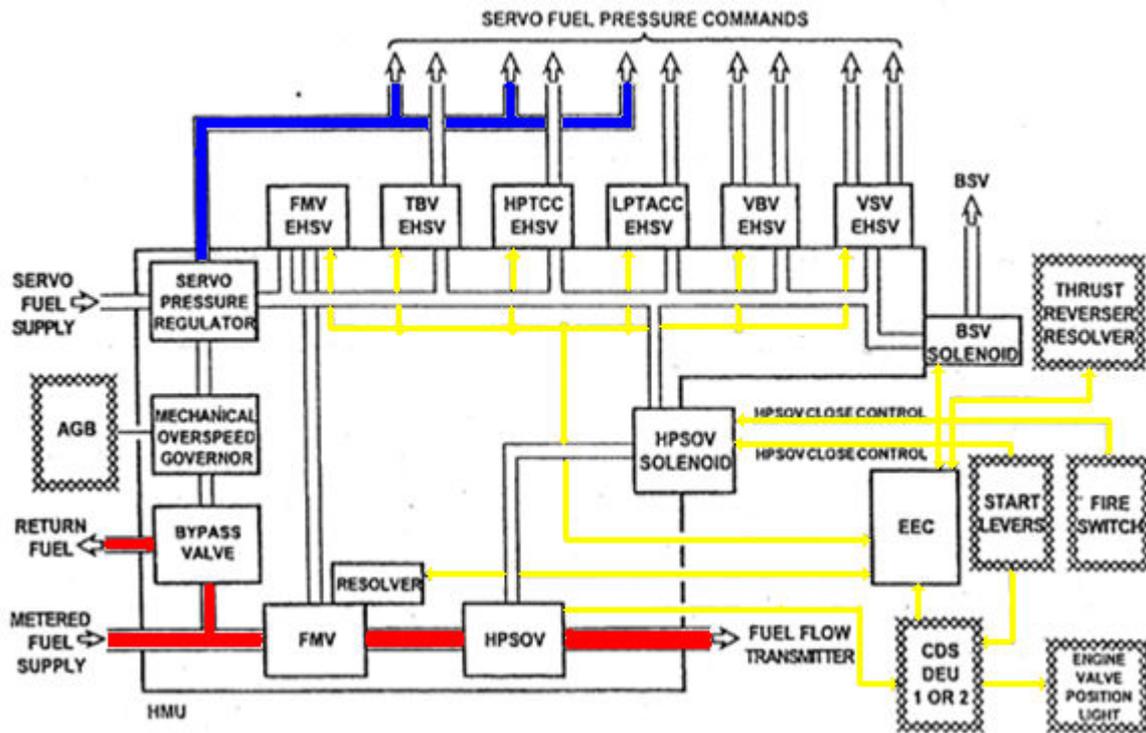


Figure (III-6) : Alimentation du carburant au HMU.

III-2.1.e. Schéma représentatif du HMU : Figure (III-7).

### **III-3. Le circuit carburant :**

#### **III-3.1. Le rôle du circuit carburant :**

Le circuit carburant à pour rôle d'assurer :

- L'alimentation des vingt (20) injecteurs du CFM56-7B.
- L'alimentation des deux (02) vérins des stators à calage variable.
- L'alimentation des deux (02) vérins des vannes de décharge.
- L'alimentation de la vanne de refroidissement du carter turbine haute pression.
- L'alimentation de la vanne de refroidissement du carter turbine basse pression.
- L'alimentation de la vanne de décharge transitoire.
- Refroidissement de l'huile de graissage du moteur.
- Refroidissement de l'huile de graissage de l'alternateur.

#### **III-3.2. Composition du circuit carburant :**

Le circuit carburant est totalement intégré dans la nacelle du réacteur, ses éléments sont montés sur la gear box à l'exception des réservoirs, des injecteurs et de la tuyauterie, les éléments sont comme suite :

- Une pompe (01) à carburant à haute pression.
- Un échangeur de chaleur ( Huile/Carburant).
- Un filtre principal de carburant.
- Un réchauffeur carburant (Servo fuel).
- L'unité hydromécanique (HMU).
- Tuyauterie de l'alimentation carburant.
- (20) injecteurs.
- Une vanne de sélection d'injecteur (Fuel Flow Meter).
- Une rampe injecteurs.
- Un transmetteur de débit carburant.

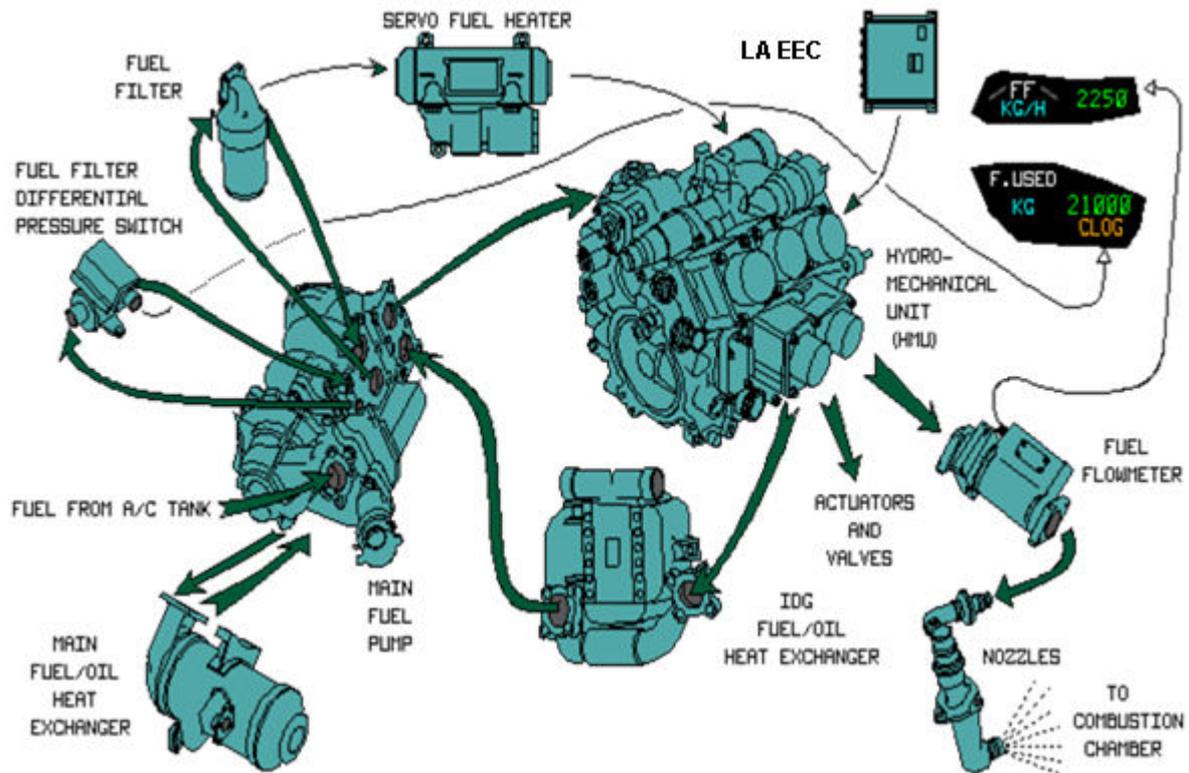


Figure (III-8) : Les éléments du circuit carburant dans le moteur.

### III-3.3. Contrôle du circuit carburant :

La surveillance du circuit carburant se fait :

- Par une indication de débit carburant située sur l'écran inférieur des paramètres secondaires moteur.
- Par un voyant d'alarme du colmatage filtre carburant situé au panneau supérieur P5-2 au cockpit.
- Par un voyant associé au robinet carburant haute pression (HOSOBV).

**III-3.4. Le fonctionnement du circuit carburant :**

Le carburant venant des réservoirs de l'avion passe en premier dans le 1<sup>er</sup> étage de la pompe à carburant. La pompe centrifuge augmente le débit du carburant à une pression très élevée avant l'entrée du 2<sup>ème</sup> étage de la pompe (étage haute pression). Le carburant passe ensuite par l'échangeur thermique (Huile/Carburant) de l'alternateur IDG après par l'échangeur thermique (Huile/Carburant) moteur. Par la suite le carburant passe à travers un filtre principal de carburant. A la sortie du filtre principale, le carburant passe dans le régulateur principale carburant HMU. A l'intérieur de l'HMU, le carburant prend un débit important fournit par un galet doseur (FMV). Le carburant qui passe du HMU passe dans le débitmètre afin d'être comptabilisé. En fin dans l'injecteur pour qu'il soit pulvérisé dans la chambre de combustion pour être enflammé.

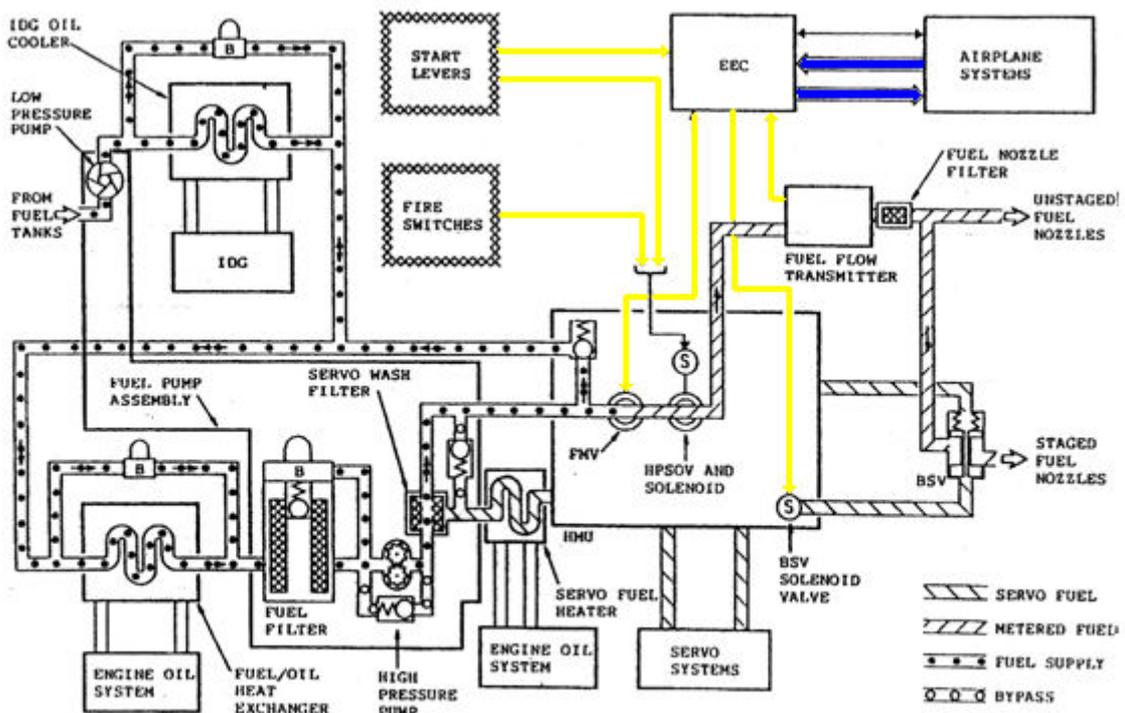


Figure (III-9) : Schéma descriptif du circuit carburant du moteur CFM 56-7B.

### III-3.5. La vanne de sélection d'injecteur (BSV) :

**III-3.5.1. Rôle et positionnement de la BSV :** Le système de la valve de sélection des injecteurs (BSV) est composé de :

- Unité électronique de contrôle moteur (EEC).
- Unité hydromécanique (HMU).
- La vanne de sélection d'injecteur (BSV).

Elle est attachée au dessous du moteur à la position 6 H00. La BSV est conçue à fin de réduire le débit carburant vers les vingt (20) injecteurs. Le moteur travaille toujours en mode normal avec seulement dix (10) injecteurs, c'est pourquoi la BSV a été conçue, pour que le moteur puisse travailler dans l'autre régime (Accélération, décélération).

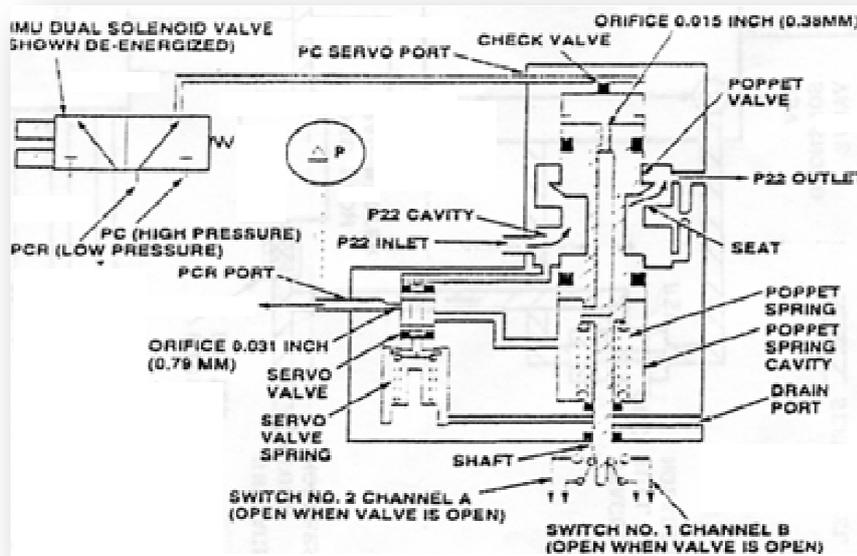


Figure (III-10) : Schéma représentatif de la BSV (Position ouverte de la valve).

**III-3.5.2. Fonctionnement de la BSV :**

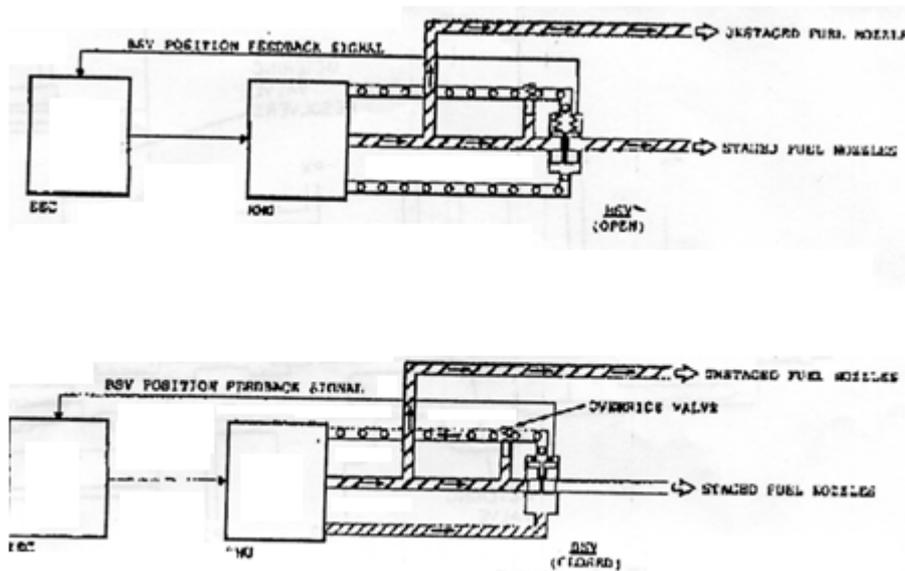
➤ **Vingt (20) injecteurs en opération :**

Dans ce cas, nous avons la pression (Pcr) alimentée dans la cavité supérieure de la BSV. Donc les deux extrémités par la pression (Pcr). Alors on aura :  $P_{cr} \times S_1 + F_r > P_{cr} \times S_2$ . Cela cause un mouvement du piston vers le haut, donc l’orifice P22 s’ouvre, alors le carburant passe aux injecteurs étagés.

➤ **Dix (10) injecteurs en opération :**

Pour fermer la valve un signal électrique est appliqué à solénoïde installé dans la HMU qui convertit à la pression hydraulique (Pc) appliqués à la cavité supérieur de la BSV. Dans ce cas on aura :

$P_{cr} \times S_1 + F_r < P_c \times s_2$ . Ce qui implique que le piston descend, alors l’orifice P22 se ferme donc le carburant ne passe pas aux injecteurs étagés. La position (Fail safe) de la vanne de sélection d’injecteurs (BSV) est l’ouverture.



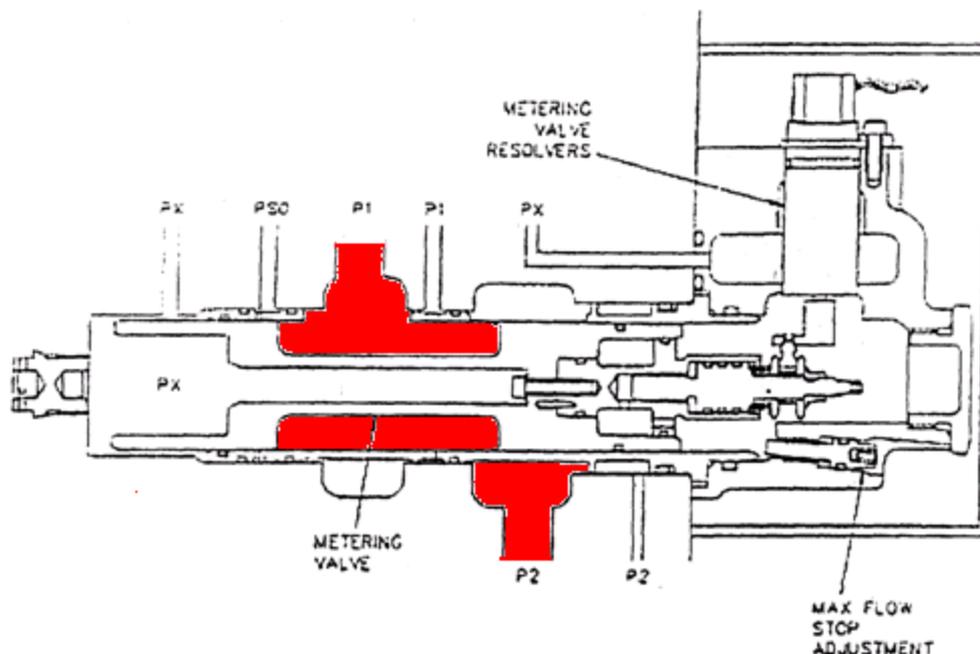
**Figure (III-11) : Distribution du carburant à la BSV.**

### III-3.6. Système de dosage carburant :

#### III-3.6.1. Le galet doseur carburant (FMV) :

Le galet doseur carburant positionne l'orifice pour l'alimentation de carburant dosé vers la vanne de mise en pression et d'arrêt. La position du galet doseur et l'ouverture de l'orifice est établit par la EHSV du galet doseur en fonction des commandes du EEC. Le galet doseur ouvre ou ferme l'orifice de la livraison du carburant dans le manchon du galet doseur. La pression ( $P_c$ ) est fournit à l'EHSV du galet doseur pour positionner le piston du galet doseur. La ( $P_x$ ) est fournit à travers l'EHSV du galet doseur à l'une ou l'autre extrémité du piston du galet doseur pour ouvrir ou fermé le galet doseur.

A la position neutre du piston, les forces sur les cotés opposés sont équilibrés. Alors le piston et le galet doseur ne fonctionnent pas. L'alimentation par l'orifice du carburant demandé est établie. Une butée mécanique limite la course maximum du piston. Cette butée est réglée durant le teste finale du HMU et le réglage pour établir un débit maximum du carburant d'alimentation par le galet doseur.



**Figure (III-12) : Le galet doseur carburant (FMV).**

L'EHSV de la FMV est un moteur couple qui fonctionne par une servo vanne. La EHSV contrôle la ( $P_x$ ) fournit aux extrémités du piston du galet doseur selon les commandes du EEC.

Quand une augmentation du débit carburant est demandée, l'EHSV du FMV réduit le débit de (Px) à l'extrémité de fermeture du piston du galet doseur.

- La (Px) réduite à l'extrémité de fermeture du piston change l'équilibre des forces qui maintiennent le piston à sa position neutre. La (Px) fournit à l'extrémité de l'ouverture du piston du galet doseur déplace le piston contre la (Px) réduite à l'extrémité de la fermeture du piston.
- Le mouvement du piston est dans le galet doseur dans la direction ouverte de la FMV. La section de l'orifice d'alimentation carburant régulée est augmentée.

Quand le débit carburant est demandé, l'EHSV augmente le débit de (Px) à l'extrémité de la fermeture du piston du galet doseur.

- La (Px) ajoutée fournie à l'extrémité de fermeture du piston du galet doseur déplace le piston contre la (Px) sur l'extrémité du piston.
- Le mouvement du piston est dans la direction fermée du galet doseur. La section de l'orifice d'alimentation du carburant demandé est diminuée.

Quand il y a une augmentation ou une diminution du débit carburant, le piston du galet doseur se déplace jusqu'à ce que les signaux du EEC que le débit carburant demandé est entrain d'alimenter le circuit. Ce signal positionne l'EHSV au neutre et les forces à l'ouverture et à la fermeture des cotés du piston de la FMV équilibre l'un et l'autre. A cette condition d'équilibre, le piston est à la position qui délivre le débit carburant demandé.

Deux résolveurs donnent des indications de la position du galet doseur et le débit carburant régulé du moteur aux canaux A et B du EEC. Les résolveurs sont commandés par une trenglerie à l'extrémité de la tige du piston de FMV. Le débit carburant régulé du moteur est une fonction directe de la position du galet doseur, pour n'importe quelle position il existe un débit de carburant correspondant.

Un résolveur du signal de retour de la position du galet doseur indique au EEC la quantité du carburant délivré au moteur. Ce signal de retour ferme la boucle d'asservissement pour l'EHSV.

Pendant l'accélération du moteur, le signal de retour empêche le dépassement du débit carburant demandé. Le signal de retour permet de réduire le signal de l'EHSV quand la demande du débit carburant

est atteint et indique au EEC quand le galet doseur est en position pour l'alimentation du débit demandé. Ceci permet au EEC d'annuler le signal augmenté du débit carburant. La pression dans le circuit d'arrêt du HMU est déterminée par la position de la FMV. La pression est alimentée à ce circuit à travers un orifice dans le galet doseur. L'orifice est ouvert ou fermé, tous cela dépend de la position de la FMV.

La pression dans le circuit d'arrêt dans le HMU est désignée par (Pso). La (Pso) est égale à (P1) durant l'arrêt du moteur.

Les composants dans le circuit d'arrêt dans la HMU sont une vanne de mise en pression et d'arrêt et la vanne d'arrêt. Durant l'arrêt du moteur, l'orifice dans le galet doseur est ouvert, la (P1) est fournit à travers cet orifice à la vanne solénoïde d'arrêt (AFSO).

- La vanne solénoïde (AFSO) délivre (P1) au coté du ressort de la vanne de mise en pression et d'arrêt et à l'extrémité du piston de la vanne.
- La (P1) appliquée au coté du ressort de la vanne de mise en pression et d'arrêt, déplace cette vanne à la position fermée.
- La (P1) appliquée sur le coté du piston de la vanne d'arrêt déplace cette vanne contre la force du ressort, pour changer la ventilation du manchon de la valve d'arrêt. Dans la condition de fonctionnement, la vanne d'arrêt ouvre un passage qui dirige (P2) vers les soufflets de la sonde. Dans la position fermeture, la ventilation est chargée pour diriger SOVX vers le coté P1P des soufflets de tête de la sonde.
- Le circuit d'arrêt de la HMU est alimenté en (P1) durant le démarrage initial du moteur et durant l'arrêt du moteur.

Durant le fonctionnement du moteur, l'orifice dans le galet doseur est fermé par le galet doseur, la pression (P1) est déplacée du circuit d'arrêt du HMU. La pression du circuit (Pso) abaissé à (Pcb) alimentée à travers la valve d'arrêt.

- La chute de (Pso), dans le coté de ressort de la vanne de mise en pression et d'arrêt à (Pcb) permettra l'ouverture de la vanne de mise en pression quand (P2) établie.
- Le déplacement de (P1) de la vanne d'arrêt permet à la force du ressort pour positionner la vanne et changer la ventilation dans le manchon de la vanne d'arrêt. SOVX est déplacé des soufflets de la tête de sonde et est remplacé par (P2p).

### III-3.6.2. Le clapet de décharge :

Le clapet de décharge fonctionne pour maintenir la pression différentielle du galet doseur ( $P1-P2$ ). Il fonctionne sur le flux de carburant entre l'entrée de carburant et le galet doseur. Le clapet de décharge renvoie le carburant qui est en plus des besoins du moteur vers la pompe inter-étage carburant. ( $Pb$ ) est la pression de retour créée par la pompe inter-étage carburant.

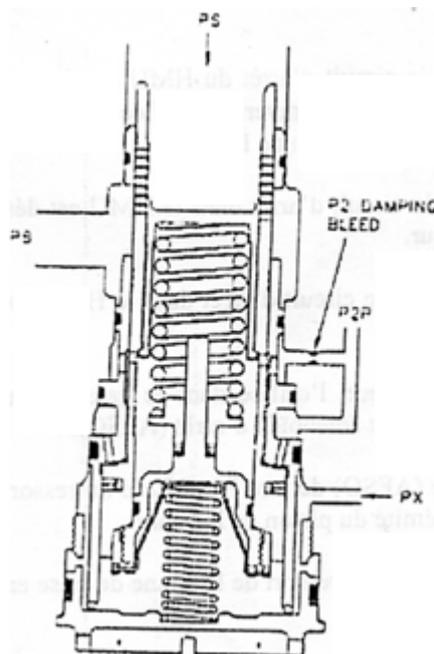


Figure (III-13) : Le clapet de décharge.

### III-3.7. Régulateur de survitesse (OSG) :

Le régulateur de sur vitesse (OSG) donne au moteur une protection dans le cas où le contrôle du moteur par le FADEC est perdu. Dans une telle condition, le régulateur limite la vitesse du moteur à une constante de 105.9%. Le réglage de survitesse est réalisé par un système de retour d'asservissement proportionnel et intégral qui réduit la chute de pression ( $P1-P2$ ) à travers le galet doseur en contrôlant la tête de sonde et le clapet de décharge. Ceci réduit le débit du carburant mesuré dans le moteur. Une masselotte positionne la vanne terroir de survitesse proportionnelle pour mesurer la vitesse du moteur. La

force de la masselotte est équilibrée aux ressorts de référence qui réduisent le mouvement de la vanne jusqu'à ce que deux points déclenchement distinct de la vitesse du moteur soient atteints.

Entre 0% et 40% de la vitesse du moteur, la force de la masselotte ne surpasse pas la force du petit ressort de référence, ainsi que le mouvement de la vanne terroir de survitesse est réduit.

- La  $P_{cb}$  ( $P_x$ ) est portée au coté de Switch de la vanne régulatrice.
- Puisque ( $P_{cr}$ ) est supérieur à ( $P_{cb}$ ), la vanne régulatrice est une pression chargée vers le Switch.

Entre 38% et 48% de la vitesse du moteur, la force de la masselotte surpasse la force du petit ressort de référence et la vanne terroir de survitesse bouge. La vanne terroir de survitesse continue de bouger jusqu'à ce qu'elle s'arrête sur le grand ressort de référence.

- Ce mouvement porté ( $P_c$ ) au coté de Switch de la vanne régulatrice, cette dernière se déplace puisque ( $P_c$ ) est plus haute que ( $P_{cr}$ ).
- La vanne régulatrice continue à bouger jusqu'à ce que la pression ( $P_c$ ) soit vidangée vers ( $P_{cb}$ ) à travers un orifice variable dans le manchon intégrateur. L'orifice variable fait abaisser la pression  $P_c$  ( $P_x$ ) à  $P_{cr}$  et la vanne régulatrice s'arrête.
- Le mouvement de la vanne régulatrice et l'aimant loin de switch de position change l'état de Switch. Ce signal est envoyé au EEC pour indiquer l'OSG.

A 105.9% de la vitesse du moteur, la force de la masselotte surpasse la grande force de référence et la vanne terroir de survitesse bouge. La ( $P_{2p}$ ) est portée à ( $P_{cb}$ ) en réduisant effectivement le signal ( $P_{2p}$ ) sur la tête de sonde et le clapet de décharge. Ceci le clapet de décharge qui réduit la chute de ( $P_1$ - $P_2$ ) à travers le galet doseur réduisant le débit régulé.

- Le mouvement de la vanne terroir de survitesse porte aussi un débit ( $P_c$ ) à la vanne régulatrice qui sature le prélèvement variable. Ceci permet à la vanne régulatrice de porter aussi ( $P_{2p}$ ) à ( $P_{cb}$ ).
- La réduction du débit carburant réduit la vitesse du moteur et la valve terroir de survitesse retourne à la position 105.9% (Position neutre).

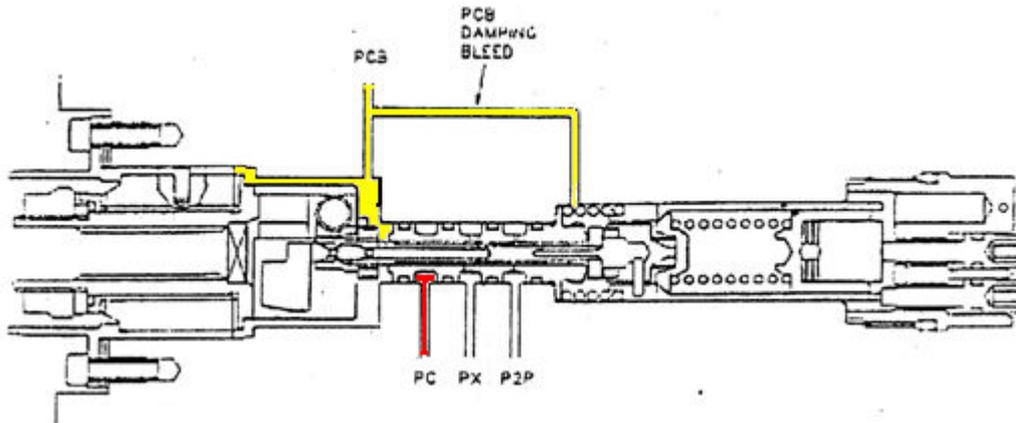


Figure (III-14) : La valve terroir du gouverneur de survitesse.

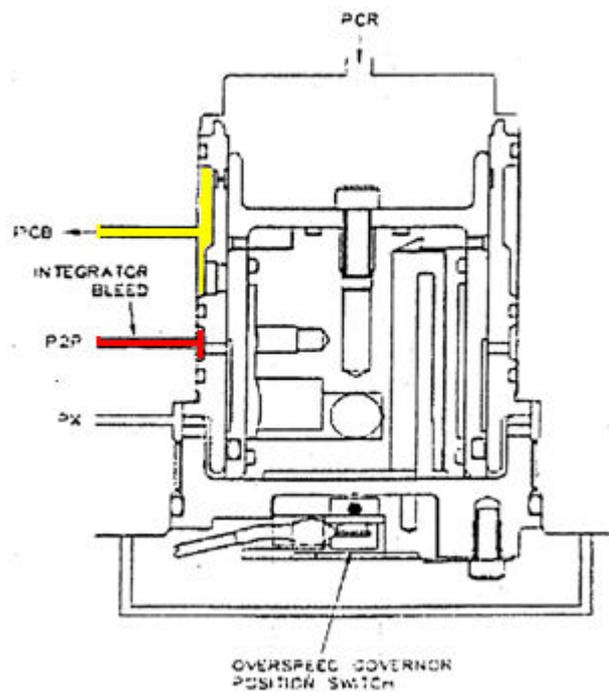


Figure (III-15) : Gouverneur de survitesse.

### III-4. Le circuit d'air :

Le système d'air permet de contrôler le jeu turbine entre l'attelage rotor et le carter ainsi que le contrôle de l'écoulement d'air dans le compresseur haute pression (HPC) et le compresseur basse

pression (LPC) afin de prévenir l'attelage compresseur du pompage et d'augmenter le rendement de la turbine pour assurer une diminution de la consommation spécifique du carburant. Il se compose de deux systèmes :

- Le système de contrôle anti-pompage : VBV, VSV, TBV.
- Le système de contrôle de jeu active : HPTACC, LPTACC.

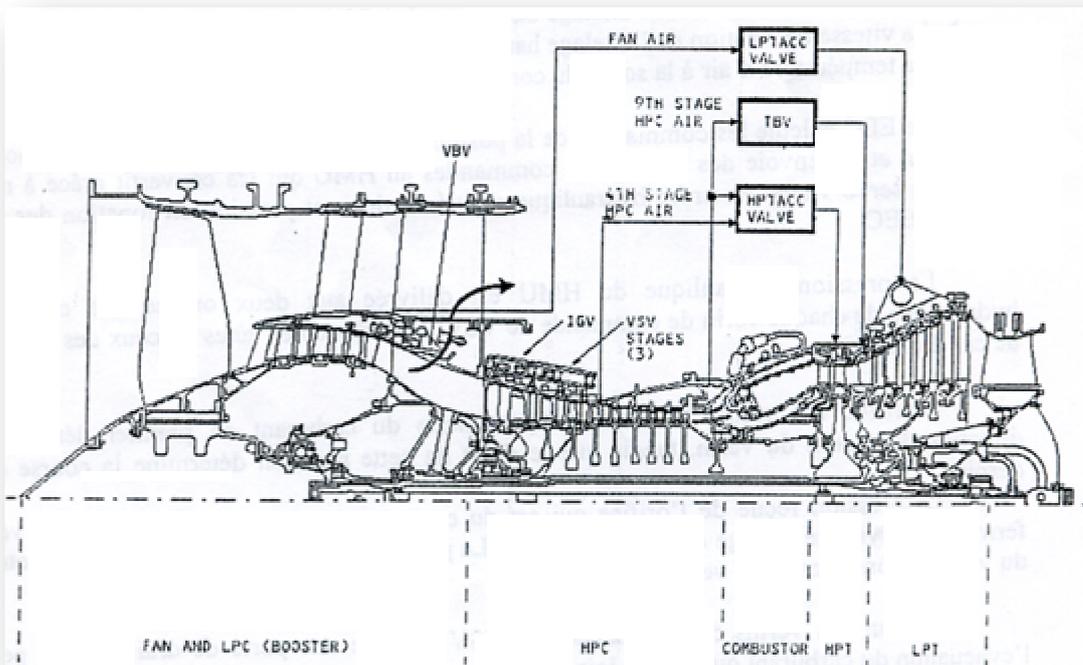


Figure (III-16) : Schéma général du circuit d'air.

#### III-4.1. Système de commande des stators à calage variable (VSV) :

Le système stator à calage variable (VSV) est un dispositif qui contrôle l'écoulement d'air du compresseur haute pression (HPC). Il offre un contrôle exacte de l'écoulement d'air à travers le compresseur haute pression (HPC) et ceux en dirigeant l'écoulement tout autour des profils des aubes dans tous modes de fonctionnement moteur, pour éviter le pompage ou bien d'offrir une marge pour ne pas rester en pompage.

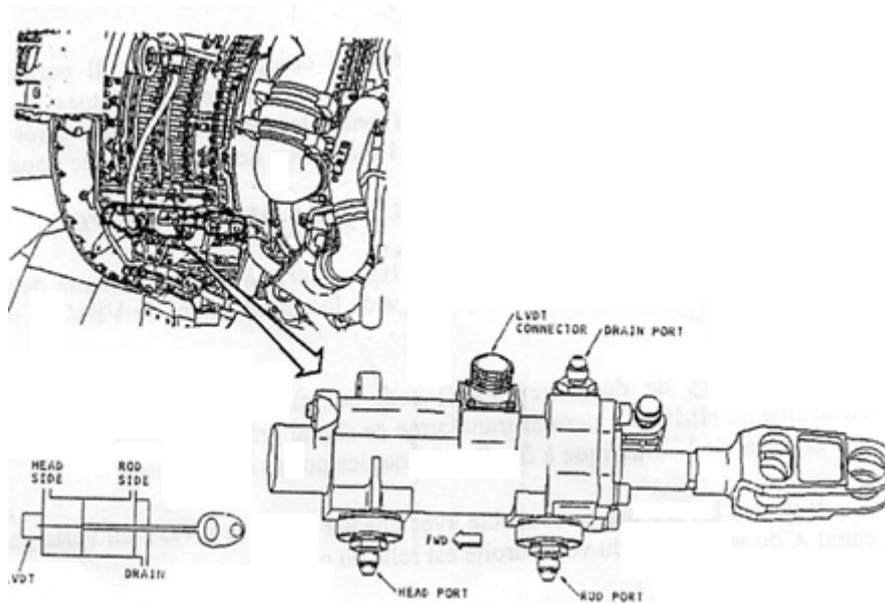
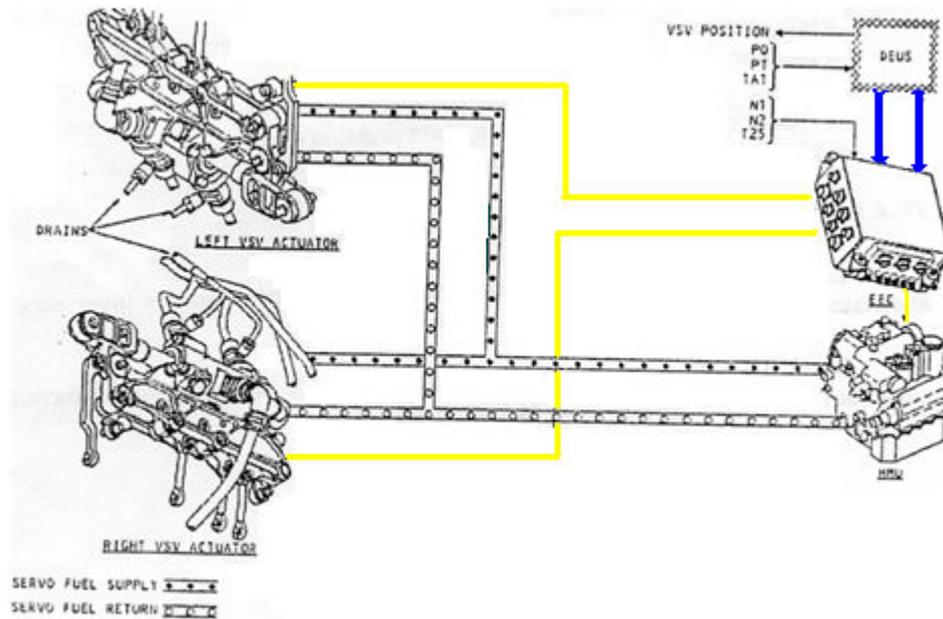


Figure (III-17) : Le vérin de commande du système VSV.

#### III-4.1.1. Mode de fonctionnement :

L'EEC utilise les données ci-dessus pour calculer la position des stators à calage variables :

- La température totale de l'air (TAT).
- La pression d'air totale (PT).
- La pression d'air statique d'avion (P0).
- La vitesse de rotation de l'attelage basse pression (N1).
- La vitesse de rotation de l'attelage haute pression (N2).
- La température d'air à la sortie du compresseur haute pression (T25).



**Figure (III-18) : Représentation du fonctionnement du système VSV.**

L'EEC calcule les commandes de la pression des (VSV) suivant les données du moteur et de l'avion et les renvoie en des signaux de commandes au HMU qui les convertit grâce au moteur couple et servo vanne en ordre hydraulique régulé en débit et pression en fonction des ordres reçus du EEC. La pression hydraulique du HMU est délivrée aux deux orifices de connections hydraulique de chaque vérin de commande de (VSV), ceux des cotés têtes ou ceux des cotés tiges de ces derniers. L'orifice qui reçoit la pression hydraulique du carburant en premier détermine la direction du piston du vérin, alors que le débit de cette pression détermine la course de ce dernier. La pression reçue de l'orifice qui est du coté tête du vérin actionne les (VSV) vers la fermeture suivant le réglage de position voulue. La pression reçue de l'orifice qui est du coté tige du vérin actionne les (VSV) vers l'ouverture. Chacun des vérins de commande des (VSV) possède une porte de drainage qui permet l'évacuation du carburant qui fuit du joint de la tige.

Le (LVDT) du vérin gauche est connecté au canal (A) du EEC et le (LVDT) du vérin droit est connecté au canal (B) du EEC, leur rôle consiste à transmettre la position des (VSV) au EEC.

Dans le régime bas (Régime ralenti 61%), les (VSV) contribuent à réduire le débit d'air à l'entrée du compresseur haute pression (HPC) et ceux en ce mettant en position fermée. Les vérins des (VSV) actionnent les vannes en position plus ouverte quand (N2) augmente. Les (VSV) reviennent

graduellement à leur position fermé quant le nombre de tours N2 diminue jusqu'au régime ralenti. La position des (VSV) est également modifier lors de l'utilisation des inverseurs de poussée.

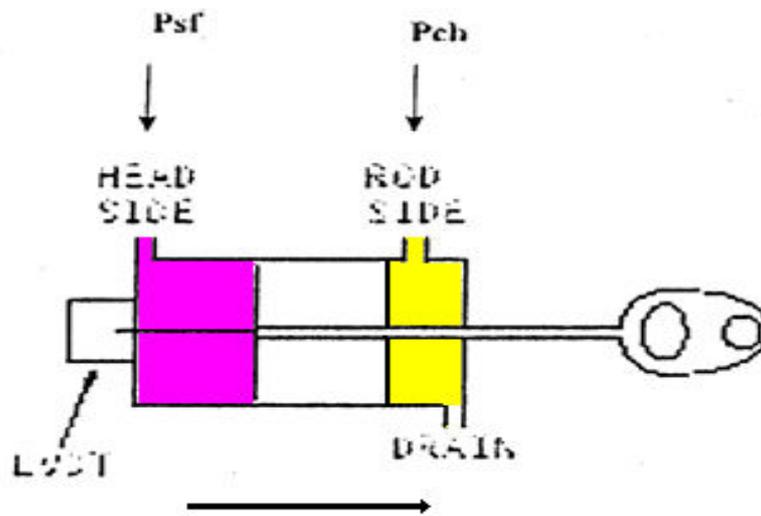


Figure (III-19) : La position ouverte du vérin VSV.

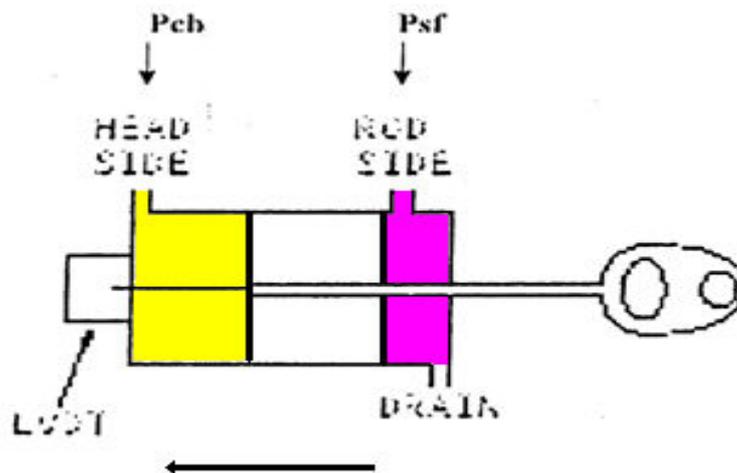


Figure (III-20) : La position fermée du vérin VSV.

### III-4.2. Le système du variable bleed valve « VBV » :

Ce mécanisme est disposé en arrière du compresseur basse pression (LPC). Le système de vanne de décharge (Variable Bleed Valve) permet de contrôler l'écoulement de l'air dans le compresseur basse pression « Booster » afin d'assurer les caractéristiques optimale pour une bonne compression et d'éviter les risques de pompage. Le vérin de commande (VBV) est de type « Vérin à piston », ce système se constitue de deux (02) actuators hydrauliques, coté tige et coté tête.

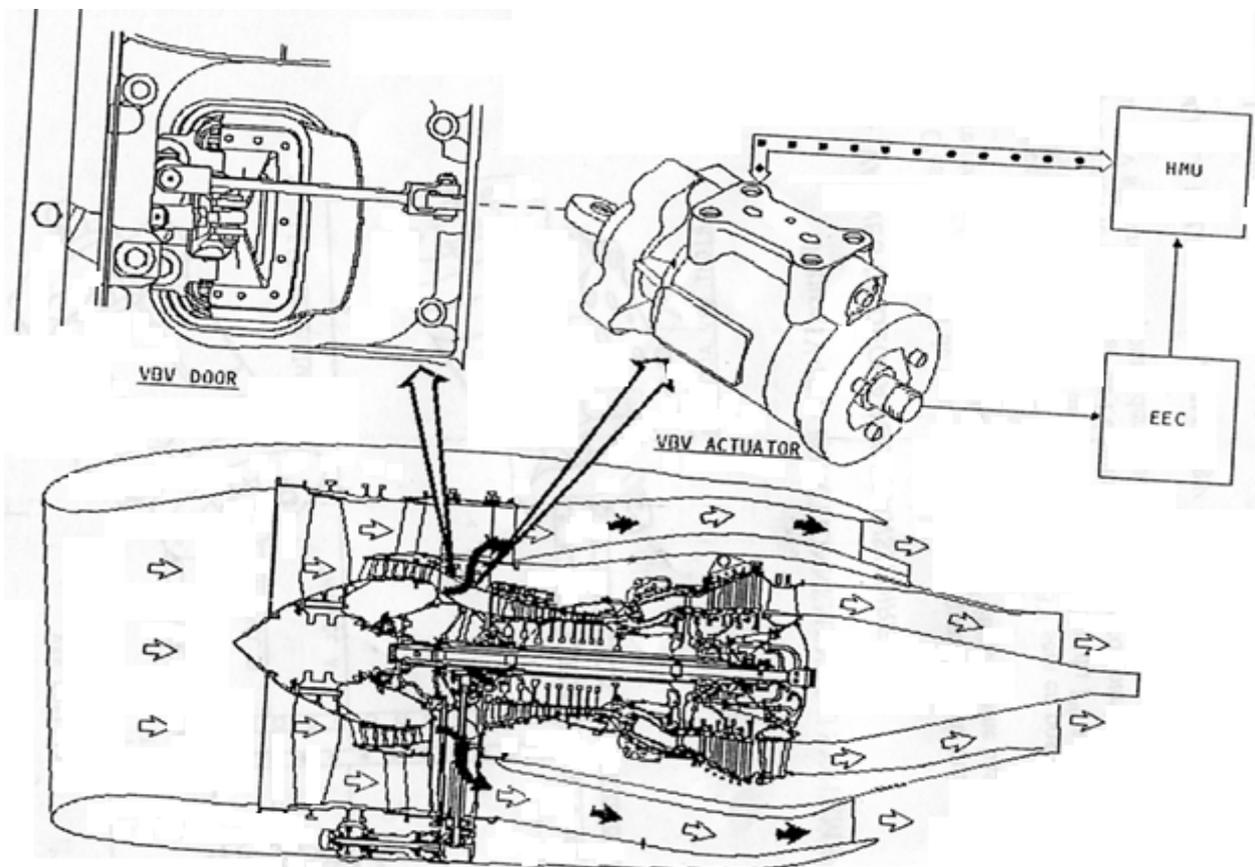


Figure (III-21) : Représentation des vannes de décharge (VBV).

### III-4.2.1. Mode de fonctionnement de la vanne de décharge (VBV) :

L'EEC utilise les données suivantes pour calculer la position des vannes de décharge :

- La pression d'air statique ambiante (P0).
- La pression d'air total de l'avion (PT).
- La température d'air total de l'avion (TAT).
- La température d'air à la sortie du compresseur haute pression (T25).
- La position des VSV.
- La vitesse de rotation de l'attelage basse pression (N1).
- La vitesse de rotation de l'attelage haute pression (N2).
- La résolution d'angle des reverses (TRA).

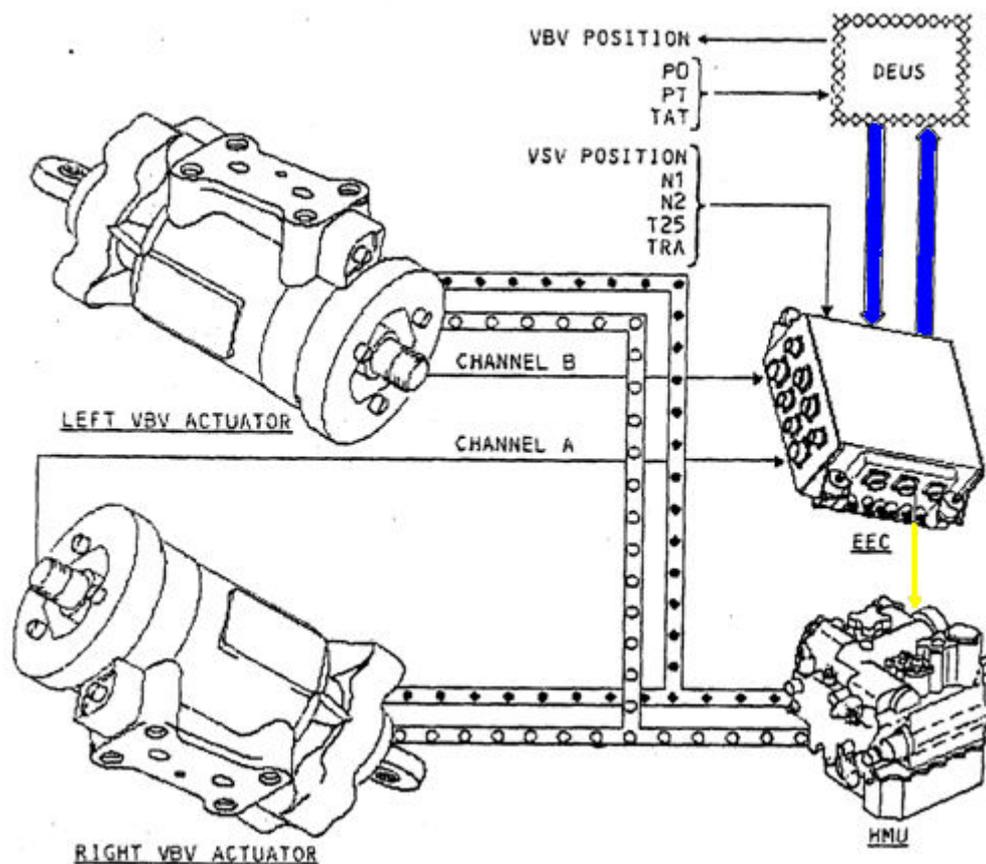


Figure (III-22) : Fonctionnement du système VBV.

Les vannes de décharge (VBV) sont commandés par l’EEC qui envoi un signal électrique au HMU. Ce dernier transforme ce signal grâce à un moteur couple et servo vanne en une commande hydraulique à fin d’actionner les portes de décharge. Le (LVDT) du vérin gauche est relié au canal (A) du EEC celui du vérin droit est relié au canal (B), assurant la transmission de la nouvelle position des deux vérins vers l’EEC.

Les (VBV) sont complètement ouvertes lors de l’opération des inverseurs de poussée en atterrissage et durant une décélération rapide. Les (VBV) sont en position fermer quand les (VSV) sont en position ouverte, c'est-à-dire quand la vitesse (N2) atteint 80% de sa vitesse maximale.

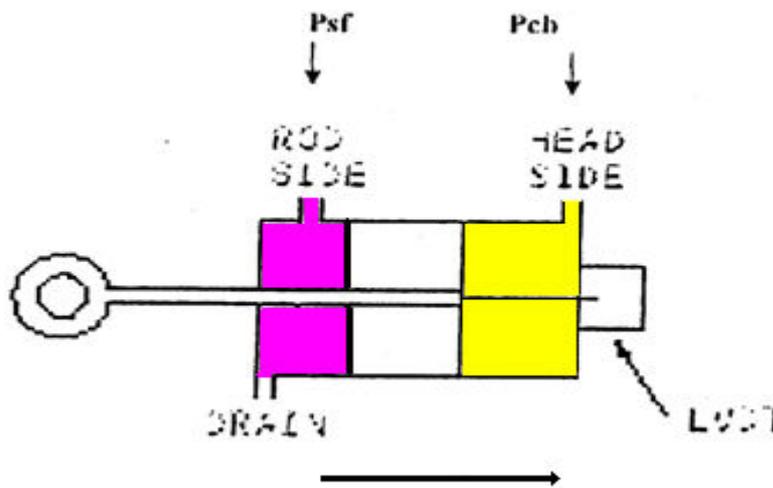


Figure (III-23) : La position ouverte de la vanne VBV.

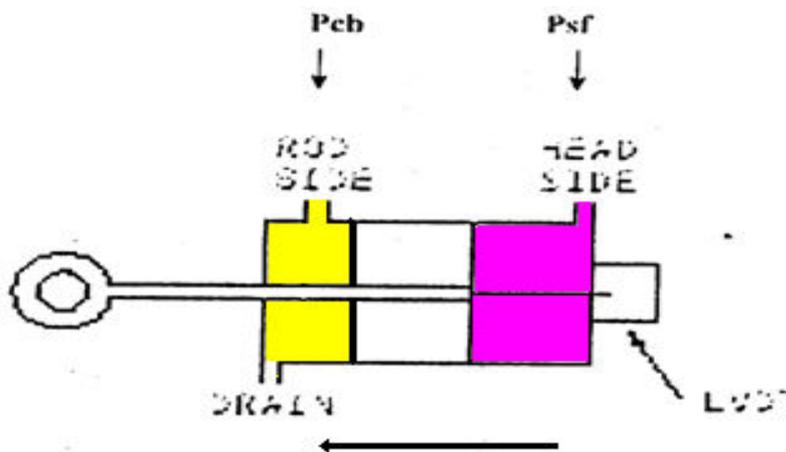


Figure (III-24) : La position fermée de la vanne VBV.

### III-4.3. La vanne de décharge transitoire (TBV) :

C'est un dispositif de vanne qui contrôle la quantité d'air qui sera soutirée du 9<sup>ème</sup> étage pour être renvoyé au distributeur (Aube stator) du 1<sup>er</sup> étage turbine basse pression. Le vérin de la (TBV) est du type « Vérin à piston », munie de deux connections hydraulique, coté tête et coté tige. A ce moment là et pendant le démarrage, la (TBV) sera en position ouverte pour permettre à l'air sous pression du 9<sup>ème</sup> étage de passer au distributeur du 1<sup>er</sup> étage turbine basse pression (LPT), ceci pour éviter le décrochage de l'écoulement dans le compartiment haute pression (HPT). D'autre part la (TBV) s'ouvre aussi pour aider à l'accélération rapide du rotor (N2).

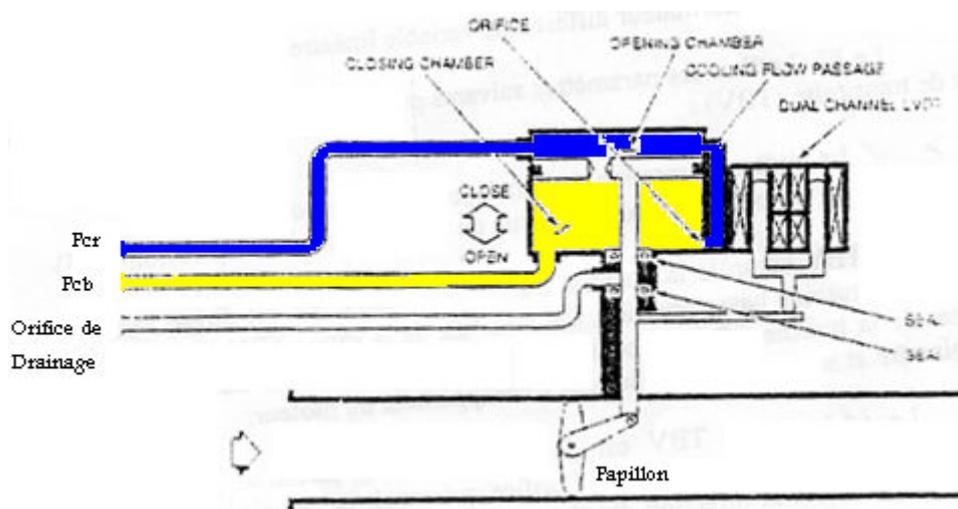


Figure (III-25) : La vanne de décharge transitoire (TBV).

La valve de décharge Contient les composants suivants :

- Un ensemble du corps de la valve.
- ➔ Un ensemble du carter de vérin.

L'ensemble du corps de la valve à :

- Un corps de la valve.
- Une plaque à papillon et tringleriez de vérin.
- Un indicateur de position.

L'ensemble du carter vérin à :

- Une tringleriez de vérin.
- Un piston.
- Un transformateur différentiel variable linéaire (LVDT).

L'orifice qui reçoit la pression hydraulique du carburant en premier détermine la direction du piston, la (TBV) soit complètement ouverte ou complètement fermer, donc le débit de pression est toujours constant.

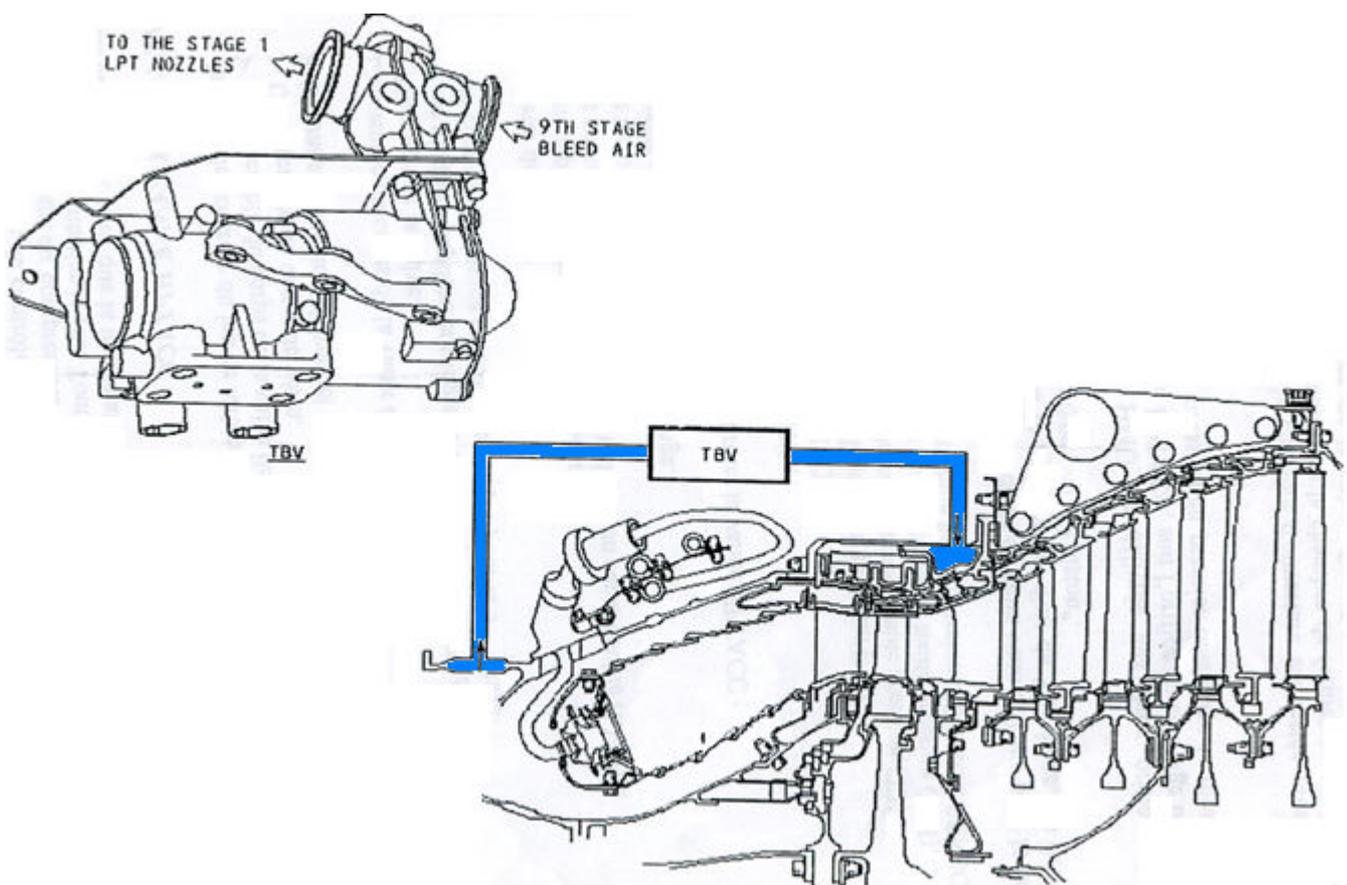
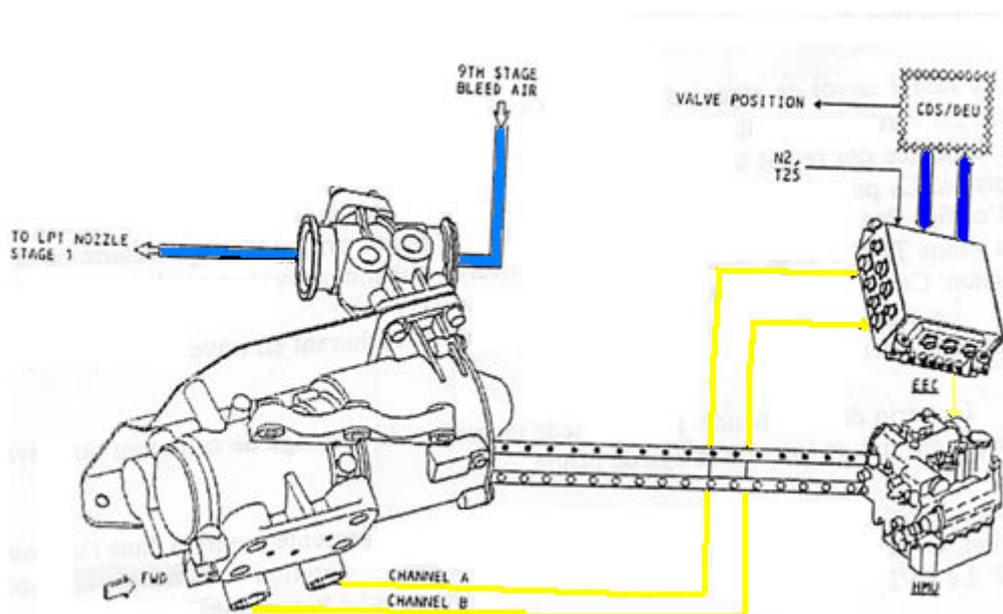


Figure (III-26) : Représentation de la vanne de décharge transitoire (TBV).

### III-4.3.1. Mode de fonctionnement :

L'EEC utilise les paramètres suivants pour contrôler la position de la vanne de décharge et de la vanne transitoire (TBV) :

- La vitesse de rotation de l'attelage haut pression (N2).
- La température d'air à la sortie du compresseur haute pression (T25).



**Figure (III-27) : Fonctionnement du système TBV.**

La (TBV) contrôle la quantité d'air du 9<sup>ème</sup> étage qui est dirigé vers le distributeur du 1<sup>er</sup> étage de la turbine basse pression. Cet air coule dans la vanne (TBV) à travers la tuyère (TBV) vers le carter de la turbine basse pression (LPT) pour passer enfin à travers des trous dans la sortie du 1<sup>er</sup> étage de la turbine basse pression (LPT) et se mélange avec les gaz d'échappement du moteur. L'orifice qui reçoit la pression hydraulique du carburant en premier détermine la direction du piston, la (TBV) soit complètement ouverte ou complètement fermée, donc le débit de pression est toujours constant. La (TBV) est commandée par l'EEC qui envoie un signal électrique au couple moteur (TM). Ce dernier transforme ce signal en une commande hydraulique. Le HMU envoie ce signal de commande aux deux orifices de

connections hydrauliques du piston du vérin de commande de la vanne (TBV), soit l'orifice du coté tête ou l'orifice du coté tige.

L'orifice qui reçoit la pression hydraulique du carburant en premier détermine la direction du piston. La pression du carburant pour la chambre d'ouverture est tenue relativement constante par l'orifice ( $P_{cr}$ ). On variant la pression du carburant pour l'orifice ( $P_{cb}$ ) qui détermine la position de la vanne (TBV) à deux positions (Fermée/Ouverte) qui sont provoqués par la sortie ou rétraction du piston. Ce dernier est lié au papillon de la vanne (TBV). Le piston incorpore un orifice pour le débit du carburant à travers le piston qui fournit le refroidissement pour le vérin.

Le vérin de commande (TBV) possède un orifice de drainage de carburant pour évacuer le carburant qui fuit du joint de la tige du piston.

La position du vérin pendant que le piston est mouvementé (Course) dans l'une ou l'autre direction, la position de la valve est traduite par l'arbre du papillon et la tringleriez associée au (LVDT). Le (LVDT) transmet un signal au EEC qui correspond à la position du papillon.

Durant la séquence du démarrage, la vanne de décharge est en position ouverte et se ferme quand la vitesse de rectification de (N2) est en ralenti. Pendant la phase d'accélération, la (TBV) s'ouvre quand la vitesse de rectification (N2) est entre la vitesse au ralenti et celle de l'approximation de (76%) de la vitesse maximum de (N2). La (TBV) se ferme quand la vitesse de rectification de (N2) est entre (76%) et (80%) de sa rotation maximal, et quand la vitesse de (N2) est supérieure à (80%), la (TBV) est fermée aussi durant les phases d'accélération du moteur.

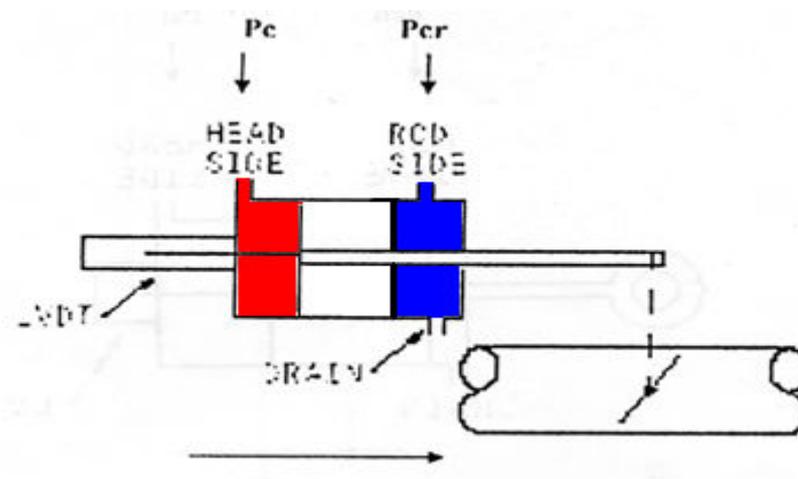


Figure (III-28) : La position ouverte de la vanne TBV.

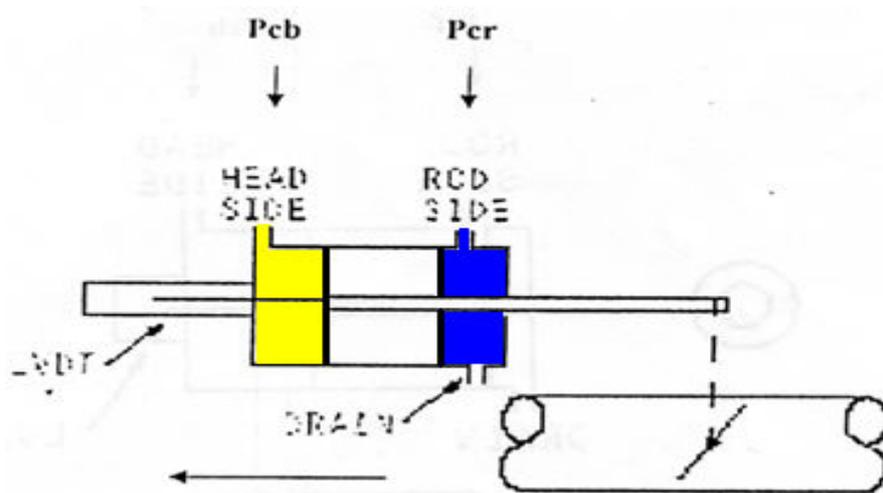


Figure (III-29) : La position fermée de la vanne TBV.

#### III-4.4. Système de contrôle actif du jeu turbine haute pression (HPTACC) :

Le système de contrôle du jeu turbine haute pression contrôle la quantité d'air prélevé du 4<sup>ème</sup> et 9<sup>ème</sup> étage du compresseur haute pression et renvoyé vers le carter de la turbine haute pression pour contrôler le jeu. Tout ça est dans le but de réduire la consommation spécifique du carburant (SFC), ainsi que la température des gaz sortie (EGT). La vanne (HPTACC) se constitue de deux (02) vannes, l'une pour le prélèvement du flux d'air du 4<sup>ème</sup> étage et l'autre pour le prélèvement d'air du 9<sup>ème</sup> étage. Les deux vannes sont actionnées par un seul vérin qui est de type « vérin à piston ».

La valve de contrôle du jeu turbine haute pression se compose de :

- Un ensemble du corps de la valve du 4<sup>ème</sup> étage.
- Un ensemble du carter de vérin.
- Un transformateur différentiel variable linéaire (LVDT) à canal double.

L'ensemble du corps de la valve se compose de :

- Un corps de la valve.
- Une plaque à papillon et tringlerie du vérin pour le 4<sup>ème</sup> étage.
- Un élément de dosage cylindrique sculpté pour le 9<sup>ème</sup> étage.

Le carter de vérin se constitue de :

- Vérin à piston actionné hydrauliquement.
- Un Switch d'indication de piston utilisant un canal double (LVDT).
- Un terroir à engrenage.
- Un ressort de fermeture de 4<sup>ème</sup> étage.

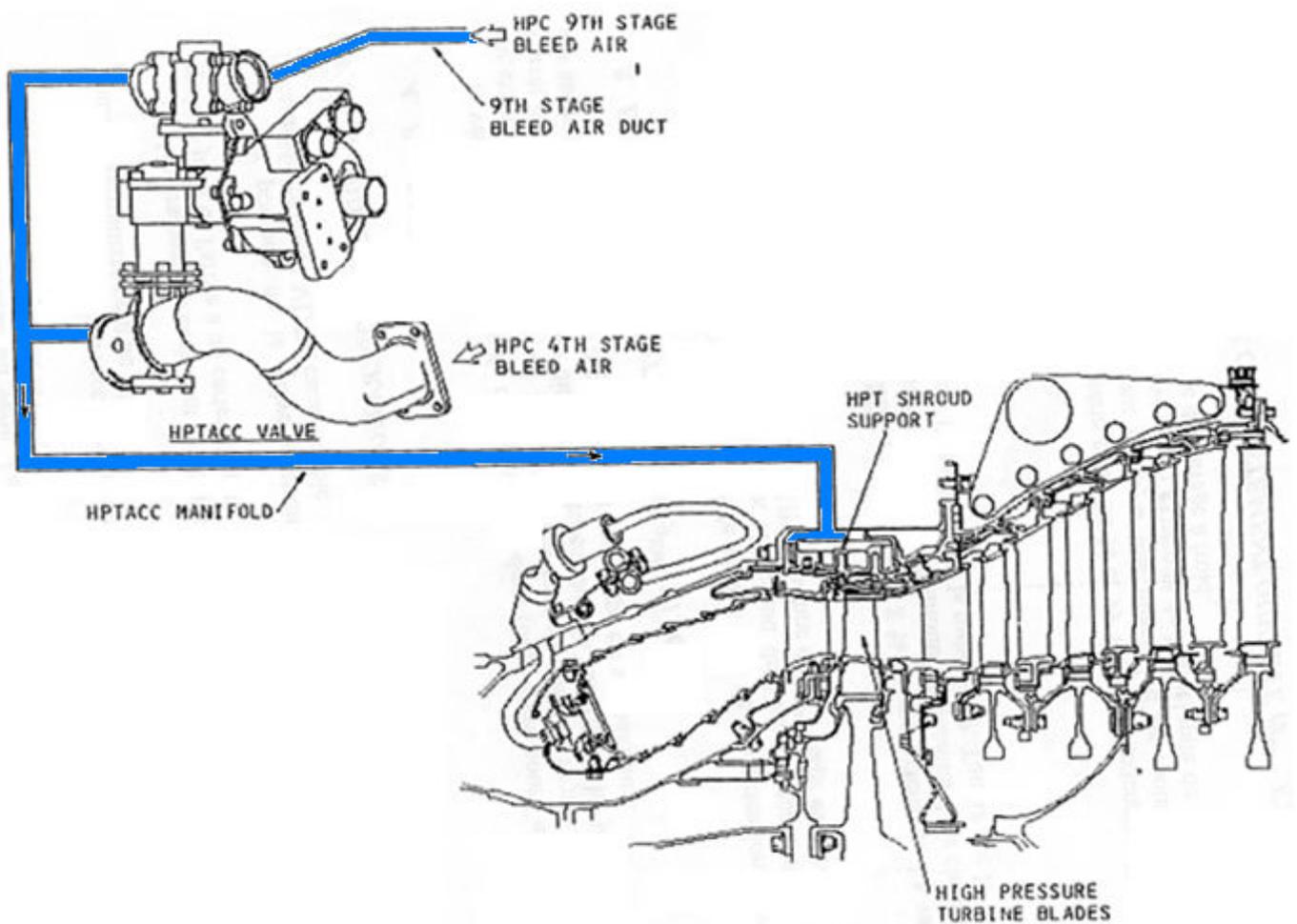


Figure (III-30) : Représentation du contrôle de jeu turbine haute pression (HPTACC).

### **III-4.4.1. Mode de fonctionnement :**

L'EEC utilise ces données pour contrôler la vanne (HPTACC) :

- La pression de l'air statique (P0).
- La température de l'air total (TAT).
- La vitesse de rotation de l'attelage haute pression (N2).
- La température du 9<sup>ème</sup> étage du compresseur haute pression (T3).
- La température d'air à la sortie du compresseur haute pression (T25).
- La température du carter de la turbine haute pression (HPTACC SENSOR).

La pression hydraulique du HMU est délivrée aux deux orifices de connections hydraulique du vérin de commande de (HPTACC), soit l'orifice du coté tige ou celui du coté tête de ce dernier. L'orifice qui reçoit la pression en premier détermine la direction du piston du vérin.

La pression d'alimentation à la chambre d'ouverture est restée presque constante par l'orifice (Pcr). Un changement de pression dans la chambre de fermeture par l'orifice (Phptc) fera changer la position des composantes de la valve. Quand la pression (Pcr) augmente du coté d'ouverture du piston et la force est plus que la pression (Phptc) et le ressort, le piston se déplace vers la direction Ouverte. Quand la pression (Pcr) diminue ou la pression (Phptc) augmente, le piston se déplace vers la direction Fermée.

Le vérin du piston actionne un terroir à engrenage qui entraîne un pignon relié à un arbre pour le 4<sup>ème</sup> et le 9<sup>ème</sup> étage. Le pignon et l'arbre du 9<sup>ème</sup> étage tourne (100°degrés) du 0 à 100% de la course du vérin. Le pignon et l'arbre du 4<sup>ème</sup> étage incluent un système de mouvement perdu. Comme la course du vérin se déplace vers la position ouverte. Le piston du vérin incorpore un orifice pour le débit du carburant à travers le piston, qui donne le refroidissement au vérin. Un drainage de carburant est fourni pour l'acheminement de n'importe quelle fuite liquide après le joint de l'arbre à un carter éloigné.

La position de la valve est contrôlée par l'unité de contrôle électronique (EEC) par l'intermédiaire d'un (LVDT) à canal double.

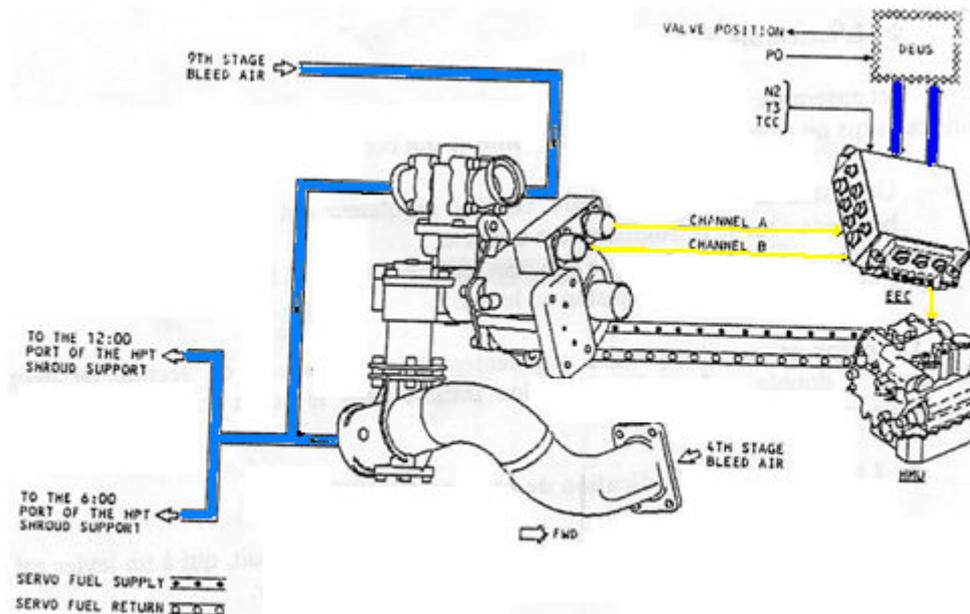


Figure (III-31) : Fonctionnement du système HPTACC.

### Pas d'air :

Le vérin (HPTACC) possède respectivement deux (02) valves pour l'air du 4<sup>ème</sup> et 9<sup>ème</sup> étage du compresseur haute pression (HPC), les vannes sont en position fermée. Ce qui correspond à l'arrêt du moteur ou il y a un dysfonctionnement du (EEC) ou HMU. Le jeu entre les extrémités des aubes de la turbine haute pression et leur enveloppe est au maximum.

#### A. Ecoulement haut et bas du 9<sup>ème</sup> étage :

- **Écoulement haut :** L'EEC met le vérin à 37% de son extension, la vanne du 9<sup>ème</sup> étage est complètement ouverte, le flux haute pression chaud de l'air est entièrement envoyé vers l'enveloppe de turbine haute pression (HPT). La vanne du 4<sup>ème</sup> étage est fermée. Dans ce cas on a les jeux qui sont au maximum.
- **Écoulement bas :** L'EEC met le vérin à 8% de son extension. La valve du 9<sup>ème</sup> étage n'est pas complètement ouverte. Donc il y a moins de quantité d'air chaude provenant du 9<sup>ème</sup>

étage qui est envoyée vers l'enveloppe de la turbine haute pression (HPT). Tandis que la valve du 4<sup>ème</sup> étage est en position fermée.

**B. Valve du 4<sup>ème</sup> étage complètement ouverte (9<sup>ème</sup> étage fermée) :**

Le vérin est à 100% de son extension. L'air provenant du 4<sup>ème</sup> étage est moins chaud que celui du 9<sup>ème</sup> étage. Donc il donne un refroidissement maximum à l'enveloppe de la turbine haute pression (HPT), le jeu est au Minimum. On utilise cet état de croisière pour minimiser la consommation du carburant.

**C. Ecoulement mixte :** L'EEC calcule la position du vérin entre 38% et 99% de son extension. Dans ce cas, la vanne du 4<sup>ème</sup> est utilisée pour renvoyer une quantité d'air moins chaude pour être mélangé à celle du 9<sup>ème</sup> étage et renvoyer ce dernier à l'extrémité de l'enveloppe de la turbine haute pression (HPT). Cette disposition est utilisée dans le cas ou du démarrage à froid.

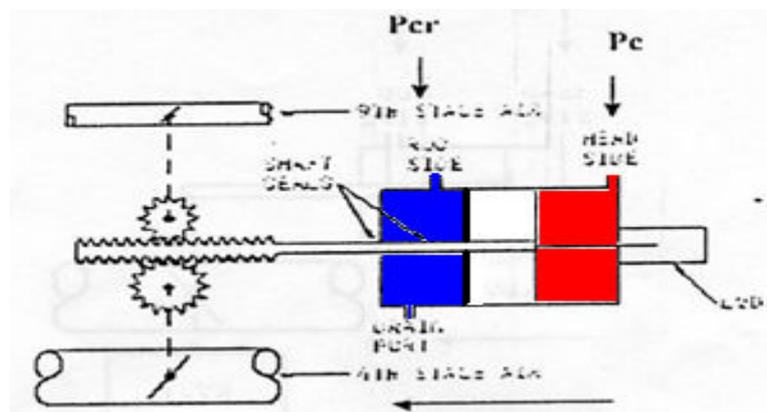


Figure (III-32) : La position ouverte de la vanne HPTACC.

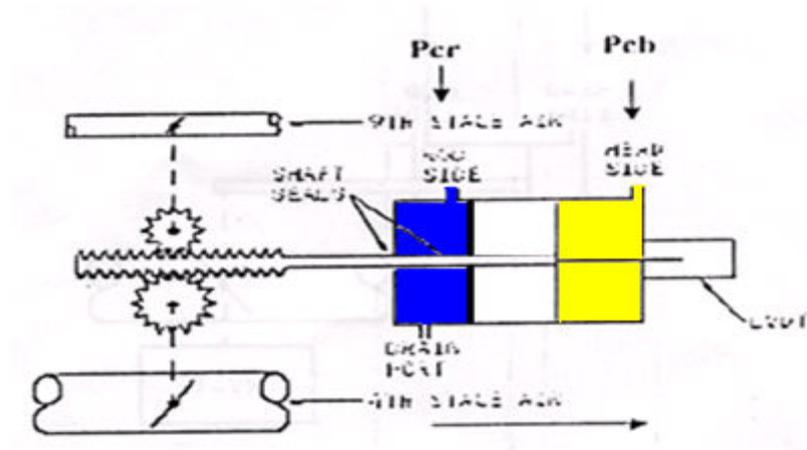


Figure (III-33) : La position fermée de la vanne HPTACC.

#### **III-4.5. Système de contrôle actif du jeu turbine basse pression (LPTACC) :**

Le système de contrôle du jeu de turbine basse pression (LPTACC) contrôle la quantité d'air prélevée du flux secondaire du fan qui est dirigé vers le carter de la turbine basse pression (LPT) pour contrôler le jeu. Ceci à travers la vanne (LPTACC).

La vanne de la (LPTACC) se compose de trois assemblés principaux :

- Un ensemble du débit d'air.
- Un ensemble de contrôle.
- Un ensemble de position de l'indication.

##### ➔ **L'ensemble de débit d'air :**

Cet ensemble inclut une enveloppe qui contient un arbre avec un papillon du débit d'air. Cet arbre à une agrafe et un ressort de rappel dont l'une de ses extrémités est attachée par des revêtes et actionne l'indicateur de position. Un levier est installé dans l'autre extrémité. Ce levier actionne l'arbre quand la pression est appliquée à l'ensemble du piston.

A une de ses extrémités, ce levier à un hexagone qui est utilisé pour actionner l'arbre manuellement. Egalement deux (02) arrêts pour garder la position de la valve (LPTACC) dans son intervalle de rotation.

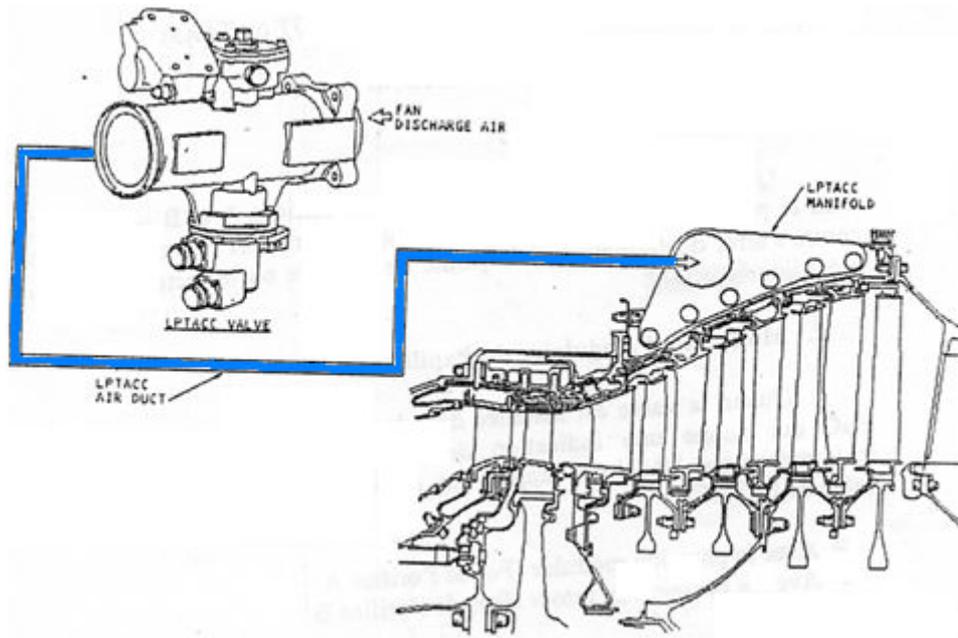


Figure (III-34) : Représentation du système LPTACC.

➤ **L'ensemble de contrôle :**

Cet ensemble inclut un corps dont la base contient des orifices d'admission et de drainage. Dans ce corps on trouve un ensemble de contrôle qui contient :

- Un piston attaché à une bielle.
- Un trou régulateur qui permet au carburant de circuler dans le bon sens pour le refroidissement correcte.
- Un roulement pour obtenir un épousement de la valve et le guide du piston.
- Une bielle, qui connecte le piston au levier.

Le corps et ses composants augmentent la différentielle de section de deux vérins hydraulique à double actions. Un mamelon installé dans le corps collecte le fluide de fuite hydraulique interne (Le drainage).

➤ L'ensemble de l'indication de position (RVDT) :

Un transformateur différentiel variable rotatif à double circuit, qui à un levier attaché à l'enveloppe, ce levier transmet le mouvement de l'arbre au capteur.

### III-4.5.1. Mode de fonctionnement :

L'EEC utilise les données pour contrôler la (LPTACC) valve :

- La pression d'air total (PT).
- La pression d'air statique (P0).
- La température d'air total (TAT).
- La vitesse de rotation de l'attelage basse pression (N1).
- La température des gaz d'échappement (EGT ou T49.5).

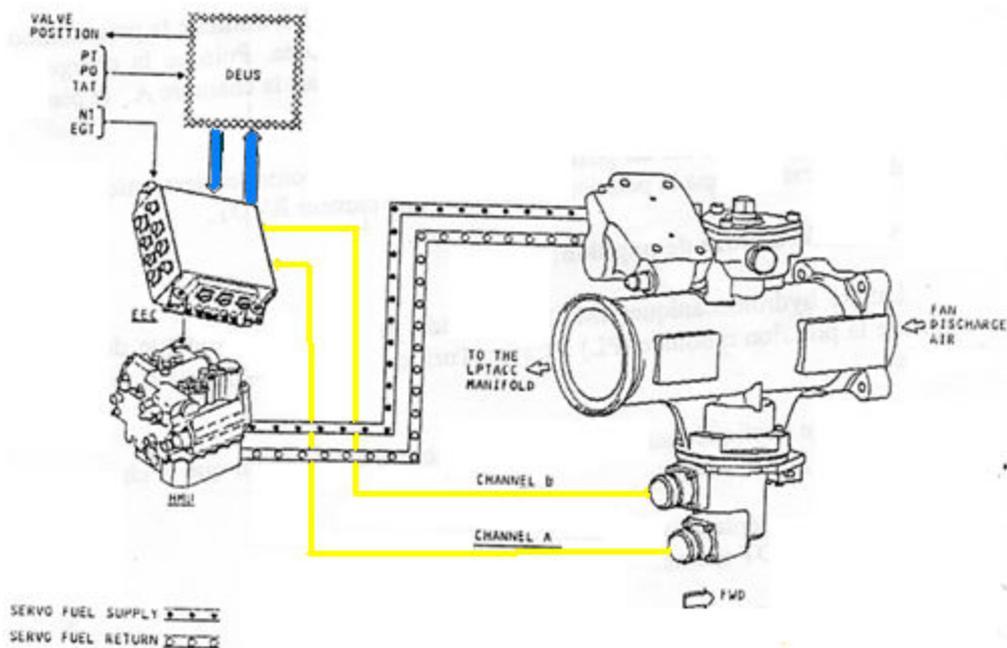


Figure (III-35) : Fonctionnement du système LPTACC.

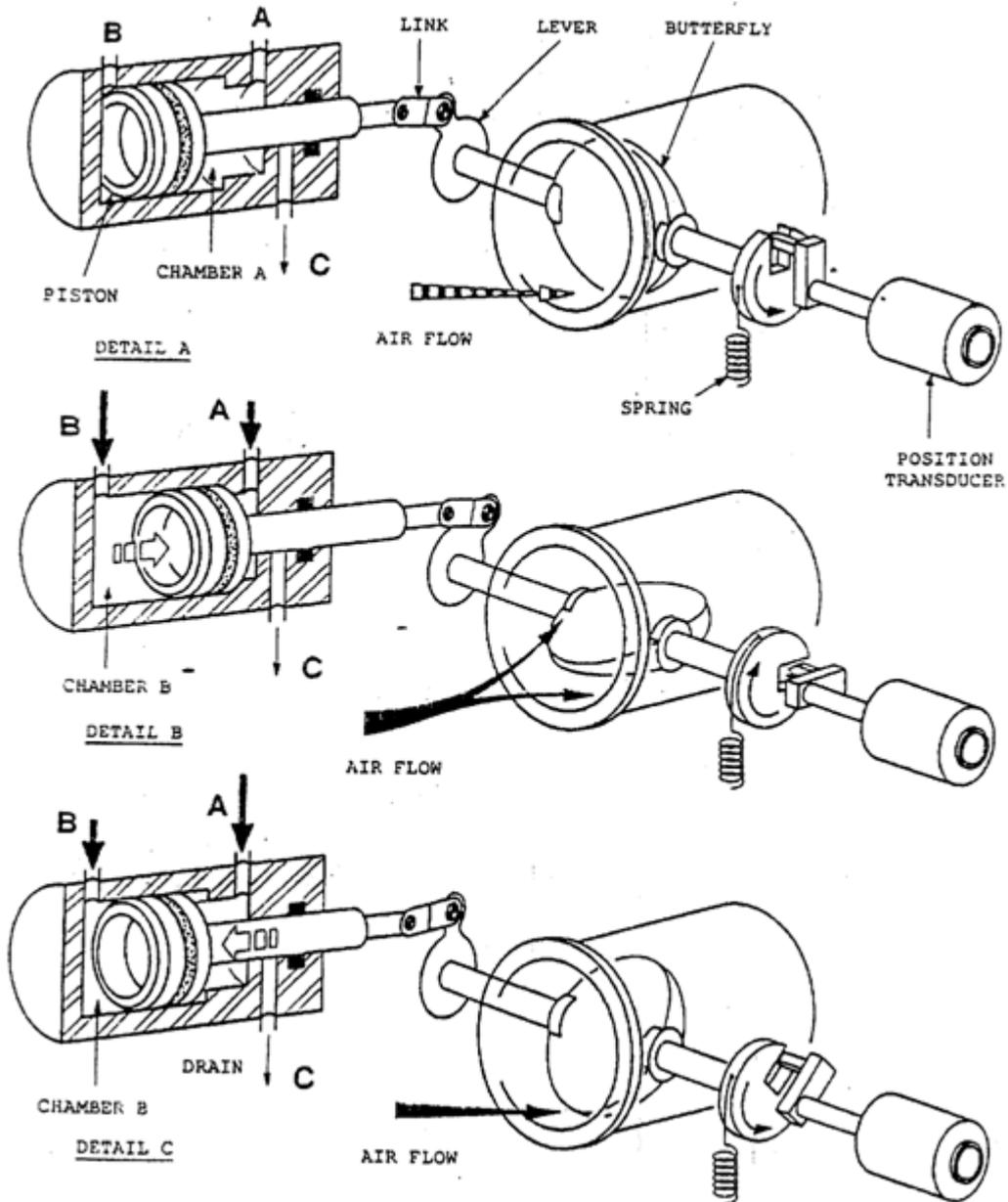


Figure (III-36) : Fonctionnement de la valve LPTACC.

**III.4.5.1.a Position de fermeture :**

Quand les pressions hydrauliques aux orifices (A) et (B) sont nulles, un ressort de rappel tient le papillon contre l'arrêt de fermeture. Ce ressort de rappel déplace l'arrière du papillon contre l'arrêt de fermeture si une panne de contrôle ou le facteur hydraulique de l'entraînement mécanique survient.

### III-4.5.1.b. Mouvement angulaire du papillon :

Quand la valve est installée dans le moteur, le capteur de (RVDT) transmet un signal au EEC qui donne une indication du position, l'EEC commande l'unité hydromécanique (HMU) par rapport aux données obtenues. L'unité hydromécanique alimente la valve de (LPTACC).

- Avec la pression modulée ( $P_c$ ) de l'orifice (A).
- Avec la pression de retour ( $P_{cr}$ ) de l'orifice (B).

Des fuites sont drainées par canalisation entre l'orifice (C) et le mamelon de drainage.

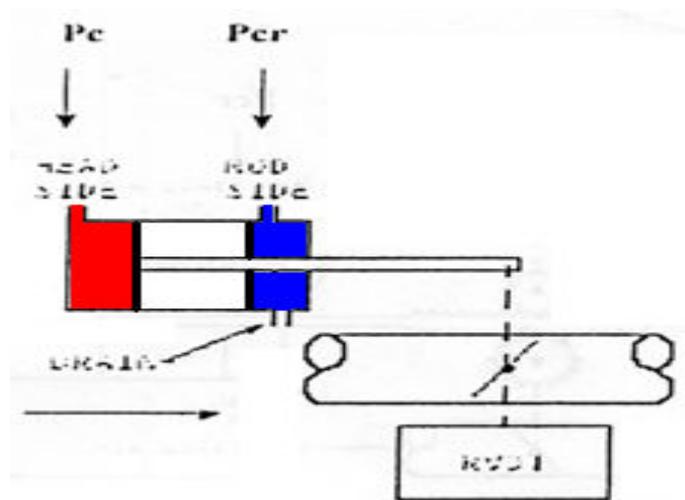


Figure (III-37) : La position ouverte de la vanne LPTACC.

#### ➤ Ouverture du papillon :

L'unité hydromécanique HMU, contrôlé par l'EEC diminue la pression modulée ( $P_{cr}$ ) par l'orifice (A) jusqu'à ce que le papillon soit en position demandée. Puisque la charge appliquée au piston par la chambre (B) est plus que la charge appliquée par la chambre (A). Le piston cause :

- Le papillon se déplace vers la position Ouverte.
- Le capteur (RVDT) tourne.

Quand le papillon est en position exigée, l'unité de contrôle électronique (EEC) place le piston de dispersion dans la position équilibrée par le capteur (RVDT).

➤ **La fermeture du papillon :**

L'unité hydromécanique (HMU) commandé par l'unité électronique du contrôle (EEC), augmente la pression modulée ( $P_{cb}$ ) à travers l'orifice (A) jusqu'à ce que le papillon soit dans la position demandée.

Puisque la charge appliquée au piston par la chambre (B) est inférieure à la charge appliquée par la chambre (A), le piston cause :

- Le papillon se déplace vers la position fermée.
- Le capteur (RVDT) tourne.

Quand le papillon est en position exigée, l'unité électronique du contrôle moteur (EEC) cause la position de rester en équilibre par le capteur (RVDT).

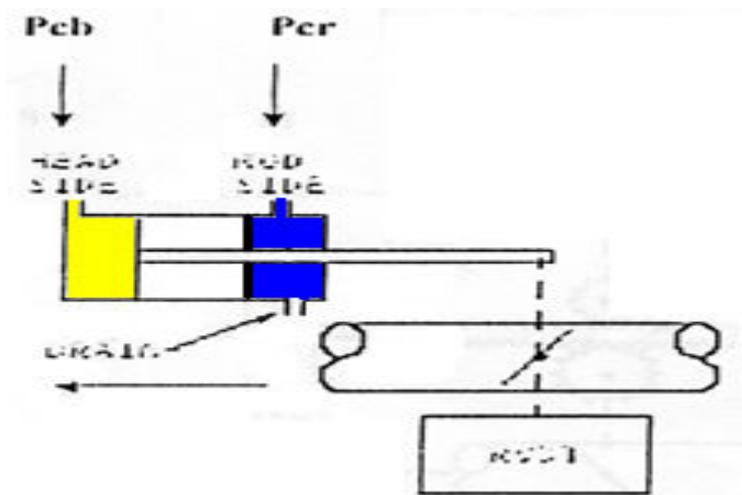


Figure (III-38) : La position fermée de la vanne LPTACC.

# Comparaison :

<b>CF6-80 E1</b>	<b>CFM 56-7B</b>
La soufflante contienne 34 aubes.	La soufflante contienne 24 aubes.
Le Compresseur Haute Pression comporte 14 étages « stators/rotors ».	Le Compresseur Haute Pression comporte 9 étages « stators/rotors ».
La chambre de combustion comprend deux allumeurs a la position 3H30 et 5H00	La chambre de combustion comprend deux allumeurs a la position 11H00 et 1H00
La chambre de combustion comporte 30 injecteurs duplex.	La chambre de combustion ne comporte que 20 injecteurs duplex.
La Turbine Haute Pression est à deux étages.	La turbine Haute Pression n'a qu'un seul étage.
La Turbine Base Pression comporte cinq étages.	La Turbine Base Pression ne comporte que quatre étages.
Comporte quatre paliers avec sept roulements « 4 à billes et 3 à rouleaux ».	Comporte deux paliers avec six roulements « 2 à billes et 4 à rouleaux ».
La BSV est remplacée par un système intégré dans les injecteurs.	Son circuit carburant contienne une vanne de sélection d'injecteurs (BSV).
Le circuit de graissage contient cinq pompes de récupération d'huile.	Le circuit de graissage ne contient que 3 pompes de récupération d'huile.
Le système de Variable Stators Valves (VSV) contrôle 4 étages d'aubes stators avec le contrôle de l'Inlet Guide Valve (IGV).	Le système de Variable Stators Valves (VSV) ne contrôle que 3 étages d'aubes stators avec le contrôle du Inlet Guide Valve (IGV).
N'existe pas, les injecteurs duplexes eux même qui assure se rôle.	Le système d'air contient une Valve de Décharge Transitoire (TBV).

Le système d'air contient une Vanne de Refroidissement Des Puisards (BSV).	N'existe pas
Le système d'air contient aussi une Vanne de Refroidissement du Moteur et Accessoires (CCCV).	N'existe pas

# Conclusion :

Notre thèse consistait d'étudier et de comparer le système hydromécanique du moteur CF6-80 E1 et le comparer avec celui du moteur CFM56-7B.

Malgré l'absence de stage pratique nous avons pu connaître les différents systèmes hydromécaniques équipant le moteur CF6-80 E1, leurs modes de fonctionnement et ceux dans le but de mieux comprendre le moteur CF6-80 E1 et son fonctionnement. Pour cela nous avons réalisé une maquette qui explique et éclaire un peu plus ces systèmes. Enfin nous avons pu les comparer avec ceux qui équipent le moteur CFM56-7B.

Avant de conclure on espère que ce travail enrichira encore plus la bibliothèque de notre institut d'Aéronautique et sera bénéfique pour les futurs étudiants de l'institut qui leur sera un bon support.

**Les unités utilisées en aéronautique :**

<i>Système US customary</i>		<i>Système de mesure SI –metric</i>	
<b>ABRIVIATION</b>	<b>DEFINITION</b>	<b>ABRIVIATION</b>	<b>DEFINITION</b>
lbf.ft	Pound force-foot (torque)	m.daN	Meter deca newton
in.Hg	Inch de mesure	hPa	Hecto pascal
oz	Ounce (weight)	g	gramme
psi	Pound square inch	bar	Bar
lb.min	US gallon par min	l.min	Litre par minute
deg.F	Degré fahrenheit	Deg.c	Degré celsius
ft	Foot	m	Mètre
US gal	US gallon	l	litre
US quart	L	mm	Millimètre
in	Inch	mm <sup>2</sup>	Millimètre carré
in. <sup>2</sup>	Squart inch	cm <sup>2</sup>	Centimètre carré
lb	Pound	Kg	Kilogramme
lbf	Pound force	daN	Deca newton

## Les valeurs des unités :

Le tableau suivant est un tableau définissant les unités conventionnelles utilisées mondialement :

<b>Système de mesure international</b>	<b>Système de mesure US</b>	
<b>1psi</b>	<b>0.0689</b>	<b>bar</b>
<b>1in.2</b>	<b>645.1600</b>	<b>mm2</b>
<b>1in.2</b>	<b>6.4516</b>	<b>cm2</b>
<b>1lbf</b>	<b>0.4448</b>	<b>daN</b>
<b>1oz</b>	<b>28.3495</b>	<b>g</b>
<b>1in.Hg</b>	<b>33.8640</b>	<b>hPa</b>
<b>1lb</b>	<b>0.4536</b>	<b>Kg</b>
<b>1lb.min</b>	<b>0.4536</b>	<b>kg.min</b>
<b>1USgal</b>	<b>3.7854</b>	<b>l</b>
<b>1USgal.min</b>	<b>3.7854</b>	<b>l.min</b>
<b>1USquart</b>	<b>0.9464</b>	<b>l</b>
<b>1lbf.in</b>	<b>0.0113</b>	<b>mdaN</b>
<b>1ft.ft</b>	<b>0.1356</b>	<b>mdaN</b>
<b>1ft</b>	<b>0.3048</b>	<b>m</b>
<b>1in</b>	<b>25.4</b>	<b>mm</b>
<b>1in3</b>	<b>16.3871</b>	<b>cm3</b>
<b>1in.hg</b>	<b>0.491</b>	<b>psis</b>

# Bibliographie :

- [1]: AMM de l'A330-200 ; Aircraft Maintenance Manual.
- [2]: Line maintenance course A330, volume1, course textbook CF6-80E1 de GE, décembre 2003.
- [3]: Line maintenance course A330, volume2, student workbook CF6-80E1 de GE, mars 2002.
- [4]: Mémoire de fin d'étude sous le thème « point fixe et testes du moteur CF6-80 E1 de l'A330-200 », promotion 2007.
- [5]: Cours de 3<sup>me</sup> année DEUA « Technologie moteur ».
- [6]: Mémoire de fin d'étude sous le thème « Description de l'avion Boeing 737-800 et maintenance de la turbine haute pression », promotion 2007.
- [7]: CMM de l'A330-200.
- [8]: Mémoire de fin d'étude sous le thème « Etude descriptive du système d'air du moteur CFM56-7B », promotion 2004.
- [9]: IP Catalogue CF6-80E1; Illustrated Parts Catalog.
- [10]: Mémoire de fin d'étude sous le thème « Etude comparative entre les deux systèmes hydromécaniques des moteurs CFM 56-5B et CFM 56-7B », promotion 2002.
- [11]: DECO AERO; traducteur technique des mots aéronautique "anglais - français".
- [12]: Mémoire de fin d'étude sous le thème « Etude descriptive d'un turbo réacteur en comparaison avec le JT8D et le CF6-80 E1 », promotion 2001
- [13]: mémoire de fin d'étude sous le thème « L'étude et maintenance du système d'air du moteur CF6-80 E1 de l'A330 », promotion 2005.
- [14]: Traducteur de textes « SYSTRAN », édition professionnelle premium, dictionnaire des termes techniques intégrés.
- [15]: AMM du Boeing 737-800.